# XV CONFERENCIA IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

**SEDE:**

**Pontificia Universidad Católica de Valparaíso**

Facultad de Ciencias del Mar y Geografía

*Ciudad de Valparaíso*

*Chile*

XV CONFIBSIG

**9 al 11 SEPTIEMBRE 2015**



ORGANIZAN:

INSTITUTO PUCV FACULTAD de CIENCIAS del MAR y GEOGRAFIA Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

SIBSIG

# COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Dr. Gustavo Buzai, Universidad Nacional de Luján, Argentina
Dr. Joaquín Bosque Sendra, Universidad de Alcalá de Henares, España
Msc. Omar Delgado Inga. Universidad del Azuay, Ecuador
Dr. Paulo Fitz, Centro Universitario Ritter dos Reis, Brasil
Dra. Montserrat Gómez Delgado, Universidad de Alcalá de Henares, España
Msc. Heinrich Hasenack, UFRGS Centro de Ecologia, Brasil
Dr. Julio César Moraga Peralta, Universidad Nacional, Costa Rica
Dr. Antonio Moreno Jiménez, Universidad Autónoma de Madrid, España
Dra. María Cristina Pineda de Carías, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras
Dr. Noel Pineda Jaimes, Universidad Autónoma del Estado de México, México
Dra. Marcela Virginia Santana Juarez, Universidad Autónoma del Estado de México, México
Dr. José Seguinot Barbosa, Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico

# COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL

Dr. Manuel Fuenzalida Díaz (Coordinador)
Dr. Rodrigo Figueroa (Finanzas)
Dr. Andoni Arenas (Logística)
Msc. Luis Álvarez (Protocolo)
Msc. Rudy Allesch (Inscripciones y Certificaciones)
Msc. Viviana Vargas (Cursos y Talleres Pre-Conferencia)
Lic. Cristián Larraguibel (Logística)
Lic. Felipe Salinas (Logística)

# ÍNDICE

**PRESENTACIÓN** 6

**E-1 FORMACIÓN Y ENSEÑANZA DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO GEOGRÁFICO HACIA LA GEOGRAFÍA GLOBAL Y LA NEOGEOGRAFÍA 8
*Buzai*

LA GEO-ALFABETIZACIÓN EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA: TRABAJO CON FUNCIONARIOS Y ESTUDIANTES. 16
*Álvarez Garay y Córdoba Gamboa*

LA FORMACIÓN Y ENSEÑANZA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA FACULTAD DE GEOGRAFÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO 24
*Pineda Jaimes et. al.*

A IMPORTANCIA DAS GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ENSINO DE GEOGRAFIA: UM ESTUDO DE CASO COM ALUNOS DO 6º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL DA REDE ESTADUAL DE OURINHOS – SP 26
*Ramos dos Santos y Piroli*

**E-2 RECURSOS NATURALES, AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO** 35

USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN EL DESARROLLO DE UN PLAN DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS CIUDADES DEL CARIBE 36
*Seguinot Barbosa*

EVOLUCIÓN DE LA DEFORESTACIÓN/DEVEGETACIÓN EN EL NORTE GRANDE DE CHILE 37
*Montalva et. al.*

LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y LA EVALUACION MULTICRITERIO COMO METODOLOGIA PARA LA LOCACION ÓPTIMA DE CAMPOS DE GENERADORES DE ENERGIA EOLICA 49
*Márquez et. al.*

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO DIAGNÓSTICO DO USO DA TERRA EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE 69
*Piroli y Ramos dos Santos*

INFORMACIÓN DOWNSCALING SOBRE EL QUINTO INFORME DEL IPCC A RESOLUCIÓN MODERADA: ALGUNOS RESULTADOS PARA CHILE 79
*Sarricolea y Henríquez*

EVALUAR TRANSFORMACIONES EN LAS AREAS NATURALES POR MEDIO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y LA TELEDETECCION 81
*Martínez Uncal et. al.*

DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE UNA PLANTA DE BIOENERGÍA DE RESIDUOS CULTIVOS AGRÍCOLAS EN LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA 94
*Montenegro et. al.*

EL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD DE MÉXICO (SNIB) 96
*Dávila y Colín*

ANILLOS DE CRECIMIENTO DE ÁRBOLES PARA EL ESTUDIO DE LARGO PLAZO DE VARIABLES AMBIENTALES ESTIMADAS A PARTIR DE SENSORES REMOTOS EN CHILE Y URUGUAY 104
*Muñoz et. al.*

FACTORES DE CONTROL DE LAS GLACIACIONES ALPINAS ACONTECIDAS ENTRE LOS 50º Y 51º S, INFERIDAS DE ANALISIS MORFOMETRICO DE CIRCOS GLACIARES 106
*Araos et. al.*

**E-3 SALUD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA** 113

ANÁLISIS ESPACIAL EN GEOGRAFÍA DE LA SALUD.RESOLUCIONES CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 114
*Buzai*

OBSERVATORIO GEOGRÁFICO DE SALUD Y RIESGOS EN MÉXICO: MORBILIDAD 123
*Santana Juárez et. al.*

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EVALUAR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PLAGUICIDAS EN 12 CENTROS EDUCATIVOS EN EL CANTÓN DE MATINA, COSTA RICA 125
*Córdoba Gamboa et al.*

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE RUIDO EN EL AREA URBANA DE CUENCA Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO 2014 140
*Martínez y Delgado*

SELECCIÓN DE SITIOS CANDIDATOS PARA NUEVOS SERVICIOS DE SALUD PÚBLICA, UTILIZANDO EVALUACIÓN MULTICRÍTERIO 159
*Santana Castañeda et. al.*

DETERMINACIÓN DE DESIGUALES GRADOS DE EXPOSICIÓN POTENCIAL A CONTAMINACIÓN MINERA EN LA LOCALIDAD DE ANDACOLLO, CHILE 162
*Fuenzalida et. al.*

**E-4 INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES** 176

PROTOTIPO DE INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES (IDE) EN EL ÁMBITO MUNICIPAL: CASO DE LA MUNICIPALIDAD DE HEREDIA 177
*Moraga Peralta et. al.*

DEMOCRATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA MEDIANTE INFRAESTRUCTURAS DE DATOS ESPACIALES 180
*Martín et al.*

USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES INTELIGENTES EN LA MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTE 192
*Pacheco y Samaniego*

VISOR WEB DEL ESTADO COMUNITARIO-TERRITORIAL DE LOS Y LAS HABITANTES AFECTADOS POR EL INCENDIO DE VALPARAÍSO 2014, A TRAVÉS DEL PROYECTO PROTOTIPO DE ATLAS SOCIODEMOGRÁFICO DE VALPARAÍSO 202
*Larraguibel et. al.*

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL: HUMEDALES DE TARAPACÁ 210
*Paicho et. al.*

**E-5 CARTOGRAFÍA, CATASTRO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPALES** 221

LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA MODERNIZACIÓN DEL CATASTRO MUNICIPAL 222
*Miraglia et. al.*

DISEÑO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) WEB MINERO-AMBIENTAL DE LA MINERIA ARTESANAL DEL MUNICIPIO VALLEDUPAR-CESAR 230
*Galvis Daza et. al.*

PUBLICACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO DE LA CIUDAD DE CUENCA, UTILIZANDO SERVICIOS ESTÁNDARES OGC 246
*Sellers Walden*

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA OFERTA Y DEMANDA EDUCATIVA EN EL MUNICIPIO DE VILLETA – CUNDINAMARCA, COLOMBIA 260
*Barragán Currea*

USO DE SIG PARA MAPEAMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS URBANAS: APLICAÇÕES NA ZONA SUL DO MUNICÍPIO DE MARÍLIA (SÃO PAULO, BRASIL) 273
*Ramos dos Santos y Garcia Tommaselli*

IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA SIG-WEB PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE – GESITRAN BIOBIO 283
*Martínez et. al.*

SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TRANSPORTE CON TECNOLOGÍAS DE LIBRE DISPOSICIÓN 295
*Navarrete et. al.*

**E-6 GESTIÓN Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL** 306

PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN CUENCA 307
*Delgado et. al.*

EL MAPA DE LA COBERTURA DE SUELOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN. ARGENTINA 318
*del CID*

REGIONALIZACIÓN ACUÍCOLA DEL TERRITORIO URUGUAYO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN SIG–EMC-ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO 331
*Díaz et. al.*

ANÁLISIS ESPACIAL DE REDES SOCIALES 343
*Rojas et. al.*

DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL PARA A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM BACIA HIDROGRÁFICA POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA 354
*Demarchi et. al.*

**E-7 MÉTODOS Y ANÁLISIS CON TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA** 368

VALORACIÓN DE INJUSTICIAS POR CONTAMINACIÓN AMBIENTAL APOYADA EN SIG Y TÉCNICAS CUANTITATIVAS: EL CASO DE LA CIUDAD DE VALENCIA (ESPAÑA) 369
*González Lorenzo et. al.*

DETERMINACIÓN DE SITIOS DE INTERÉS PARA LA OBTENCIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES 381
*Di Franco et. al.*

LAS BASES DE DATOS DE DETALLE Y SU CAPACIDAD PARA LA MEDIDA DE ÍNDICES DE SOSTENIBILIDAD DEL TERRITORIO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MUNICIPIOS MADRILEÑOS DE LEGANÉS Y LAS ROZAS 390
*Santos Preciado et. al.*

ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA CUANTIFICAR LOS DAÑOS CAUSADOS POR INCENDIOS FORESTALES EN EL CORREGIMIENTO DE BARAYA – CAUCA 1999 – 2012 403
*Hurtado y García*

APLICAÇÃO DO MÓDULO LAND CHANGE MODELER NA DETECÇÃO E MAPEAMENTO DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA – SÃO PAULO – BRASIL 418
*Santos y Piroli*

MODELACIÓN DE LA ACCESIBILIDAD ESPACIAL A LA RED HOSPITALARIA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CONCEPCIÓN 429
*Martínez y Rojas*

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL Y TERRITORIAL EN EL ESTADO DE SINALOA RESULTADO DE LA DINÁMICA DE LOS USOS DE SUELO 440
*Plata Rocha et. al.*

**E-8 APLICACIÓN DE LOS SIG A TEMAS DE BORDE COSTERO** 452

DIAGNÓSTICO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL COM O USO DO GEOPROCESSAMENTO 453
*Fitz*

METODOLOGÍA APLICABLE A LA SUSCEPTIBILIDAD DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN AMBIENTES COSTEROS URBANIZADOS DE CHILE CENTRO – SUR 469
*López Filun y Garrido Zúñiga*

MACROZONIFICACIÓN DE BORDE COSTERO DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO, EXPERIENCIA Y APRENDIZAJES 481
*Munizaga Carrión*

CAMBIOS GENERADOS POR EL TSUNAMI DE CHILE DE 2010 EN UN LITORAL ARENOSO, REVELADOS POR IMÁGENES SATELITALES 495
*Araya y Cisternas*

IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS ARRECIFES DE CORAL EN LA RESERVA MARINA DE TRES PALMAS (PUERTO RICO) 507
*Pablo Méndez-Lázaro et al.*

## PRESENTACIÓN

Entre los días 9 y 11 de septiembre de 2015 se realizó en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso [PUCV], en la ciudad de Valparaíso, Chile, la XV Conferencia Iberoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica [XV CONFIBSIG].

La conferencia, organizado por el Instituto de Geografía de la PUCV y la Sociedad Iberoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica [SIBSIG], permitió el encuentro de numerosos investigadores, profesores, consultores, técnicos y estudiantes provenientes de diferentes centros de investigación e instituciones universitarias de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, España, México, Perú, Puerto Rico y Uruguay.

La XV CONFIBSIG se organizó en ocho ejes temáticos, siendo los primeros siete, aquellos regulares de la SIBSIG y el último corresponde al interés predominante del país anfitrión.

E-1 Formación y Enseñanza de la Información Geográfica.
E-2 Recursos Naturales, Ambiente y Cambio Climático.
E-3 Salud y Seguridad Alimentaria.
E-4 Infraestructura de Datos Espaciales.
E-5 Cartografía, Catastro y Sistemas de Información Geográfica Municipales.
E-6 Gestión y Ordenamiento Territorial.
E-7 Métodos y Análisis con Tecnologías de la Información Geográfica.
E-8 Aplicación de los SIG a temas de Borde Costero.

La inauguración, efectuada el miércoles 9 de septiembre, tuvo lugar en la Casa Central de la PUCV, ubicada en el Barrio el Almendral de la Ciudad Puerto y contó con la participación del Dr. Gustavo Buzai quien dictó la Conferencia Inaugural titulada "*Evolución del pensamiento geográfico hacia la geografía global y la neogeografía*", a lo que se sumó el Dr. Antonio Moreno Jiménez con la Conferencia Magistral "*Perspectivas analíticas y profesionales en geomarketing en la sociedad de la geoinformación*" y los académicos de la Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, Dr. Noel Pineda y Dra. Marcela Santana quienes relataron un *Recordatorio - Homenaje* al Dr. Delfino Madrigal.

*Valparaíso, septiembre de 2015.*




# EJE 1

# Formación y Enseñanza de la Información Geográfica

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO GEOGRÁFICO HACIA LA GEOGRAFÍA GLOBAL Y LA NEOGEOGRAFÍA

**Buzai, Gustavo D.**[a]
**Universidad Nacional de Luján / CONICET**
**Instituto de Investigaciones Geográficas**
[a]**(buzai@uolsinectis.com.ar - http://www.gesig-proeg.com.ar)**

**RESUMEN**
El presente trabajo analiza el Sistema Tierra y el Sistema Mundo como realidad empírica estudiada por la Geografía. Centra su atención en la Tecnósfera y en sus componentes espaciales que forman la Geotecnósfera de alcance global.

Con origen en la actividad científica las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) comienzan a tener un uso social generalizado, por lo tanto el nuevo contexto se enfoca desde diversas escalas: el mundo (globalización de los datos geográficos a través de la red), la ciencia (Geografía Global) y la sociedad (Neogeografía). Se define un nuevo ciclo en la historia de la Geografía y también el comienzo de una nueva etapa.

**Palabras claves:** SIG, Geotecnósfera, TIG, Geografía Global, Neogeografía.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), desde hace medio siglo, avanzan en las posibilidades de incorporación del análisis espacial en un medio digital a partir de la convergencia de variado software utilizado para el tratamiento de la información espacial bajo el concepto de Geoinformática. Actualmente estamos insertos en un momento centrado en la circulación de datos geográficos a través de los medios de comunicación haciendo global la dimensión espacial de la realidad.

Es una realidad que está formada por cuatro esferas globales: geosfera (litosfera, hidrosfera y atmósfera), biosfera (fauna y vegetación), tecnosfera (humanidad: técnicas y tecnologías) y noósfera (humanidad: pensamiento conceptual), de las cuales la tecnosfera se presenta como mediatización permanente de las relaciones entre la sociedad y su medio geográfico. Las tecnologías comunicacionales incorporan cada vez más la dimensión espacial en sus posibilidades de tratamiento de datos y a la formación de una geotecnósfera de alcance planetario (Buzai y Ruiz, 2012). Estamos insertos en una tercera etapa de la globalización, esta vez apoyada por las redes de comunicaciones.

El análisis geográfico en escala humana comienza a ampliarse a través de la circulación de datos geográficos masivos que vinculan las actuales tecnologías de uso cotidiano. Por lo tanto la Geografía, como ciencia, nuevamente se expande más allá de sus límites disciplinarios, a través de la Geografía Global en vínculos científicos y la Neogeografía en procedimientos sociales.

Estas dos líneas de expansión de nuestra ciencia serán analizadas en esta presentación a través de las cuales se podrá definir un nuevo punto de inflexión en el desarrollo de la Geografía como ciencia. Para ello se avanza sobre la composición de la realidad como materialidad de estudio geográfico y en el desarrollo tecnológico que Moreno Jiménez (2010) lo considera como parte del progreso humano.

## BASE EMPÍRICA

La Geografía como ciencia empírica se sustenta en la consideración de que la realidad existe y no es una exclusiva construcción mental. De esta manera la *base empírica* está formada por un amplio conjunto de objetos concretos que pueden ser conocidos de manera directa por su manifestación empírica.

Desde un punto de vista científico corresponde a un *dominio material* de estudio de cada disciplina, no solamente de objetos físicos y biológicos, sino también la que tienen los números, la tecnología y las operaciones mentales. Consideramos que la vocación científica es empírica, principalmente porque sus indagaciones parten de la realidad y deben volver a ella ante la aplicación de los conocimientos obtenidos.

Esta realidad se presenta como una configuración global formada por las cuatro esferas mencionadas en un continuo de diferente nivel de materialidad en un sistema total. Cada localización en el espacio geográfico tiene influencia combinada de todas las esferas.

La relación entre la sociedad y el espacio geográfico se produce en el marco de la tecnosfera, cuyos elementos constituyen actualmente el sustento humano en la Tierra. Es el hábitat humano que desde la superficie terrestre se expande hacia el interior y el exterior del planeta.

El planeta está rodeado por satélites artificiales de múltiples propósitos y de ellos, los satélites de comunicaciones tienen un gran protagonismo actual en cuanto constituyen importantes nodos del sistema relacional mundial. La noósfera encuentra su sustento tecnológico en la interacción global de los flujos comunicacionales que vinculan diferentes puntos del espacio geográfico a través del ciberespacio.

De esta manera la inteligencia planetaria se impone a la geosfera y biosfera a través del dominio de la naturaleza y avanza hacia la formación de una conciencia planetaria en la cual la dimensión espacial adquiere principal protagonismo.

## DATOS EN LA TERCERA GLOBALIZACIÓN

La materialidad que conforma el mundo real resulta ser la fuente de datos de toda investigación geográfica en el marco de un *materialismo sistémico* que permite comprender las relaciones fundamentales.

Focalizándonos en la Geografía Aplicada había sido notable el avance que proporcionaba contar con datos obtenidos a partir de las fotografías aéreas a inicios de 1960, sin embargo al finalizar la década comienza a tener predominancia el relevamiento realizado por los satélites artificiales utilizados en relevamientos ambientales.

Esta evolución generó una avalancha de datos geográficos que muchas veces sobrepasó las capacidades técnicas disponibles en las instituciones académicas, sin embargo, siempre pudo ser controlada de forma teórica.

Los datos geográficos fluyen apoyando una tercera globalización. Después de la materialidad que representa la difusión de la información del ADN humano en una período que comenzó hace 7 millones de años y finalizó hace 20000 años y de la toma de conciencia de que vivimos en un globo que flota en el universo a partir de los descubribimientos generalizados durante el período de la revolución científica comenzada en el siglo XV, la tercera globalización se basa en los flujos de datos digitales. Corresponde a la circulación de datos por el ciberespacio (Buzai, 2013).

La circulación de datos por Internet genera un notable cubrimiento planetario y a partir de allí existen diferentes escalas en el Sistema Mundo. La Geografía como ciencia empírica da cuenta de ellos ya que puede abordar fenómenos globales que abarcan los 510 millones de $km^2$ del planeta hasta el sitio con gran nivel de detalle (Cheshire y Uberti, 2014) en espacios altamente conectados.

## EL ANÁLISIS GEOGRÁFICO EN CONTEXTO GEOTECNOLÓGICO

El Sistema Tierra y el Sistema Mundo contienen la realidad empírica a partir del cual se pueden definir los sistemas analizables desde la Geografía. La definición de recortes socioespaciales es la base de una ciencia empírica, que estudia situaciones concretas para comprenderlas y volver a ellas para mejorarlas.

Estos recortes estudiados de manera empírica mediante el uso de geotecnología implica analizar la realidad como sistema y esto puede ser realizado considerando dos principales abordajes. El de los *Sistemas Generales* con el cual se intenta encontrar similares formas de organización en diferentes contextos (Bertalanffy, 1968) y como *Sistemas Complejos* en dónde se verá una realidad estratificada en niveles de análisis y procesos (García, 2006) en el cual diferentes teorías tendrán principal aptitud para abordar distintas escalas.

Desde un punto de vista socioespacial, la escala humana se encuentra entre lo infinitamente pequeño y lo infinitamente grande y tiene las mayores tensiones relacionales multiescalar (de Rosnay, 1977; Buzai y Cacace, 2013). La Geografía y las ciencias humanas se ubican en un espacio intermedio.

La Geografía debe afrontar diferentes resoluciones, tanto en cuestiones temáticas como de escalas. Asimismo, la tecnología también demuestra aptitud diferencial en distintas escalas: los microscopios son utilizados para el estudio de lo infinitamente pequeño, los telescopios para lo infinitamente grande y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen focalización en la dimensión espacial de la escala humana.

## EVOLUCIÓN DE LA GEOINFORMÁTICA

Los SIG sintetizan una importante línea en la evolución del pensamiento geográfico. Gran cantidad de métodos de análisis espacial que fueron desarrollados en el ámbito de la Geografía durante siglos fueron estandarizados digitalmente desde mediados del siglo veinte ingresando a las computadoras personales.

El primer SIG fue desarrollado en Canadá hace 51 años (*Canada Geographical Information Systems – CGIS*). A partir de allí la evolución temática brindó innumerables posibilidades de aplicación en diferentes ciencias (Buzai y Robinson, 2010), las cuales valoran cada vez más la dimensión espacial en la búsqueda de soluciones.

Las formas y contenidos de los elementos espaciales fueron sistematizados en bases de datos computacionales. Las primeras son representaciones geométricas y la segunda números que surgen de las mediciones realizadas, en ambos casos existen diferentes tipos de software utilizado como se presenta en Buzai y Baxendale (2011).

Ambas líneas convergen actualmente a través de la tecnología SIG que las vincula en el marco del concepto de Geoinformática y que llevó a la conceptualización de la *Geografía Automatizada* (Dobson, 1983) luego potenciada por el desarrollo de los *Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial* (SADE).

De esta manera quedan sentadas las bases para la expansión geotecnológica en un impacto científico multidisciplinario a través de la *Geografía Global* (Buzai, 1999) y del impacto social a través de la *Neogeografía* (Turner, 2006).

## EL PENSAMIENTO GEOGRÁFICO

La historia del pensamiento geográfico desde finales del siglo XIX puede ser modelada a través del concepto de paradigma (Kuhn, 1993) y de las ondas cíclicas de la evolución del capitalismo (Berry, 1991).

Una perspectiva de gran aceptación generalizada fue la de presentar una sucesión entre filosofías positivistas (P) e historicistas (H) en alternancia. Modelo pendular adoptado por Capel (1983, 2012) para comprender el pensamiento geográfico durante el período de institucionalización disciplinaria. Mediante esta base, el primer libro lo finaliza con el capítulo historicista *La quiebra del positivismo y las geografías radicales* y el segundo con el capítulo positivista *Nueva Geografía y Neogeografía*.

En el libro *Geografía Global* (Buzai, 1999) se demuestra de qué manera este péndulo quedó trabado desde finales del siglo XX y cómo actualmente en Geografía comparten protagonismo diferentes posturas de revalorización paradigmática.
Los paradigmas de la Geografía generan alternancia de periodicidad corta, de aproximadamente dos décadas de duración, durante el siglo XX: Geografía como ciencia humana (P), Geografía Regional y Geografía Racionalista (H), Geografía Cuantitativa (P), Geografía Crítica y Geografía Humanista (H) y la actualidad de confluencia paradigmática entre la Geografía Automatizada y la Geografía del Paisaje (P), y la Geografía Posmoderna y la Geografía de la Percepción (H). Considerar esta evolución como modelo pendular le impide a Capel (2012) considerar la riqueza disciplinar actual ante la multiplicidad conjunta de perspectivas.

Asimismo aparece con evidencia un ciclo de cien años que evoluciona por debajo del anterior y tiene crestas a finales del siglo XIX y finales del siglo XX en dos momentos de explosión disciplinaria (Buzai, 1999). El primero cuando la ciencia se fragmenta brindado objetos de estudio a múltiples disciplinas que actualmente integran las denominadas *Ciencias de la Tierra* y el segundo cuando brinda conceptos y métodos de uso multidiciplinario utilizando la tecnología SIG como medio de difusión.

En tercer lugar aparece un ciclo aún más largo, duplica al anterior en una alternancia en la práctica disciplinaria centrada en el amateurismo y la institucionalización (Buzai, 2014a). Los amateurs geógrafos en el siglo XIX logrando conocimientos geográficos a través de sus exploraciones, la institucionalización durante el siglo XX (creaciones cátedras universitarias y asociaciones geográficas) y el nuevo papel del amateurismo a través del uso práctico y simple de las tecnologías digitales en el ámbito de la *Neogeografía*.

## PROFESIONALISMO Y AMATEURISMO

Posicionándose teóricamente en alguno de los paradigmas de la Geografía, los geógrafos profesionales desarrollan sus actividades en el contexto del período de institucionalización disciplinar. Al iniciarse el nuevo siglo los geógrafos amateurs, que pasaron a ser denominados *voluntarios* (Ruiz, 2010), obtienen importancia a través del uso de las nuevas tecnologías digitales enmarcadas en la Geotecnosfera. De esta manera influyen en la incorporación de información empírica del espacio geográfico.

Este proceso de onda larga de dos siglos corresponde a un camino evolutivo que incluye la transformación de procedimientos analógicos en digitales, la confluencia tecnológica digital a partir de los SIG, la circulación de información con base en Internet, el desarrollo amplio de la Geotecnosfera, el amplio interés científico-disciplinario por la dimensión espacial y, finalmente, el creciente interés por la localización.

Es posible producir y consumir información geográfica digital con sólo estar conectado: datos geográficos, mapas, imágenes satelitales y herramientas especializadas para su consulta y tratamiento brindan posibilidades de interacción como nunca antes fue experimentado.

Todo esto corresponde a la globalización geográfica a través de la Geotecnosfera (Buzai y Ruiz, 2012) en las que se establecen novedosas relaciones entre el profesionalismo y el amateurismo. Nos encontramos asistiendo al último estadio de la globalización digital en la cual la Geografía Global y la Neogeografía coexistirán de manera cooperativa.

## CIENCIA Y SOCIEDAD

Las TIG permitieron la incorporación masiva de la dimensión espacial por parte de la ciencia y la sociedad generando un importante impacto. Aún mayor que el vislumbrado por los primeros autores que abordaron el estudio de las tecnologías digitales en la teoría y la metodología de la Geografía.

A partir de los diferentes debates realizados queda establecido que los SIG que generan la Geografía Automatizada no representan la aparición de un nuevo paradigma de la Geografía ya que su sustento conceptual se había desarrollado durante el período de la revolución cuantiativa (Buzai, 1999), aunque de ninguna manera los SIG constituyen una técnica desvinculada de la teoría (Moreno Jiménez, 2013). En esa línea evolutiva aparece la Geografía Global como la Geografía utilizada por muchas ciencias a partir de su estandarización y difusión informática.

Al finalizar el siglo XX la expansión tecnológica se produce hacia la sociedad entrada en los dispositivos electrónicos vinculados a Internet, y esto es producto de una clara línea de evolución teórica de la línea histórica del positivismo en nuestra ciencia (Sánchez, 2010, Buzai, 2014a): Geografía como ciencia humana (Ratzel, 1882) (positivismo biológico para una Geografía como ciencia humana), Geografía Cuantitativa (Burton, 1963) (positivismo matemático), Geografía Automatizada (Dobson, 1983) (positivismo informático)

y las dos líneas de difusión e impacto actual, en la ciencia la Geografía Global (Buzai, 1999) y la sociedad la Neogeografía (Turner, 2006).

El positivismo con diferentes influencias corresponde a las crestas en ciclos de ondas largas de auge del sistema capitalista propuestas por Kondratiev (Berry, 1991). Nos encontramos ahora ubicados en la tercera cresta sustentada en las TIG.

El camino iniciado por el cuantitativismo hace poco más de sesenta años genera un impacto social mucho mayor que el que haya generado cualquier otro paradigma de la Geografía, tanto a nivel científico como social (Buzai, 2014b) posibilitando que la dimensión espacial intervenga en múltiples campos de aplicación y, al mismo tiempo, la mayor interacción con el ciudadano, usuario y generador de información geográfica.

Hace ya varios años, desde dos caminos, se había vislumbrado la evolución del SIG a través de sus siglas. El énfasis en la S (Sig) durante las décadas de 1960-1970 estuvo centrado en los sistemas computacionales, en la I (sIg) en 1980-1990 centrado en la información y la G (siG) a partir del 2000 centrado en la interpretación geográfica, la Geografía (Buzai, 2005) y también la evolución como GISystem, GIScience y GISociety (Burrough y McDonell, 1998). Actualmente toda evolución conceptual desde las metodologías pone en el centro en la Geografía, la cual comienza a experimentar el comienzo de una nueva etapa en su evolución.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Berry, B.J.L. 1991. **Long wave rhythms in Economic Development and Political Behaviour**. John Hopkins University Press. Baltimore.
2. Bertalanffy, L. 1968. **Teoría General de los Sistemas**. Fondo de Cultura Económica. México.
3. Burrough, P.A.; McDonnell, R.A. 1998. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford University Press. Oxford.
4. Burton, I. 1963. The Quantitative Revolution and Theoretical Geography. **Canadian Geographer**. VII(4):151-162.
5. Buzai, G.D. 1999. **Geografía Global**. Lugar Editorial. Buenos Aires.
6. Buzai, G.D. 2005. Geografía Automatizada, Ciencias de la Información Geográfica y Ciencias Sociales Integradas Espacialmente. Avances cuantitativos para los estudios territoriales del siglo XXI. **Fronteras**. 4(4):31-36.
7. Buzai, G.D. 2013. Technological Dependency and the Internet: Latin American Access from Buenos Aires, 2001-2013. **Journal of Latin American Geography**. 12(3):165-177.
8. Buzai, G.D. 2014a. Neogeografía y sociedad de la información geográfica. Una nueva etapa en la historia de la Geografía. **Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú**. 1:1-12.
9. Buzai, G.D. 2014b. Desde la Geografía. Ciencia y tecnología en una sociedad de la información geográfica. **GeoCritiq**. 10 de junio de 2014.

10. Buzai, G.D.; Cacace, C. 2013. El concepto de espacio. **Si Muove**. 5:34-38.
11. Buzai, G.D.; Robinson, D. 2010. Geographical Information Systems in Latin America, 1987-2010: A Preliminary Overview. **Journal of Latin American Geography**. 9(3):9-31.
12. Buzai, G.D.; Ruiz, E. 2012. Geotecnósfera. Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto global del Sistema Mundo. **Anekumene**. 4:88-106.
13. Capel, H. 1983. **Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea**. Barcanova. Barcelona.
14. Capel, H. 2012. **Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea**. Ediciones del Serbal. Barcelona.
15. Cheshire, J.; Uberti, O. 2014. **London. The information capital**. Particular Books. London.
16. de Rosnay, J. 1977. **El macroscopio. Hacia una visión global**. AC. Madrid.
17. Dobson, J.E. 1983. Automated Geography. **Professional Geographer**. 35(2):135-143.
18. Dollfus, O. 1992. Systeme Monde et Systeme Terre. **L´Espace Geographique**. 21(3):223-229.
19. García, R. 2006. **Sistemas Complejos**. Gedisa. Barcelona.
20. Kuhn, T.S. 1993[1962] **La estructura de las revoluciones científicas**. Fondo de Cultura Económica. México.
21. Moreno Jiménez, A. 2010. GeoFocus: diez años en el camino hacia la sociedad de la geoinformación. **GeoFocus** (Editorial). 10:1-6.
22. Moreno Jiménez, A. 2013. Entendimiento y naturaleza de la cientificidad geotecnológica: una aproximación desde el pragmatismo geotecnológico. **Investigaciones Geográficas**. 60:5-33.
23. Ratzel, F. 1882. **Antrhopogeographie**. Vol.1. Grundzüge der Anwendung der Geographie auf die Geschichte. Engelhorn. Stuttgart.
24. Ruiz, E. 2010. El impacto de las Tecnologías de la Información Geográfica en la Cartografía y la Geografía: Reflexiones sobre 20 años de Sistemas de Información Geográfica. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica**. 2(2):200-209.
25. Sánchez, D.C. 2010. El positivismo, el empirismo lógico y las ramas de la matemática que incidieron en la Geografía. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica**. 2:20-53.
26. Turner, A.J. 2006. **Introduction to Neogeography**. O´Reilly Media. Sebastopol.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# LA GEO-ALFABETIZACIÓN EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA: TRABAJO CON FUNCIONARIOS Y ESTUDIANTES

**Álvarez Garay, Benjamín[a]; Córdoba Gamboa, Leonel[b]**
**Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica**
**[a](balvarez@uned.ac.cr)**
**[b](lcordobar@uned.ac.cr)**

**RESUMEN**
La actualización de la información cartográfica es una actividad permanente y está apoyada en la generación de información por parte de los estudiantes de la carrera de Manejo de Recursos Naturales, además de lo que las instituciones públicas y privadas generan. Para ello se han implementado actividades dirigidas a recopilar, almacenar, gestionar y analizar la información requerida para la variable geográfica.

Se han utilizado herramientas como el Sistema de Posicionamiento Global, hojas topográficas a escala, fotografías aéreas y cartografía a escala para ubicar puntos y conocer las áreas de estudio (red de carreteras, hidrográfica, poblados, uso del suelo, topografía, entre otros). Por su parte, los Sistemas de Información Geográfica, han sido de gran utilidad, para desplegar la información obtenida en campo, visualizar la información, analizar variables simultáneas, generar modelos y representar el entorno mediante un mapa.

**Palabras claves:** Educación a distancia, geo-alfabetización, estudiantes, manejo de recursos naturales, geodatos

## INTRODUCCIÓN

En la Universidad Estatal a Distancia (UNED), la información geográfica se implementa en varios cursos que se dan en grados de bachillerato y licenciatura de diversas carreras que ofrece la universidad, sin embargo, la actualización de la información cartográfica y el uso de programas en Sistemas de Información Geográfica (SIG), se desarrollan en actividades permanentes como talleres y cursos libres de capacitación tanto para estudiantes como funcionarios.

Para el desarrollo de esta actualización se ha desarrollado un taller teórico-práctico sobre la enseñanza de los sistemas de información geográfica con el fin de desarrollar conocimientos y fundamentos básicos de los SIG y geo-referencia de datos en el campo, aplicados al Manejo de Recursos Naturales (MARENA) tanto a estudiantes como a funcionarios. Este taller comprende contacto con el tutor, así como actividades virtuales, para ello se han desarrollado una serie de módulos a estudiar. Como objetivo principal se pretende generar una metodología sobre el uso y aplicación de los SIG a los trabajos desarrollados en la universidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la enseñanza de la geografía y programas sobre Sistemas de Información geográfica (SIG), en la UNED, se ha implementado un taller teórico práctico que incluye cinco módulos:

i) Conceptos básicos en Sistemas de Información Geográfica e introducción a programa SIG: se desarrolla de forma presencial y comprende, todo el componente teórico sobre los SIG, antecedentes e influencia en la actualidad.

ii) Creación, gestión y digitalización de archivos vectoriales y manipulación de tablas alfanuméricas (geodatos): Se desarrolla de forma presencial y prácticas virtuales. Se enfoca principalmente en la creación de datos vectoriales y construcción de datos en la tabla de atributos.

iii) Levantamiento cartográfico mediante Receptor de Señal Satelital: Se desarrolla un trabajo de campo, donde la persona debe gestionar un receptor de señal satelital (GPS) y recolectar datos de campo, mediante la función de “waypoint” y “tracklog”.

iv) Introducción al uso de la herramienta vectorial: Se desarrolla de forma presencial y prácticas virtuales. En este componente se desarrollan las funciones de herramienta de análisis, herramienta de investigación, herramientas de geometría y geoprocesamiento básico (unir, cortar, pegar, disolver y buffer).

v) Introducción al uso de la herramienta ráster: Se desarrolla de forma presencial y prácticas virtuales). En este componente se genera la creación de modelos de elevación, análisis espacial, recorte y extracción de información rasterizada.

Para cada uno de estos módulos se dispone de cinco horas contacto (contacto) y cinco horas virtuales, donde participan tanto estudiantes (los cuales están finalizando su bachillerato universitario en la carrera de Manejo de los Recursos Naturales) y funcionarios de la UNED (los cuales tienen proyectos de investigación con suficientes información espacial). La información de participación al taller se tiene desde el I semestre del año 2013 hasta el I semestre del año 2015.

*Tabla 1. Participación de estudiantes y funcionarios al Taller SIG.*
*Fuente: Álvarez, B. 2015.*

| Año | Estudiantes | Funcionarios | Total |
|---|---|---|---|
| 2013 | 35 | --- | **35** |
| 2014 | 35 | 22 | **57** |
| 2015 | 20 | 14 | **34** |
| **Total** | **90** | **36** | **126** |

Para el desarrollo del taller, se han utilizado varias técnicas de enseñanza:

- Tutoría presencial: Se asigna un aula, donde las personas asistan. En esta tutoría se explica cómo se procederá a trabajar en las siguientes tutorías, además de la entrega de materiales y enlaces de consultas concernientes al taller, programas especializados y lugares para consulta.
- Tutoría virtual: Es el espacio que tiene la persona para realizar las prácticas y asignaciones. En la tutoría presencial se presentan una serie de prácticas, las cuales deben de desarrollarse en fuera del horario presencial, la persona se lleva esas prácticas y las desarrolla en un lugar específico, ya sea en su casa o lugar de trabajo.
- Material mutimedial: Corresponden a los materiales de apoyo y guía para las personas que lleva el taller. Para ello se dispone de un blog especializado en información geográfica (http://inecumene.blogspot.com/) y videos sobre el uso de un programa SIG (https://www.youtube.com/user/bamauriel/videos).
- Programas especializados: estos programas corresponden a Quantum Gis 2.8 (Qgis), Google Earth 7.1 y Base Camp 4.2
- Encuesta: para obtener la opinión de los estudiantes y funcionarios que han llevado el taller, se aplicó una encuesta en línea, la cual tenía información con respecto a i) datos generales de la persona, ii) convocatoria del taller, iii) cronograma del taller, iv) materiales didácticos, v) materiales multimediales, vi) temática del taller, vii) metodología empleada, viii) evaluación al profesor y ix) temáticas a futuro.
- Observación: una de las técnicas utilizadas también fue la observación de los participantes, dónde se ve el grado de avance de cada participante en el taller. Esto es fundamental, ya que gracias a la observación se nota, cuales son los temas de interés por parte de los participantes y cuales temáticas son las que se deben reforzar.

## RESULTADOS

Los talleres de geo-alfabetización, se desarrollan desde el año 2013. Hasta la fecha se han capacitado a 90 estudiantes y 36 funcionarios de la UNED. Este taller es fundamental para capacitar a estudiantes y personal de la Universidad en la temática de geografía, cartografía y SIG, para así generar conciencia de la importancia de estas herramientas en el desarrollo de proyectos de educación y de investigación que se desarrollan en las diferentes instituciones.

La siguiente figura muestra la estructura general del taller y sobre los temas que se desarrollan, cabe mencionar que cada temática se desarrolla en módulos los cuales tienen cinco horas presenciales y cinco horas virtuales (ver figura 1).

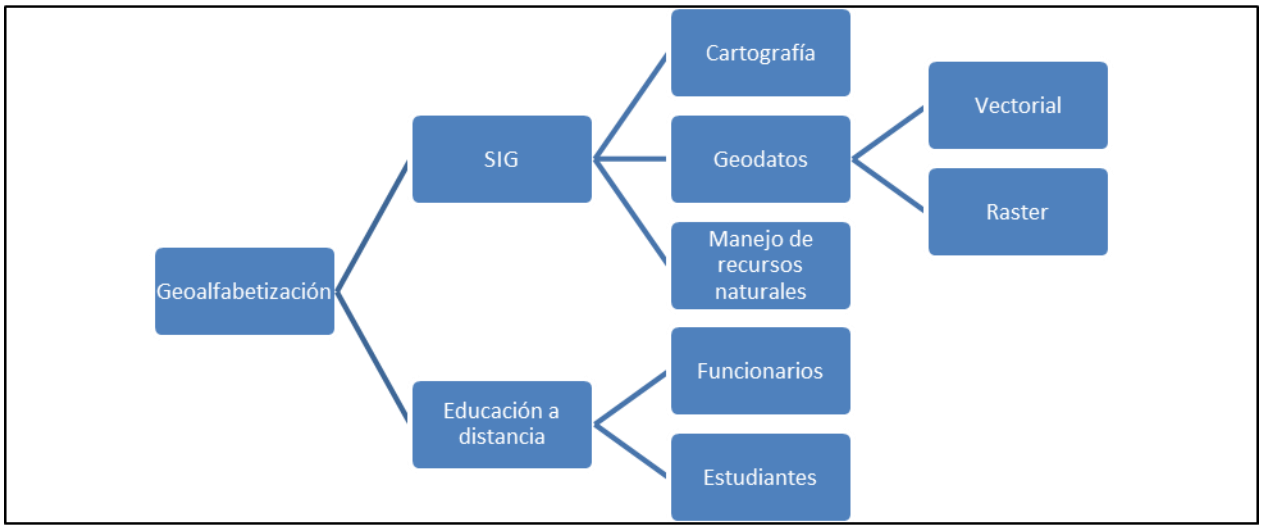



*Figura 1. Estructura del taller SIG.*
*Fuente: Fuente: Álvarez, B. 2015.*

El taller SIG, mostró datos interesantes, en donde el 63% de las personas participantes corresponden a mujeres, mientras que un 37% corresponden a hombres. En donde el grupo de edad predominante que ha participado en los talleres corresponden a edades entre 20 y 30 (50%), seguido del grupo de edad de 31 a 35 años (21%) y en menor escala, personas entre 40 y 50 años (29%).

Respecto a la convocatoria del taller el 92% de las personas participantes consideran adecuada la forma de convocarlos (mediante correo electrónico) y el restante 8% considera que una llamada telefónica puede ser la otra opción de convocatoria. Respecto al horario y cupo del taller, el 100% de los participantes estuvieron de acuerdo en que los módulos se dieran un fin de semana (día sábado), durante todo el día y que además fuera un cupo limitado de máximo 20 personas, esto porque así se tiene un mayor contacto con el profesor tutor y es efectivo a la hora de evacuar las dudas y observaciones.

De acuerdo a los materiales utilizados y entregados en el taller (guía del taller, prácticas, módulos, lecturas, blog y videos), en un 62% las personas participantes consideran que fue un buen material y que les ayudó tanto en el taller, como en sus actividades personales y académicas, ya que son de fácil comprensión y apoyan a desarrollar sus actividades profesionales. Un 21% considera que el material es excelente, mientras que un 17%, considera que se debe mejorarlo, esto principalmente se refiere a que los manuales de los programas SIG deben ser actualizados una vez que salga una nueva versión de los programas (QGIS, Base Camp, Google Earth).

De los materiales entregados un 42% considera que el blog especializado en SIG y los videos sobre SIG, son la mejor forma de enseñar un programa SIG y que además les ayudan en sus actividades diarias; un 17% consideran que las prácticas son más adecuadas para aprender, un 10% considera que los programas como tales son la mejor forma, mientras que el restante 31% considera que todos los materiales son adecuados y necesarios para la enseñanza de los SIG.

Una de las cosas principales del taller SIG, es el uso de material multimedial para promover la interacción virtual con los participantes, por tanto, se preguntó en específico como evaluaban el blog y los videos sobre SIG, la respuesta fue muy positiva, pues un 33% considera que el blog es una excelente herramienta para la enseñanza de la geografía y de los SIG, pues en el mismo se colocan las temáticas básicas y la forma de explicarlas son sencillas y de fácil comprensión, un 25% considera que el blog es completo, es decir, que reúne los temas básicos a desarrollar, otro 25% menciona que es concreto, es decir, las explicaciones son adecuadas al igual que los ejemplos y el restante 17% opina que es bueno para la práctica y aprendizaje de los SIG. Respecto a los videos el 50% considera que son adecuados, ya que desarrollan de forma clara los ejemplos y que además la duración de los mismos, promueve que se visualicen de buena manera (no superan los 5 minutos de duración), un 42% menciones que son excelentes, pues se logra finalizar con éxito las prácticas, mientras que el restante 8% considera que se deben de revisar, pues en algunas ocasiones no se logra visualizar de manera adecuada los geoprocesos que se desarrollan, además que algunos no poseen audio y eso dificulta seguir el hilo del video.

Respecto a las temáticas desarrolladas en el taller, las cuales corresponden a i) cartografía básica, ii) digitalización básica, iii) elaboración de mapas, iv) servicios OGC o geodatos, v) geoprocesamiento básico, uso de un receptor GPS y vi) rasterizado básico de datos. Un 38% considera que el sólo hecho de crear un mapa y conocer todas las pautas para su elaboración, fue el plus que tuvo el taller SIG, un 21% considera que el componente de geoprocesamiento fue la temática más importante, ya que les enseño a como cortar, unir coberturas y como crear áreas de influencia, un 13% menciona que el uso básico de un receptor GPS, fue la temática principal, ya que la toma de datos en el campo, debe contar con una metodología adecuada, para que los datos espaciales sean procesado de la mejor forma en un programa SIG. El restante 28% considera que los demás temas fueron necesarios y que le dieron solidez al taller en su desarrollo. Eso sí, los participantes del taller, demandan más temáticas a futuro, tales como i) publicación de mapas en línea, ii) digitalización avanzada, iii) servicios OGC, iv) análisis espacial profundo (análisis ráster), v) análisis de cuencas hidrográficas, vi) guía para la elaboración de planos catastrados y vii) modelaje 3D.

Como pregunta final, en la evaluación del taller SIG, se quería conocer si estaban de acuerdo con la forma en que el profesor tutor desarrollaba los módulos, en un 100% las personas participantes, mencionaron que el profesor tenía la capacidad técnica, profesional y humana para desarrollar el taller, pues no solo generaba confianza en el proceso de enseñanza-aprendizaje, sino que la forma en que impartía el taller, motivaba al estudiante en su desarrollo, por tanto, en un 100%, evalúan de buena forma al taller SIG y al profesor y

consideran adecuado que el programa de Manejo de Recursos Naturales, esté desarrollando esta iniciativa y además dan todo el apoyo al profesor tutor, en el taller que impartido y en las futuras temáticas a desarrollar.

## DISCUSIÓN

El uso de programas SIG y la comprensión de análisis espacial, es una temática que está en ascenso en el país; cada cuatrimestre y semestre se dan una serie de cursos con la finalidad que las personas estén cada día en contacto con la elaboración de cartografía y actualización de información espacial, sin embargo, mucha de esta enseñanza, se desarrolla con fines económicos y no propiamente como enseñanza.

En la Universidad Estatal a Distancia, se trabaja bajo una política de acceso libre, es decir, se utilizan programas SIG de código abierto, cualquier persona que quiera aprender sobre SIG, solicita el taller a la Cátedra de Sistemas de Información Geográfica, administrada por la Carrera de Manejo de Recursos Naturales y además se tiene una serie de módulos básicos con el fin de enseñar la estructura básica sobre lo que es un SIG y sobre cómo se puede aplicar en los trabajos de investigación.

Este taller, es de suma importancia para estudiantes de la carrera de MARENA, como también a funcionarios de la UNED, ya que se proporciona las pautas básica sobre el manejo de un programa SIG y sobre la aplicación en los trabajos que cada profesional desarrolla.

De acuerdo a lo analizado en estos tres años, en los cuales se ha impartido el taller SIG, los participantes mencionan, que sin duda alguna el desarrollar su propia cartografía ha sido el plus fundamental del taller, además consideran adecuado, que el taller involucre temáticas que promueva análisis espacial y modelaje de geodatos, ya que la universidad produce una gran cantidad de datos, valiosos para los estudiantes, para los proyectos de investigación y para el país.

## CONCLUSIONES

A lo largo de este tiempo, el taller SIG ha sido fundamental en la capacitación de estudiantes y personal de la Universidad en la temática de geografía, cartografía y SIG, esto ha generado conciencia en el uso y desarrollo de programas SIG en proyectos de educación e investigación que se desarrollan en la universidad.

La metodología utilizada en el taller, es adecuada para el aprendizaje de programas SIG, pues se promueve el contacto directo con el profesor tutor, para la evacuación de dudas, como también el desarrollo de prácticas fuera del aula y con el apoyo de recursos multimediales como video, audio y lectura.

De las 126 personas capacitadas con el uso básico de un programa SIG, se tiene que un 90%, utiliza de manera regular el algún programa SIG y que además el 100% de los estudiantes desarrollaron, algún tipo de cartografía en sus trabajos de investigación y tesis, que fueron presentados para optar por el grado de bachillerato y licenciatura en la Carrera de Manejo de Recursos Naturales.

El uso de programas SIG bajo la política de código abierto, ha facilitado el desarrollo de los talleres, pues los estudiantes y funcionarios de la Universidad, pueden invertir sus recursos en tiempo y herramientas para sus proyectos de investigación.

El profesor tutor del curso, ha ido incorporando las observaciones que han realizado los estudiantes y funcionarios al taller SIG, puesto que en los últimos semestres, dedica el tiempo necesario a aquellos módulos que son complejos y que requieren de mayor practica para su aprendizaje.

**AGRADECIMIENTOS**

Sin duda alguna, la lista aquí sería enorme, ya que fueron bastantes las personas que, día a día, estuvieron apoyando esta iniciativa y que gracias al apoyo y ayuda por parte de ellas, no sería posible que este proyecto saliera adelante. Quiero agradecer en primera instancia a Dios y mi familia por darme las fuerzas, motivación y energía para que este trabajo saliera adelante.

Quiero agradecer profundamente al señor Johnny Villarreal Orias, Director de la Carrera Manejo de Recursos Naturales, ya que gracias a él esta iniciativa salió adelante, siendo el gestor que este taller se esté dando de forma periódica a toda la universidad. También quiero agradecer al señor Luis Eduardo Montero Castro, Director de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, que gracias a su apoyo, este proyecto es realidad; muchas gracias por la confianza depositada en mi persona y por el espacio que me dado para trabajar y desarrollar este taller.

También quiero agradecer al señor Carlos Andrés Campos Vargas, Director del Proyecto Geovisión, que se sumó a esta iniciativa y que gracias a su proyecto, generó el plus que se ocupaba, para que este taller fuera reconocido a nivel universitario. Un gran agradecimiento al señor Roberto Vargas Masís, investigador del proyecto Geovisión, que con su ayuda y conocimiento la propuesta del taller SIG, se ha ido enriqueciendo.

Muchas gracias a mis compañeros y compañeras de trabajo, que de alguna y otra forma me han apoyado grandemente en el desarrollo de este taller. A los estudiantes y participantes del taller, muchas gracias por la dedicación y participación y finalmente, agradecer a cada una de esas personas que estuvo apoyándonos de alguna forma… GRACIAS.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez, B. (2015a). Evaluación Taller SIG. UNED: San José.
2. Álvarez, B. (2014b). Taller teórico-práctico: Levantamiento cartográfico y uso básico de un Sistema de
3. Información Geográfica (QGIS 2.8). UNED: San José.
4. Martín, F. y Martín, J. (2009). La geografía como campo científico, educativo y de acción. Los desafíos y compromisos en el siglo XXI. Revista Universitaria de Investigación. Volumen 1: 11 – 40.
5. Solano, M. (2012). El uso de sistemas de información geográfica libre en Costa Rica. Revista Geográfica de América Central. Volumen 48: 61 – 74.
6. Williams, J. (2003). Geografía contemporánea y geografía escolar. Cuadernos de Geografía. Volumen 12: 3 – 27.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# LA FORMACIÓN Y ENSEÑANZA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA FACULTAD DE GEOGRAFÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**Pineda Jaimes, Noel Bonfilio[a]; González Becerril, Lidia Alejandra; Hernández Zetina; Sandra Lucía; Némiga Xanat, Antonio**
**Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México**
**[a](nbpinedaj@uaemex.mx)**

## FUNDAMENTO

Esta comunicación expone como el impacto de los Sistemas de Información Geográfica provocó a finales de los años 80s, que diversas instituciones públicas de México comenzaran a convertir cartografía analógica a cartografía digital y a gestionar datos geográficos de manera automatizada. Lo que dio una oportunidad para qué en la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México se instauraran programas educativos a nivel licenciatura, especialidad y maestría enfocados a estas temáticas.

## OBJETIVO

El propósito de este trabajo es plantear la experiencia docente en la formación y enseñanza de las TIG implementada en los planes de estudio de Licenciatura y Posgrado que en las dos últimas décadas se han ofertado en la Facultad de Geografía de la UAEM.

## MATERIAL Y MÉTODO

El trabajo se realizó utilizando el método de investigación bibliográfica, a través de información cronológica de los diversos programas de estudio que se han implementado en la Facultad de Geografía desde los años noventa, así como algunas entrevistas a diversos actores de este proceso académico.

## RESULTADOS

En 1991 se instauró en la entonces Escuela de Geografía, la Especialidad en Cartografía Automatizada. A partir de esta fecha han egresado 18 generaciones y se han realizado 5 reestructuraciones a su programa de estudio. En el 2001 se crea la Licenciatura en Ciencias Geoinformáticas. En el 2006 se realizó una reestructuración y pasa a denominarse Licenciatura en Geoinformática, a la fecha han egresado 10 generaciones. En el 2007, se aprueba la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática, posgrado que surgió debido a la necesidad que tienen las diferentes áreas relacionadas con estudios territoriales y que requieren desarrollar conocimientos y temáticas de análisis espacial, métodos cartográficos digitales, teledetección y sistemas de información geográfica. A la fecha han egresado 8 generaciones y se ha realizado una reestructuración al programa.

## CONCLUSIÓN

La propuesta, desarrollo e impartición de estos programas educativos han permitido consolidar a nuestra institución y ser conocida y reconocida como pionera y vanguardista en México y en Latinoamérica en lo referente a la enseñanza de estas geotecnologías.

**Palabras claves:** TIG, formación, enseñanza, Estado de México.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# A IMPORTANCIA DAS GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ENSINO DE GEOGRAFIA: UM ESTUDO DE CASO COM ALUNOS DO 6º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL DA REDE ESTADUAL DE OURINHOS - SP

**Ramos dos Santos, Vanessa[a]; Piroli, Edson Luís[b]**
**Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil.**
**[a] (vanessaramosgeo@gmail.com)**
**[b] (piroli@ourinhos.unesp.br)**

**RESUMO**
Esta pesquisa analisou o uso do Sensoriamento Remoto, como apoio ao ensino de Geografia, no sexto ano do Ensino Fundamental das escolas estaduais do município de Ourinhos (estado de São Paulo, Brasil). Avaliou-se o grau de conhecimento e uso do Sensoriamento Remoto com 295 alunos em 12 escolas, com aplicação de questionários estruturados. As respostas dos alunos mostraram que 88% teve algum contato com imagens de satélite fora do âmbito escolar e que 91% utiliza computador em casa. Verificou-se que há um descompasso entre a realidade dos alunos e o ensino de formato 'giz-lousa', uma vez que os escolares tem contato com internet, GPS, computadores e aplicativos como *Google Earth*. Deste modo, não há efetiva aplicação das propostas curriculares brasileiras que preveem as geotecnologias no ensino básico. As informações obtidas forneceram indicadores e orientações quanto à incorporação do Sensoriamento Remoto para a melhoria do ensino de Geografia na escola pública.

**Palavras-chave:** ensino; Geografia; geotecnologias; escola pública.

## INTRODUÇÃO

No atual contexto contemporâneo mundial, o desenvolvimento e uso de tecnologias estão cada vez mais presentes no cotidiano da população. O mesmo ocorre no campo das chamadas 'geotecnologias', em que o mapeamento personalizado (feito por qualquer usuário, utilizando base de dados de sensoriamento remoto, Sistemas de Informações Geográficas e sistema GPS) tem se popularizado por meio de programas computacionais e aplicativos para *smartphones*, tornando as geotecnologias mais presentes no cotidiano das pessoas.

Para Piroli (2013) as geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências que tem trazido avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico, o que as torna fundamentais no processo de ensino e aprendizagem da Geografia.

Essa realidade pode ser importante aliada ao ensino de Geografia em função da espacialização e localização das informações e características das feições do planeta Terra, permitindo o desenvolvimento de temáticas e conceitos geográficos com os alunos.

Sausen (2007) considera fundamental contemplar o Sensoriamento Remoto no ensino básico porque o uso das imagens de satélites no estudo da Geografia colabora com a didática na educação escolar, visto que este recurso possibilita aulas mais diversificadas e atrativas, nas quais o aluno torna-se agente quanto à visualização do espaço e pode se sentir mais motivado. A autora considera também que o uso de imagens de satélite permite estudar o espaço geográfico da própria região dos alunos, possibilitando a identificação do uso e cobertura do solo, a espacialização da mancha urbana, os usos agropecuários, as florestas e os impactos ambientais, entre outros aspectos e, a partir disso, propor possíveis soluções, permitindo ao aluno melhor compreensão dos processos atuantes na sociedade em que vive (SAUSEN & MACHADO, 2004).

Estas proposições vão de encontro com as propostas curriculares nacionais brasileiras e do estado de São Paulo. No Brasil, o ensino básico, compreendido pelos níveis Fundamental e Médio, é norteado por parâmetros e propostas que buscam abranger uma unidade de ensino em âmbito nacional. Assim, as Unidades Federativas (estados) e os municípios devem desenvolver currículos educacionais baseados nas diretrizes nacionais.

Desde os anos 2000 as geotecnologias estão inseridas nos currículos de ensino de Geografia do Brasil e do estado de São Paulo. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) estabelecem o Sensoriamento Remoto como tema transversal a ser trabalhado, sobretudo, no que se refere às questões ambientais e de transformações espaciais (BRASIL, 2002). Já a Proposta Curricular do estado de São Paulo (PCSP) prevê a inserção do Sensoriamento Remoto no sexto ano do Ensino Fundamental, como introdução de novas tecnologias e, na primeira série do Ensino Médio, especificamente, como técnicas de sensoriamento remoto (SÃO PAULO, 2008).

A partir de estudo de caso realizado junto às escolas da rede estadual de Ourinhos (estado de São Paulo, Brasil), com objetivo de analisar o uso do Sensoriamento Remoto como apoio no ensino de Geografia com alunos do sexto ano do Ensino Fundamental, verificou-se que na prática esta temática não está enquadrada nos conteúdos pedagógicos de maneira efetiva, conforme preconizam os documentos referenciais de ensino do Brasil e do estado de São Paulo. A realização da pesquisa revelou também que o não cumprimento dos programas curriculares federal e estadual de Geografia está relacionado a uma série de limitações que envolvem a formação básica e continuada de professores e a falta de materiais disponíveis nas escolas, o que gera condição de comprometimento nas aulas de Geografia e no aprendizado dos alunos.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada com alunos do sexto ano do Ensino Fundamental das escolas da rede pública estadual do município de Ourinhos, entre os anos de 2011 e 2012. O município de Ourinhos localiza-se no centro sul do estado de São Paulo, Brasil (Figura 1) e possui cerca de 109.489 habitantes (IBGE, 2014). No Ensino Fundamental 2, período escolar compreendido entre os sexto e nono anos, Ourinhos possui aproximadamente, 5.142 alunos. No período de realização da pesquisa, o número total de alunos do sexto ano do E.F. era de 1.045.

Para o levantamento dos dados com os alunos realizou-se amostragem aleatória simples, cuja técnica é utilizada para grandes populações, partindo da definição do erro amostral. Esse método de pesquisa é aplicado no estudo com um pequeno grupo de elementos retirados de uma população que se pretende conhecer (BARBETTA, 2008). No caso desta pesquisa, adotou-se erro amostral tolerável de 5% para se estabelecer a amostra, que foi de 295 alunos.

O levantamento de informações quantitativas e qualitativas com os alunos e a avaliação do uso do Sensoriamento Remoto como apoio no ensino de Geografia foi realizada a partir da aplicação de questionários estruturados. Buscou-se informações sobre a frequência de utilização de computador e internet com atividades relacionadas à disciplina de Geografia, qual o grau de conhecimento sobre o *Google Earth*, sobre imagens de satélite e Sensoriamento Remoto e qual o grau de dificuldade quanto a estes temas. Com relação à infraestrutura das escolas, analisou-se se a escola possui laboratório de informática, quais as condições de manutenção e qual frequência de utilização deste laboratório em aulas.

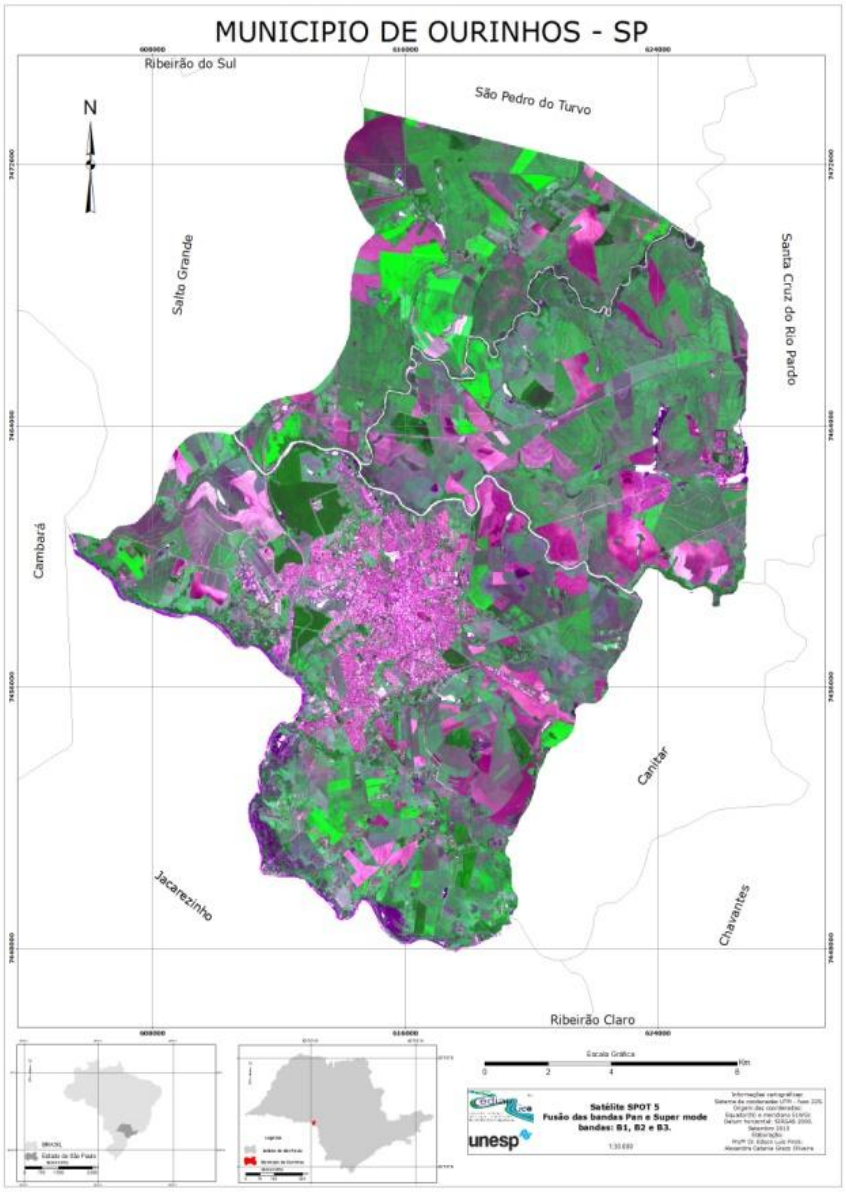



*Figura 1. Município de Ourinhos (São Paulo, Brasil) recortado de uma imagem do satélite SPOT 5[1]. Elaboração: Edson Luís Piroli e Alexandre Catânia Greco de Oliveira (2013).*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elaboração do questionário com sete questões baseadas nos PCNs e na PCSP, e a aplicação junto aos alunos do sexto ano do Ensino Fundamental, permitiu a avaliação do grau de conhecimento dos alunos sobre Sensoriamento Remoto no contexto da disciplina de Geografia. Os dados obtidos com a aplicação dos questionários possibilitaram a organização de tabulações e gráficos, de maneira que, puderam-se gerar análises de forma comparativa e individualizada sobre as escolas pesquisadas.

[1] Imagens cedidas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

As duas primeiras questões foram elaboradas com objetivo de analisar se os alunos já haviam tido contato com produtos de Sensoriamento Remoto.

Na primeira questão (“se já haviam visto alguma imagem (ou foto) do planeta Terra”), a maioria dos alunos pesquisados, 259 (88%), afirmou já ter visto, e 36 alunos (12%) relataram que não haviam visto uma imagem ou foto do planeta Terra. Para complementar esta questão, perguntou-se onde visualizaram tal imagem ou foto, as respostas variaram entre televisão, internet, livros e cartilhas. Estas informações são apresentadas no gráfico 1.

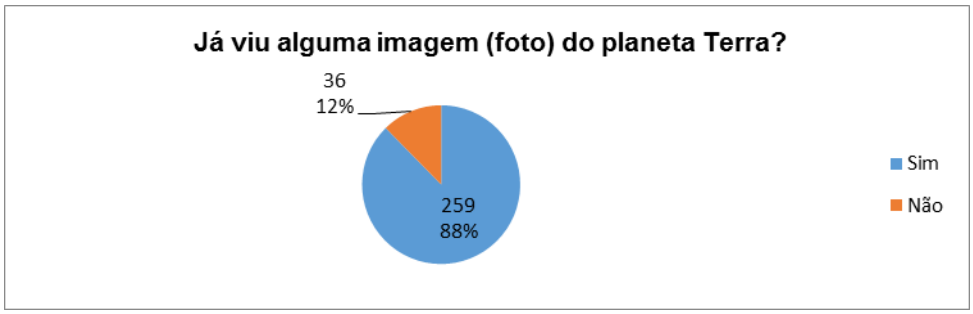



*Gráfico 1. Respostas dos alunos do 6º ano do E.F. se já viram alguma imagem (foto) do planeta Terra.*

Na segunda pergunta, foi apresentada aos alunos uma imagem de satélite, ilustrando a possibilidade de se fazer previsão de tempo para o Brasil, e se questionou se já haviam visto tal imagem ou semelhantes na televisão, jornais, revistas ou livros (Figura 2).




*Figura 2. Exemplo de imagem de satélite inserida no questionário dos alunos.*
*Fonte: Previsão do Tempo. Disponível em: www.geografianoar.com.br. Acesso em 10 de outubro de 2011.*

Ao se verificar as respostas, observou-se que 261 alunos, isto é, 88% do grupo de alunos pesquisados responderam já ter visto essas imagens na televisão, em jornais, revistas e livros; e, 34 alunos (12%) disseram que nunca viram tal tipo de imagem, conforme pode ser observado na gráfico 2.

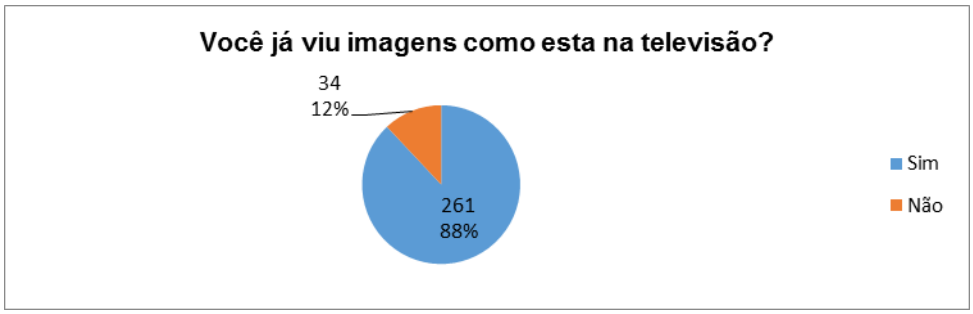



*Gráfico 2. Respostas dos alunos do 6º ano do E.F. se já viram imagens como a apresentada na televisão.*

A partir da análise dessas duas primeiras questões, pode-se afirmar que a maior parte do conjunto de alunos do sexto ano do Ensino Fundamental das escolas da rede estadual de ensino de Ourinhos – SP já teve contato com produtos de Sensoriamento Remoto, sendo elas imagens de satélites ou fotografias aéreas. Contudo, estes alunos apresentaram dificuldades de interpretar e correlacionar informações e características contidas nas imagens com os conhecimentos de Geografia.

Na busca de averiguar se os alunos tem contato com o computador, questionou-se se costumam utilizar computadores frequentemente. 267 alunos (91%) afirmaram que usam e 28 alunos (9%) informaram que não utilizam computador com frequência (gráfico 3).

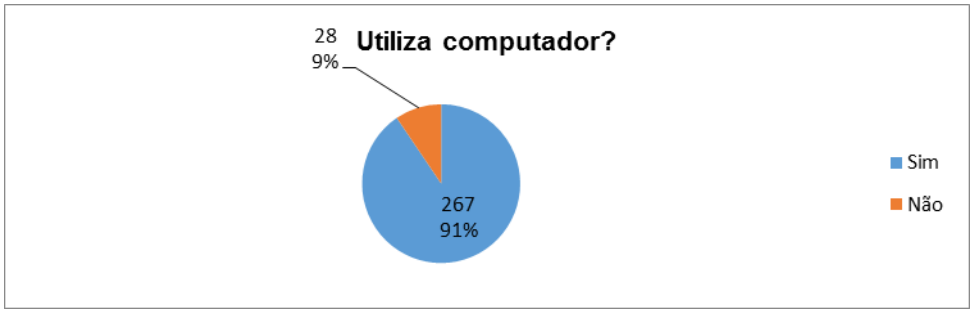



*Gráfico 3. Respostas dos alunos do 6º ano do E.F. se utilizam computador.*

Na sequência (questão 6), perguntou-se onde costumam utilizar o computador, se em casa ou na escola. Nesta questão, notou-se que a maioria dos alunos utiliza computador em casa (255 – 86%) e que um menor percentual (40 alunos – 14%) não usa computador em casa. Verificou-se que 114, ou seja, 39% dos alunos afirmaram que utilizam computador na escola, entretanto, a maior parte dos alunos, (180) ou 61% informou que não usa computador na escola. Estes dados estão apresentados na tabela 1.

*Tabela 1. Pergunta 6: Onde utilizam computador, se em casa ou na escola?*

| **6. Onde?** | |
|---|---|
| **Em casa?** | |
| Sim | 255 |
| Não | 40 |
| TOTAL | 295 |
| **Na escola?** | |
| Sim | 114 |
| Não | 180 |
| TOTAL | 295 |

A avaliação dessas duas questões destaca que a maioria dos alunos do sexto ano do E.F. tem contato com o computador e que grande parte destes alunos utiliza computador em casa. Isto indica que, a partir de conhecimentos básicos de informática, pode-se introduzir o ensino das geotecnologias, aquisição e pesquisa de imagens de satélites relacionando ao ensino de conceitos da Geografia. É importante destacar que as doze escolas estaduais de Ourinhos possuem sala de informática, que pode ser usada para aulas. Sendo assim, relacionar o ensino de Geografia com temáticas que envolvem as geotecnologias, pode levar o aluno à continuidade das pesquisas em casa, gerando maior interesse e motivação para o aprendizado dos conceitos geográficos.

Entretanto, os alunos mencionaram que os professores raramente utilizam a sala de informática para aulas ou atividades. Neste caso, verifica-se que há uma dicotomia entre o professor que não propõe atividades que utilizam as novas tecnologias e o aluno que atualmente usa intensamente e está envolvido num mundo cada vez mais *(geo)*tecnológico, pois de acordo com o detectado nos questionários dos alunos do Ensino Fundamental, mais de 85% tem acesso a computadores em suas próprias residências. Os demais alunos tem acesso a computadores na escola e em outros lugares. Estes dados corroboram o publicado por Santos & Piroli (2015) que informaram ter levantado em pesquisa realizada na cidade de Ourinhos que 65% dos professores que ministram a disciplina de Geografia nas escolas estaduais não teve disciplina de Sensoriamento Remoto ou correlata durante sua formação.

De modo geral, ao analisarem-se as informações levantadas pela aplicação dos questionários aos alunos e ao relacionar com as propostas e programas curriculares oficiais do Brasil e do estado de São Paulo, constatou-se que não há o ensino efetivo dos conceitos de Geografia baseados em recursos de Sensoriamento Remoto e demais geotecnologias. E que, portanto, não há o cumprimento efetivo e adequado dos Parâmetros Curriculares Nacionais e da Proposta Curricular do estado de São Paulo com o ensino dos conteúdos de Sensoriamento Remoto na disciplina de Geografia para o 6º ano do Ensino Fundamental nas escolas da rede estadual de ensino em Ourinhos.

## CONCLUSÕES

As discussões referentes ao ensino, especificamente de Geografia, e a introdução de recursos geotecnológicos são fundamentais no atual contexto brasileiro e mundial, pois permite a compreensão da sintonia ou descompasso entre ensino e desenvolvimento da ciência. A realização desta pesquisa permitiu concluir que a realidade do ensino público no Brasil mostra que o modelo está desatualizado e desconectado com a realidade dos alunos, e, consequentemente, isto pode refletir em falta de estímulo e desinteresse pela escola. Além disso, embora os estudantes vivam na era da informatização e, mesmo que previsto nos PCNs e na PCSP desde os anos 2000, o modelo de ensino vigente ainda é do século passado (XX) e não tem acompanhado a evolução científica.

No caso do trabalho com produtos do Sensoriamento Remoto no contexto dos conceitos e temas da disciplina de Geografia, verificou-se que, nas escolas públicas de Ourinhos, o uso de imagens de satélites, fotografias aéreas, de *softwares* e aplicativos para elaboração de mapas ainda é pouco explorado como recurso didático. Este aspecto reforça o fato de que o modelo vigente está desconexo com a realidade, uma vez que os alunos vivem num mundo tecnológico, cercado por computadores, internet, *notebooks*, *smartphones*, *tablets*, GPS e aplicativos como *Google Earth*, que podem contribuir com o ensino escolar. Entretanto, quando não são orientados da maneira correta, o uso e o conhecimento efetivo destas tecnologias tornam-se ínfimos e superficiais.

Esses aspectos também remetem a análises sobre os professores que atualmente ministram aulas na rede pública estadual de Ourinhos. Observou-se que a maioria deles não teve a disciplina de Sensoriamento Remoto na sua formação e não fizeram cursos complementares na área. Isto indica a necessidade de estímulo a estes professores para fazerem cursos relacionados à temática, uma vez que a mesma é exigida pelas propostas de educação do país e do estado de São Paulo e, é cada vez mais presente na vida da sociedade em geral e, especialmente, dos escolares. E assim, os professores serão cada vez mais cobrados sobre conhecimentos desta área.

A metodologia da amostragem aleatória simples forneceu, a partir do grupo pesquisado, informações atuais sobre as características dos alunos do 6º ano do Ensino Fundamental diante do uso do Sensoriamento Remoto na disciplina de Geografia. A amostra pesquisada permitiu concluir que escolares apresentam dificuldades de interpretar e observar características em imagens de satélite e de correlacionar estas com os conhecimentos da Geografia. Considera-se que a utilização de produtos do Sensoriamento Remoto como instrumento no estudo do espaço geográfico poderia gerar um processo desencadeador da compreensão e aprendizagem das características físicas e humanas locais, do meio em que os alunos vivem, até aspectos globais das feições do planeta Terra.

Após as análises se pode afirmar ainda que, como a escola é o local onde o aluno deve ter acesso a uma formação integral e atual, e como as geotecnologias fazem parte do dia a dia dos estudantes e da sociedade cada vez com maior intensidade, é fundamental que sejam incessantemente buscados subsídios acerca das

novas realidades tecnológicas e educacionais para que se possam preparar professores e alunos para um mundo cada vez mais informatizado, fazendo com que todos sejam capazes de usar as *(geo)*tecnologias ao seu favor e a favor de um mundo mais justo e equilibrado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro. Também agradecem às escolas públicas estaduais de Ourinhos (São Paulo, Brasil) e aos professores e alunos pela contribuição e disponibilidade em participar desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBETTA, P.A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 7ª ed. Florianópolis: editora da UFSC, 2008.

1. BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais:** geografia. Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC/SEF, 1998. 156 p.
2. FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
3. IMPAGLIAZZO, M. Utilização de imagens de satélite como recurso na proposição de mudanças no ensino da geografia. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2009, p.2421-2427
4. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais**. IBGE, 2014. Disponível em www.cidades.ibge.gov.br. Acesso em 10 de janeiro de 2015.
5. PIROLI, E.L. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das áreas de preservação permanente dos corpos d´água da bacia hidrográfica do rio Pardo**. Ourinhos, 2013. 150 p. Tese de Livre Docência. Universidade Estadual Paulista.
6. SANTOS, V. R., PIROLI, E.L. O Sensoriamento Remoto no ensino de Geografia: análise a partir dos documentos referenciais do Brasil e do estado de São Paulo. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2015, p.2007-2014.
7. SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação do Estado de São Paulo. **Proposta curricular do estado de São Paulo: Geografia.** São Paulo: SEE, 2008.
8. SAUSEN, T.M. **Projeto Educa SeReIII, elaboração de carta imagem para o ensino de Sensoriamento Remoto e utilização de cartas imagens-CBERS como recurso didático em sala de aula**. São José dos Campos: INPE, 2007.
9. SAUSEN, T.M.; MACHADO, C. B. A Geografia na sala de aula: informática, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas – recursos didáticos para o estudo do espaço geográfico. In: **Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul**, 4. INPE: São Leopoldo, 2004.




# EJE 2

## Recursos Naturales, Ambiente y Cambio Climático

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN EL DESARROLLO DE UN PLAN DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS CIUDADES DEL CARIBE

**Seguinot Barbosa, José**[a]
**Departamento de Salud Ambiental, Recinto de Ciencias Médicas, Universidad de Puerto Rico**
[a]**(jose.seguinot@upr.edu)**

**RESUMEN**

Se define el Cambio Climático (CC) como la modificación en los elementos del clima que ha tenido lugar respecto a su escala regional y global causada por factores naturales y/o humanos. El calentamiento global es el signo más evidente del cambio climático. El propósito principal de este trabajo es presentar el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el diseño e implantación de un Plan de Adaptación y Mitigación (PAM) en el contexto de varias ciudades del Caribe (San Juan, Santo Domingo, La Habana, Cancún y Cartagena de Indias). Para ello habrán de analizarse la conexión entre el modelo de cambio climático desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC), la estructura del Plan de adaptación y Mitigación y los SIG en estas ciudades Caribeñas. El propósito es desarrollar un modelo conceptual que incluya crear un Plan de Adaptación basado en mediciones del impacto del ascenso del nivel del mar (ANM) y sus efectos en las inundaciones de las zonas residenciales, en el sistema de salud y en la propagación de algunas enfermedades tropicales.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# EVOLUCIÓN DE LA DEFORESTACIÓN/DEVEGETACIÓN EN EL NORTE GRANDE DE CHILE

**Montalva, Daniela[a]; Monti1, Camila[a]; Montenegro, Nicole[b]; Román-Figueroa, Celián[b] y Paneque, Manuel [a,c]**

[a]Laboratorio de Bioenergía y Biotecnología Ambiental, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago.

[b]Agroenergía Ingeniería Genética S.A., Almirante Lynch 1179, San Miguel, Santiago

[c](mpaneque@uchile.cl)

**RESUMEN**

La Ley 20.283/2008 reconoce la importancia de las formaciones xerofíticas del norte de Chile, pero aún se desconoce su estado de conservación. Se estudió la evolución de las formaciones boscosas y xerofíticas (matorrales) en el norte de Chile entre los años 2003 y 2008. Se emplearon imágenes satelitales Landsat 5, las que fueron procesadas y clasificadas. Se determinó la magnitud y distribución de los cambios en las coberturas de bosque y matorral. La deforestación y devegetación bruta fue de 75.903 y 512.409 ha, respectivamente. La reforestación y revegetación fueron de 110.000 y 717.000 ha. Se cuantificó un aumento neto de 34.000 ha para bosques y 139.000 ha para matorrales. En conclusión, entre los años 2003 y 2008 hubo un aumento de 0,76% en la superficie de formaciones leñosas entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama.

**Palabras claves:** Deforestación; Devegetación; Bosque; Matorral; Norte de Chile.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques concentran el 90% de la biomasa de la tierra (Raev *et al*., 1996), éstos son fuente de bienes (madera y fibras) y servicios ecosistémicos (conservación de la biodiversidad y protección de las cuencas hidrográficas). También son responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Leith y Whittacker, 1975; Franquis e Infante, 2003). La Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, define bosque como un lugar cubierto por formaciones vegetales donde predominan árboles con una superficie mínima de 0,5 hectáreas, un ancho mínimo de 40 metros y cobertura de copa mayor a 10% de la superficie total en condiciones áridas y semiáridas (Ley 20.283, 2008).

La pérdida de superficie boscosa se denomina deforestación, entendida como el cambio del uso de suelo forestal a no forestal (IPCC, 2000). Las causas directas de la deforestación son principalmente antrópicas (tala y/o quema de los bosques) y se realizan en pos del crecimiento de actividades económicas y la expansión de asentamientos humanos (FAO, 2012). Se estima que en los últimos 10 años se perdieron cerca de 5,2 millones de hectáreas de bosques, a una tasa de 0,13% anual, la cual se ha mantenido en el tiempo (FAO, 2010). En Chile la deforestación se ha traducido en una disminución del 46,6% en la superficie de bosque nativo desde el inicio del siglo XVI (Del Pozo, 2013).

La deforestación contribuye entre un 16% y 18% a las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, y en consecuencia con el calentamiento global. El aumento de los bosques representa una oportunidad para capturar el carbono contenido en la atmósfera (Arriaga, 2012). También la deforestación es una de las causas de la desertificación, estimándose que más de 100 millones de hectáreas en América del Sur se han perdido por deforestación (Morales, 2005).

En el norte de Chile (entre 17°S y 32°S), un 0,48% de la superficie corresponde a bosque, un 0,41% a plantaciones y un 26,6% a matorral (Universidad Austral de Chile *et al*. 1999). La importancia del matorral radica no solo en que es la principal formación leñosa del norte de Chile, sino también en su rol en la mantención de la biodiversidad, en el control de la erosión de los suelos y de la desertificación, además son la principal fuente de secuestro de carbono (Gutiérrez y Squeo, 2004; FAO, 2005). Los matorrales, junto a la vegetación suculenta, forman parte de las formaciones xerofíticas, a las cuales se les reconoce su importancia ecosistema en la Ley 20.283 (2008). Sin embargo, la pérdida de cobertura de matorrales, llamada devegetación, no constituye deforestación por lo que no tiene asociadas medidas destinadas a su monitoreo y control (IPCC, 2000). En este estudio se analizó la deforestación y devegetación del norte de Chile entre los años 2003 y 2008 mediante teledetección, que es el principal método usado en este tipo de estudios (De Fries *et al*., 2002; Alvarez y Naughton, 2003; Segura y Trincado, 2003).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se desarrolló en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama, lo cual se extiende entre los 17°29′ y 29°32′ de latitud sur y 66°59′ y 71°31′ de longitud oeste, abarcando una superficie de 260.324,4 $km^2$ (INE, 2013).

### Caracterización de la deforestación y devegetación

La deforestación y devegetación se estimó para el periodo 2003-2008 utilizando 38 imágenes satelitales del sensor TM a bordo del satélite Landsat 5.

Para evitar interferencias en la interpretación de las imágenes, como el invierno boliviano y el desierto florido, se escogió noviembre como mes de referencia. Las escenas que presentaron un porcentaje de cobertura de nubes alto u otro inconveniente fueron descartadas, prefiriendo las de fechas cercanas que permitieran su utilización en este estudio. En ciertos casos fue necesario hacer una mezcla de escenas para evitar usar escenas de una fecha muy distante.

#### *Pre-procesamiento de imágenes satelitales*

Se realizó una extracción de nubes mediante máscaras generadas por interpretación visual de los verdaderos colores de las escenas.

El pre-procesamiento de las escenas se realizó en base a lo propuesto por Hantson *et al*. (2011) y consistió en la transformación de niveles digitales (ND) a reflectividad al tope de la atmósfera, corrección atmosférica mediante el método de la sustracción del objeto oscuro de Chavez (1996) y corrección topográfica mediante el método de corrección C de Teillet *et al*. (1982).

Con las escenas pre-procesadas correspondientes a los 19 path/rows de cada año se generaron los respectivos mosaicos.

#### *Zonificación*

Debido a la extensión del área de estudio, se realizó una zonificación en base al NDVI (Ecuación 1), dividiendo ésta en una zona de no-vegetación y una zona de posible-vegetación, para posteriormente perfeccionar la clasificación. El valor umbral de NDVI entre las zonas se estableció en base a interpretación

visual y lo señalado en bibliografía (Chuvieco, 2008; Castro *et al*., 2014). Se incluyeron dentro de la vegetación los píxeles en que en al menos uno de los años se alcanzara o superara el valor umbral.

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Ecuación 1

Donde,

$NDVI$ : Índice de vegetación de diferencia normalizada

$IRC$ : Banda del infrarrojo cercano

$R$ : Banda roja

***Clasificación supervisada***

A la zonificación de NDVI se le realizó una clasificación supervisada.

- Se utilizaron áreas de entrenamiento de las coberturas que estaban representadas en la zonificación, estas se espacializaron mediante la digitalización de polígonos en base a información proporcionada por CONAF, correspondiente a datos tomados en terreno, estos se complementaron con fotointerpretación de imágenes satelitales de alta resolución espacial de distintos años en el software Google Earth y con el Catastro de Recursos Vegetacionales.
- El tamaño del área de entrenamiento de cada clase se determinó como al menos 30 píxeles por cada banda que se use en la clasificación supervisada (Mather, 1999).
- Para evitar la auto-correlación espacial se priorizó la digitalización de varios polígonos pequeños ante la de uno o pocos polígonos grandes cuando fue posible (Chuvieco, 2008).
- La asignación de las clases a cada pixel se realizó mediante la Clasificación de Máxima probabilidad en ArcGis 10.1.

***Estimación de la deforestación y devegetación***

En cada año se enmascararon “bosque” y “matorral” y se contabilizaron sus superficies. Se consideró deforestación lo que pasó de bosque a otro uso, devegetación lo que pasó de matorral a otro uso (excepto a bosque, considerado reforestación), reforestación lo que pasó de otro uso a bosque y revegetación lo que pasó de otro uso a matorral (excepto bosque, considerado deforestación).

La deforestación y devegetación bruta se estimó mediante la Ecuación 2 (Angelsen *et al.*, 2009).

$$DB_p = A_2 - A_1$$

Ecuación 2

Donde,

$DB_p$ : Deforestación/devegetación bruta para el periodo $p$.

$A_1$ : Área de cobertura en el tiempo 1

$A_2$ : Área de cobertura en el tiempo 2

La deforestación y devegetación neta se estimó mediante la Ecuación 3 (Angelsen *et al.*, 2009).

$$DN_p = DB_p + R_p$$

Ecuación 3

Donde,

$DN_p$ : Deforestación/devegetación neta para el periodo $p$.

$DB_p$ : Deforestación/devegetación bruta para el periodo $p$.

$R_p$ : Reforestación para el periodo $p$.

## RESULTADOS

### Caracterización de la deforestación y devegetación

#### *Pre-procesamiento de imágenes satelitales*

Se identificó que las escenas del año 2008 se encontraban movidas en ±5 pixeles con respecto al año 2003, lo que se consideró irrelevante por la extensión del área de estudio.

#### *Zonificación*

El valor umbral de NDVI para discriminar entre posible-vegetación y no-vegetación se estableció en 0,1. Este valor es similar a lo planteado por Chuvieco (2008) y Castro *et al*. (2014)

#### *Clasificación supervisada*

Las clases identificadas en la zona de posible-vegetación (NDVI ≤ 0,1) fueron agricultura, agua, bosque, humedal, matorral, salar y suelo desnudo y frutales (considerada como una clase distinta a “agricultura” por su similitud con “bosque”, lo que alteraba los resultados de la clasificación).

La clase de humedal se eliminó para evitar la confusión entre esta y la clase de bosque, clases con mayor NDVI. Se realizó una máscara para omitir la superficie de humedales de la clasificación en base al Inventario Nacional de Humedales del año 2012.

Al usar 6 bandas se estimó en 90 el mínimo de píxeles para cada clase (Mather, 1999). Se determinaron 7 clases para la determinación de las áreas de entrenamiento (Tabla 1). Se determinó la mayor cantidad de polígonos para cada clase, según la superficie que representa cada una en el territorio y su dispersión en el área de estudio. Para la clase de frutales solo se identificó una zona.

De la clasificación supervisada para los años 2003 (Figura 1a) y 2008 (Figura 1b) se observó que los matorrales se concentran en las zonas altiplánicas de las regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá. Mientras que el bosque se restringió a algunas zonas del altiplano, valles y en las plantaciones de tamarugos de la Pampa del Tamarugal, en la Región de Tarapacá.

*Tabla 1. Número de polígonos y superficie de las áreas de entrenamiento por clase. Fuente: Elaboración propia.*

| **Clase** | **N° polígonos** | **Área (Ha)** | **Pixeles** |
|---|---|---|---|
| Agricultura | 30 | 1155,89 | 1.284.333.246 |
| Agua | 2 | 216,38 | 2.404.321.519 |
| Bosque | 8 | 2425,33846 | 2.694.820.515 |
| Frutales | 2 | 105.467832 | 11.718.648 |
| Matorral | 16 | 1164.75189 | 1.294.168.764 |
| Salar | 5 | 701.435393 | 7.793.726.584 |
| Suelo desnudo | 10 | 9032.81704 | 1.003.646.337 |

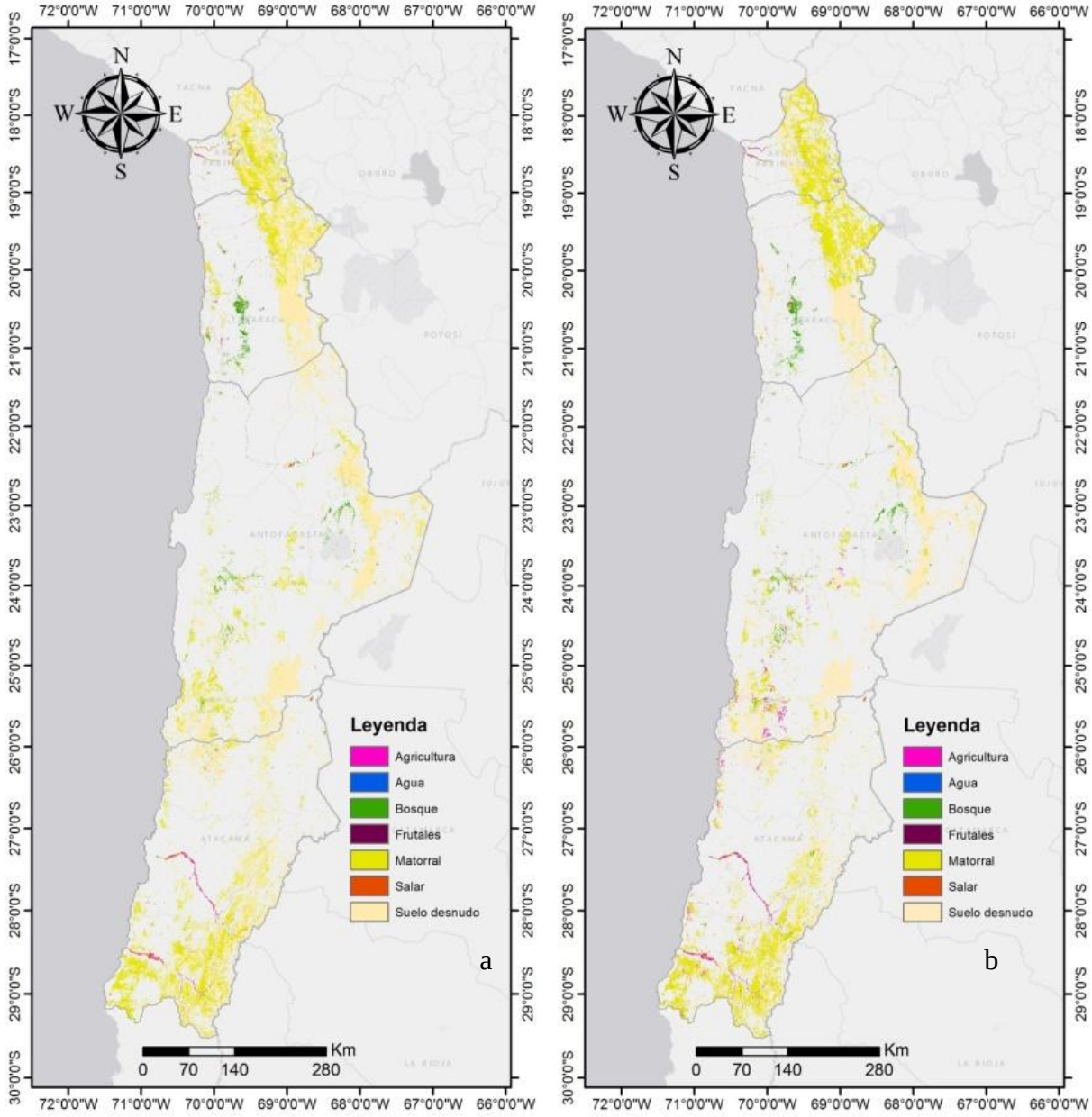



*Figura 1. Clasificación supervisada del área de estudio para el año 2003 (a) y para el año 2008 (b)*
*Fuente: Elaboración propia.*

### *Estimación de la deforestación y devegetación*

Se registró un aumento en la superficie de bosque y matorral, el que fue de 0,54% para matorral y de 0,13% para bosques (Tabla 2)

*Tabla 2. Superficie de vegetación en el área de estudio en los años 2003 y 2008*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | Superficie de cada clase (ha) | | Superficie respecto al área de estudio (%) | |
|---|---|---|---|---|
| **Año** | **2003** | **2008** | **2003** | **2008** |
| Bosque | 184.487 | 218.428 | 0,71 | 0,84 |
| Matorral | 1.864.208 | 2.005.047 | 7,15 | 7,69 |

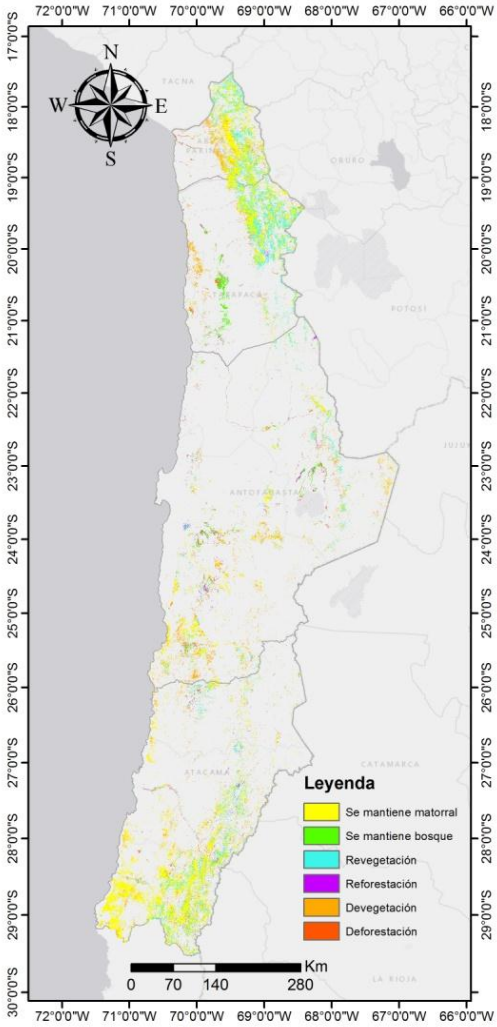



*Figura 2. Cambios en cobertura vegetacional para el periodo 2003-2008.*
*Fuente: Elaboración propia.*

La mayor pérdida de cobertura vegetal, en magnitud, a nivel de área de estudio, se registró para los matorrales, disminución de 512.409 ha entre los años 2003 y 2008 (Figura 2, Cuadro 3), aunque si se compara la superficie devegetada entre los años 2003 y 2008, esta corresponde a una pérdida de 8,82%. En cambio, en el caso de los bosques, la magnitud de pérdida es menor (75.903 ha), pero se traduce en que entre los años 2003 y 2008 se deforestó un 19% del bosque presente en al área de estudio. En consecuencia se produjo una pérdida acelerada en la superficie de los bosques, en comparación con la de los matorrales. De todas formas, tanto en bosque como en matorral, más de la mitad de estas coberturas se mantiene intacta.

*Tabla 3. Cambios en la cobertura vegetacional 2003-2008*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | **Superficie de cambio** | |
|---|---|---|
| | ha | % |
| Deforestación bruta | -75.903 | -0,29 |
| Devegetación bruta | -512.409 | -1,96 |
| Reforestación | 110.181 | 0,42 |
| Revegetación | 676.832 | 2,59 |
| Se mantiene como bosque | 109.284 | 0,42 |
| Se mantiene como matorral | 1.290.089 | 4,95 |
| Deforestación neta | 34.279 | 0,13 |
| Devegetación neta | 164.424 | 0,63 |

En deforestación bruta (Tabla 3) se consideró el cambio de bosque a matorral, equivalente a 40.065 ha, lo cual representa más de un 50% del total de bosque perdido. Por lo tanto, cuando ocurre deforestación el uso de suelo no pasa a ser únicamente suelo desnudo, sino que a una cobertura vegetal con comportamiento similar al bosque (matorral), minimizando los efectos negativos del cambio de uso de suelo.

## DISCUSIÓN

La distribución de las coberturas estudiadas es similar a la observada en el Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile (Universidad Austral de Chile *et al*., 1999), el análisis pixel a pixel permitió entregar un mayor detalle respecto a lo que era (o no era) bosque y/o matorral.

Los resultados se condicen con la tendencia nacional de una baja tasa de deforestación, 0,1% entre 1990 y 2000, versus una alta tasa de reforestación 0,37% (FAO, 2001; 2010). Esto también se puede apreciar en cantidad de hectáreas que han sido forestadas y reforestadas en las regiones del área de estudio (Cuadro 4), lo cual da cuenta de un incremento en la vegetación leñosa en el área de estudio. De todos modos los resultados de este estudio demuestran un incremento superior entre los años 2003 y 2008 a lo registrado (Cuadro 4), lo que puede verse influenciado por la fenología de la vegetación.

*Cuadro 4. Superficie de plantaciones forestales, por Región y año (ha)*
*Fuente: CONAF, 2005; 2006; 2007; 2008 y 2009.*

| Año | XV | I | II | III | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 2004 | - | 65 | 67 | 151 | 283 |
| 2005 | - | 42 | 73 | 322 | 437 |
| 2006 | - | 29 | 41 | 273 | 343 |
| 2007 | 31 | - | 52 | 158 | 241 |
| 2008 | 24 | 2 | 60 | 136 | 222 |
| Total | 55 | 138 | 293 | 1.040 | 1.526 |

## CONCLUSIONES

Se concluye que entre los años 2003 y 2008 hubo pérdida de superficie de bosques y matorrales, de todos modos, la reforestación y revegetación fueron mayores, por lo que existe un aumento neto (0,76%) en la superficie de vegetación leñosa en el área de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

CONAF 633-83-LP13

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarez, N. and L. Naughton. 2003. Linking National Agrarian Policy to Deforestation in the Peruvian Amazon: A case Study of Tambopata, 1986-1997. *Royal Swedish Academy of Sciences*, 32 (4): 269-274.
2. Angelsen, A; S. Brown; C. Loisel; L. Peskett; C. Streck y D. Zarin. 2009. Reducción de Emisiones de la deforestación y la degradación de bosques (REDD): reporte de evaluación de opciones. Washington, Estados Unidos: Meridian Institute. 108 p.

3. Arriaga, V. 2012. Reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques (REDD+) en los países de América Latina: requerimientos institucionales y jurídicos para su implementación. Santiago, Chile: DDSAH; CEPAL. 175 p.
4. Castro, C; A. Montaña; C. Pattillo y A. Zúñiga. 2014. Detección del área con desierto florido en el territorio del Mar de Dunas de Atacama, mediante percepción remota. *Revista de geografía Norte Grande*, 57: 103-121.
5. Chavez, P. 1996, Sep. Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62 (9): 1025-1036.
6. Chuvieco, E. 2008. Teledetección Ambiental. 3° ed. Barcelona, España: Editorial Ariel S.A. 595.
7. CONAF. 2005. Plantaciones forestales efectuadas durante el año 2004, Informe Técnico 2005.
8. CONAF. 2006. Plantaciones forestales efectuadas durante el año 2005, Informe Técnico 2006.
9. CONAF. 2007. Plantaciones forestales efectuadas durante el año 2006, Informe Técnico 2007.
10. CONAF. 2008. Plantaciones forestales efectuadas durante el año 2007, Informe Técnico 2008.
11. CONAF. 2009. Plantaciones forestales efectuadas durante el año 2008, Informe Técnico 2009.
12. De Fries, R.; R. Houghton; M. Hansen; C. Field; D. Skole y J. Townshend. 2002. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (22): 14256-14261.
13. Del Pozo, S. 2013. Historia de los bosques naturales y forestal de Chile. Chile. 90 p.
14. FAO. 2001. Causas y Tendencias de la Deforestación en América Latina: Documento de Trabajo 52. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Roma: Departamento de Montes, FAO. 91 p.
15. FAO. 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005, Chile, informe nacional 156. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Roma: Departamento Forestal, FAO. 59 p.
16. FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe principal 163. Roma: Departamento de Montes, FAO. 381 p.
17. FAO. 2012. El estado de los bosques del mundo. Roma, FAO. 50 p
18. Franquis, F. y A. Infante. 2003. Los Bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. *For. Lat*., 34:17-20.
19. Gutiérrez, J y F. Squeo. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas*, 13 (1): 36-45.
20. Hantson, S., E. Chuvieco, X. Pons, C. Domingo, C. Cea, G. Moré.J. Cristobal, J.J. Peces y J.A: Tejeiro. 2011. Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 36:51-61.

21. INE. 2013. Compendio Estadístico 2013 [En línea]. Recuperado en: http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/COMPENDIO_2013.pdf. Consultado el: 26 de septiembre de 2014.
22. IPCC. 2000. Resumen para responsables de políticas. Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura: Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. Canadá. 30 p.
23. Leith H. and R. Whittacker. 1975. Primary productivity of the biosphere. Ecological Studies. New York. v.14., 10 p.
24. Ley 20.283. Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal. Publicada en Diario Oficial 30 de julio de 2008.
25. Mather, P. 1999. Computer processing of remotely-sensed images. An introduction. Second edition. John Wiley & Sons, Chichester, New York, USA. 292 pp.
26. Morales, C. 2005. Pobreza, desertificación y degradación de tierras (pp. 25-58). En: Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago, Chile: CEPAL. 267p.
27. Raev, I., U. Asan y O. Grozev. 1996. Acumulación de $CO_2$ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turquía y Bulgaria en las últimas décadas. XI Congreso Mundial Forestal. Antalya, Turquía. v1., 123-130 pp.
28. Segura, R. y G. Trincado. 2003. Cartografía digital de la Reserva Nacional Valdivia a partir de imágenes satelitales Landsat TM. *Bosque (Valdivia)*, 24(2): 43-52.
29. Teillet, P., B. Guindon, and D. Goodeonugh. 1982, Dic. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8(2): 84-106.
30. Universidad Austral de Chile; Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad Católica de Temuco. 1999, mar. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile, Informe Regional Primera a Cuarta Región. Chile: CONAF; CONAMA; MINAGRI. 224 p.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y LA EVALUACION MULTICRITERIO COMO METODOLOGIA PARA LA LOCACION ÓPTIMA DE CAMPOS DE GENERADORES DE ENERGIA EOLICA

**Márquez, Eduardo Jaime[a]; Del Cid, María Concepción; Velázquez, Laura; Martínez, Mirtha; Lopez, Juan Manuel**
**Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro (CEFOCCA), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan-Argentina**
**EPSE- Provincial Sociedad del Estado_ Gobierno de San Juan_ Argentina**
**[a](emarquez@unsj.edu.ar)**

**RESUMEN**

Nuestra sociedad de hoy, se desenvuelve cotidianamente dentro de un ambiente tecnológico con una intensión de uso de estas tecnologías cada vez más acentuada, lo que la hace gran demandante de energía. Esta energía es provista en su gran mayoría todavía por residuos fósiles, lo que hace que la explotación y el uso de la misma sea altamente contaminante y también perecedera a no muy largo plazo. También hay otras fuentes alternativas de energía como la atómica que trae aparejado riesgos de contaminación en su manipulación. Frente a este panorama las sociedades están intentando cambiar la matriz energética incluyendo en la misma fuentes de energía renovables no contaminante, como las energías fotovoltaica, **eólica**, hidráulica, biomasa.

El objetivo a alcanzar, es definir el mejor emplazamiento geográfico de los campos eólicos con el fin de producir energía eléctrica. Este trabajo propone usar el tándem de las técnicas **Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Evaluación Multicriterio** como un procedimiento adecuado para generar modelos decisionales y apoyar la tarea en la toma de decisión en la ubicación de las mejores zonas de instalación de futuros parques eólicos óptimas a nivel espacio geográfico de la provincia de San Juan. Argentina.

Los *Sistemas de Información Geográfico* (SIG) funcionan como herramientas especialmente desarrolladas para montar y administrar modelos de simulación y manejar criterios y restricciones físicas, económicas y medioambientales parar luego tomar la mejor decisión.

La *Evaluación Multicriterio* (EMC), tiene como fin básico investigar un tema bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto (Voogd, 1983).

En este sentido, los métodos de EMC incorporados en los SIG permiten transformar y combinar conjuntamente datos geográficos y juicios de valor (preferencias e incertidumbres de los expertos) con el objetivo de obtener una información adecuada y útil para la toma de decisiones (Boroushaki y Malczewski, 2010)

**Palabras claves:** Sistemas de Información Geográfica, Evaluación Multicriterio, Geomática, Cartografía Digital, Energía Eólica.

## INTRODUCCION

La energía eólica**,** como fuente alternativa de energía renovable**,** procede de la radiación solar por la producción de masas de aire con diferentes temperaturas y presiones. La distribución espacial de la energía eólica está rígidamente condicionada por la topografía de la zona, por lo que su empleo está restringido a determinadas localizaciones, quedando descartada en espacios extensos.

La energía eólica hace referencia a la energía cinética contenida en el viento, que depende fuertemente de la velocidad a la que se mueven las masas de aire. Se usan torres de distintas alturas y turbinas con aspas (aerogeneradores) de diversas potencias para transformar la energía eólica en energía mecánica y ésta finalmente en electricidad. Estos dispositivos están técnicamente muy desarrollados en la actualidad y hay países en el mundo que hacen de esta forma de generación eléctrica una alternativa viable y económicamente sustentable como una manera eficaz y no contaminante de incorporación a la matriz energética adoptada.

Existen actualmente condiciones que motivan la puesta en marcha de soluciones modernas con implementaciones tecnológicamente factibles para logara el objetivo principal de este proyecto, lo que puede expresarse según algunas consideraciones como:

- ✓ Acceso a modelos digitales globales de terreno y sus modelos derivados con niveles de precisión y exactitud altimétricas aceptables y suficientes para los fines de este trabajo.
- ✓ Posibilidad de contar con un mapa- criterio como la velocidad del viento y dirección , que es un dato crítico para evaluar mapas de acogida optima de campos de viento
- ✓ Uso intensivo de cartografía digital en aplicaciones de consulta directa o vía WEB.
- ✓ Esta bastante probado la efectividad en diferentes aplicaciones a nivel mundial en diversos ámbitos, de la combinación de las tecnologías Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio para poder generar mapas de acogida del territorio para el emplazamiento de parques eólicos.
- ✓ Sistematización de varios procedimientos y cálculos de los distintos métodos geoestadisticos de localización en programas informáticos propietarios y libres.

- ✓ Acceso a un número importante de criterios y restricciones (mapas temáticos) que servirán de base para la Evaluación multicriterio en el objetivo de la creación de las mejores localizaciones de lugares óptimos para campos eólicos.

## MATERIALES Y METODOS

Debemos contar con los datos espaciales georreferenciados asociados a criterios y definidos como *factores y restricciones*. Los primeros como criterios que realzan o detractan la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración (Eastman et al, 1993:2) y el segundo como criterio que restringe la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada, es decir, se genera una capa binaria (1,0) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otro, la no disponibilidad para la actividad.

Una vez conformada la geodatabase con los componentes espaciales (criterios) se someterán al procedimiento EMC, seleccionando los pesos por diversas maneras (subjetivos, asignados o calculados estadísticamente) con que intervendrán los datos, los algoritmos de normalización o estandarización (lineales, sigmoidales, exponenciales) y los métodos para las estrategias de decisión. Posteriormente se generaran los mapas de acogida óptima del territorio para la ubicación de los mejores lugares y la comparación entre ellos, para instalar un parque eólico.

Podemos sintetizar la metodología según una secuencia de fases a saber:

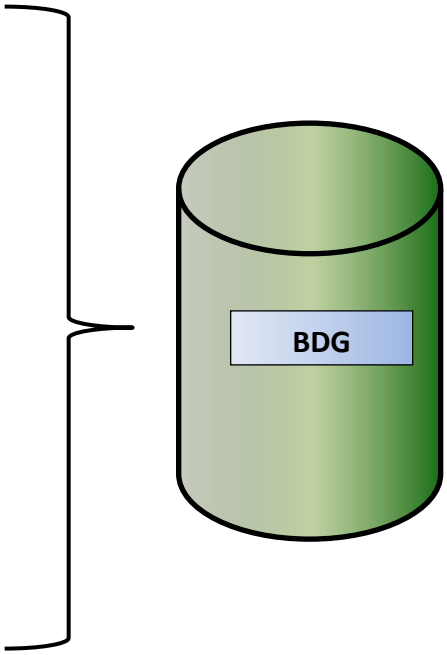
- Fase 0: Recopilación de antecedentes.
- Fase 1: Determinación de la zona de estudio.
- Fase 2: Diseño , selección y generación de los criterios y restricciones que conformaran la Geodatabase de análisis
- Fase 3: Procesados de los datos mediante la metodología EMC. Modelo Decisional
- Fase 4: Comparación de los resultados
- Fase 5: Validación de los resultados. Análisis de Sensibilidad Explícitamente Espacial
- Fase 6: Publicación en la WEB de los mapas síntesis de los modelos decisionales

### Elección de los criterios a utilizar

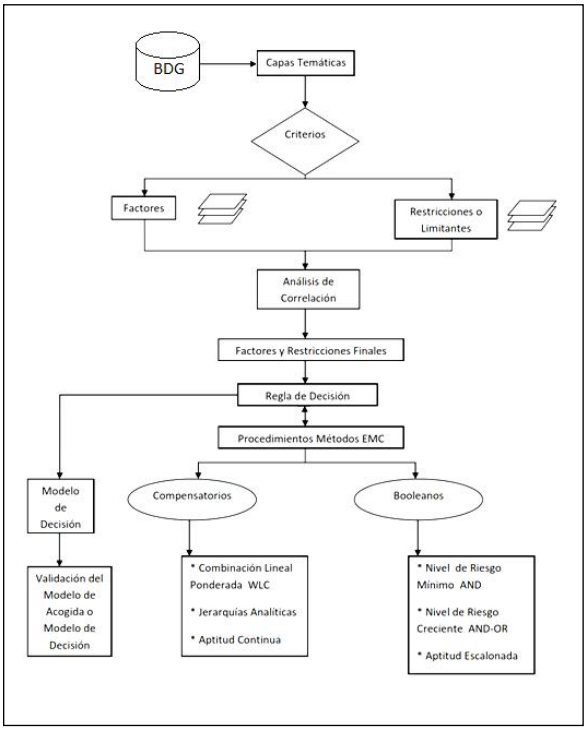
Para determinar la ubicación en base a la ejecución del Sistema de Información Territorial aplicando técnicas de Evaluación Multi-Criterio, de la instalación de campos eólicos, fue necesario consultar en bibliografía especializadas, casos reales de aplicación y con **expertos en el tema**, los cuales brindaron a su entender algunos requisitos mínimos (criterios) que debe cumplir la zona donde se debiera instalarse los generadores eólicos.

Teniendo en cuenta estos requerimientos, se procedió a definir las coberturas o capas que servirían de base para nuestro trabajo, las cuales son:

- Rutas y caminos
- Redes eléctricas
- Localidades
- Áreas protegidas
- Conos aluviales
- Embalses
- Ejidos Urbanos
- Ríos
- Mapa de pendientes
- Mapa de vientos
- Localidades
- Bosques Nativos
- Cuerpos de agua
- Valles
- Mapa de alturas




Una vez seleccionadas las coberturas con las que se iba a trabajar, se plantea un diagrama de flujo para sintetizar los procedimientos a seguir según el siguiente esquema.




Una vez que las capas temáticas correspondientes a los criterios han sido generadas, pueden ser combinadas a través de la regla de decisión para lograr la evaluación.

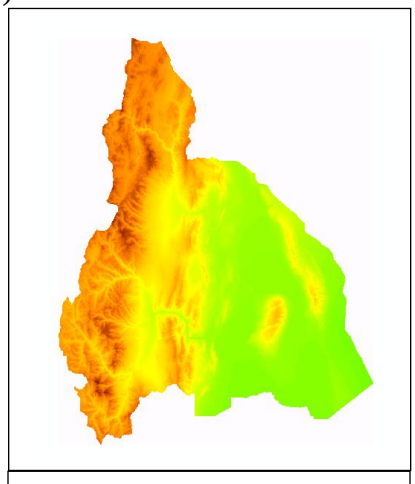
| FACTORES | DISTANCIA DE AFECTACIÓN |
|---|---|
| • Rutas y caminos | A menos de 2 km |
| • Pendientes | A menos del 10% o 6° |
| • Redes eléctricas | A menos de 2 km |
| • Ríos | A más de 500m |
| • Vientos | A más de 3 m/s |
| • Localidades | A más de 500m |
| • Cabeceras | A más de 2 Km |
| • Alturas | A menos de 2500 mts |

| RESTRICCIONES | PUNTO DE CORTE |
|---|---|
| • Áreas protegidas | Dentro del área=0 Fuera del área=1 |
| • Conos aluviales | Dentro del cono=0 Fuera del cono=1 |
| • Embalses | Dentro del embalse=0 Fuera = 1 |
| • Ejidos Urbanos | Dentro=0 Fuera=1 |
| • Cuerpos de Agua | Dentro=0 Fuera=1 |
| • Valles | Dentro del valle =0 Fuera=1 |
| • Bosques Nativos | Dentro del área =0 Fuera=1 |

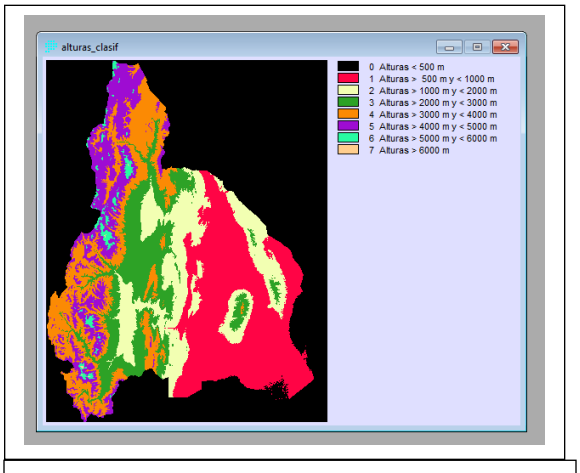
Se comentan a modo de ejemplo algunas de las 15 capas usadas y se describe más en detalle la generación del mapa de vientos como un factor de suma importancia en este tratamiento

*Modelo Digital de Terreno (MDT)*

El modelo digital del terreno utilizado, es el provisto por el proyecto de la NASA en la SRTM (*Shutle Radar Topography Mission*) con una resolución de 30 x 30 más. De él y a través de un tratamiento numérico pos proceso se obtuvieron los modelos de altura y pendiente, todos ajustados estrictamente a los límites de la provincia de San Juan, propuesto por la Dirección de Geodesia y Catastro de la provincia. Elaboración del CEFOCCA (Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro de la Fac. de Ing. Universidad Nacional de San Juan)



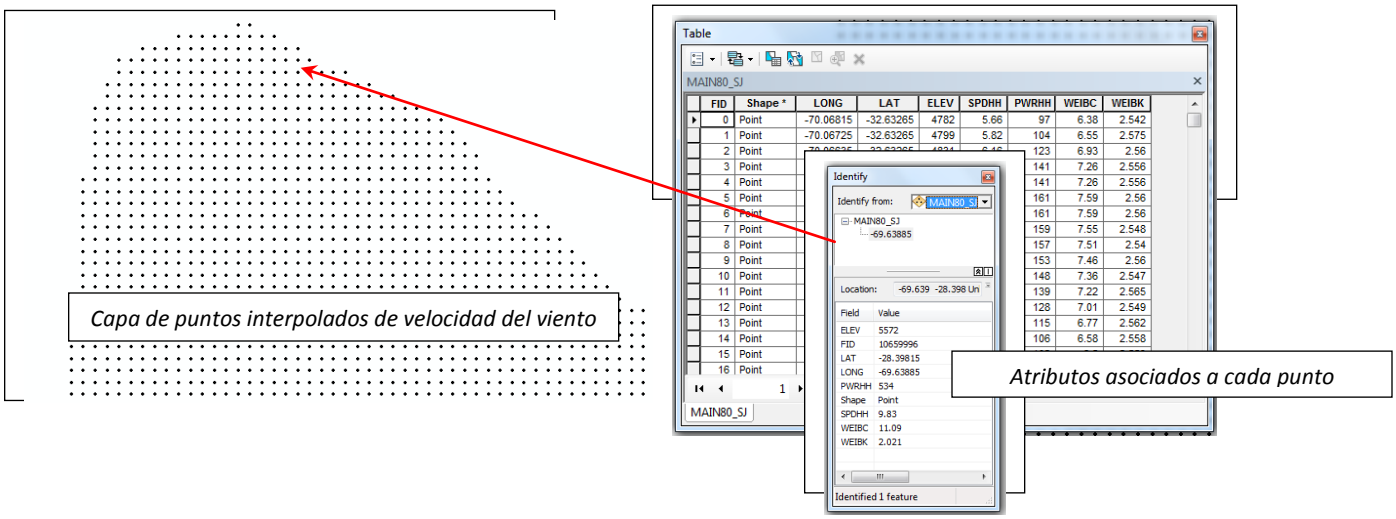
*Modelo Digital de Terreno*




*Modelo de Alturas*

*Mapa de Vientos*

Esta capa de datos fundamentales para la generación de electricidad a través de la energía eólica se generó a partir de mediciones in-situ desde estaciones meteorológicas distribuidas en todo el espacio geográfico de la provincia, que median entre otras variables la **velocidad media del viento.** Mediante un modelo matemático de simulación se interpolaron estos datos de base y se generaron valores estimados de velocidad en cada nodo de una grilla de 100 x 100 metros, generando una capa vectorial de aproximadamente 11000000 de puntos. Datos provenientes del **EPSE** (Energía Eléctrica Sociedad del Estado) de San Juan.




Se puede apreciar con detalle que los atributos asociados a cada punto muestran datos como la posición geográfica en latitud (LAT)y longitud (LONG), la altura ortometrica de la medición (ELEV), **la velocidad del viento (SPDHH),**el parámetro K de la distribución de la función de densidad de probabilidades de Weibull ( WEIBK) y otros. Esto se da para una altura de medición de las variables de 50 ,80 y 100 mts. respecto del terreno, es decir que se cuenta con una capa de puntos para cada una de estas alturas.

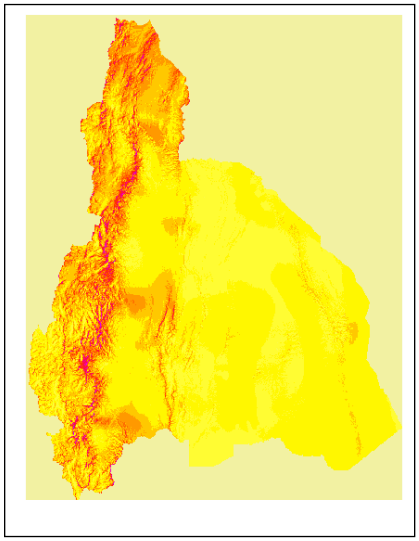
Table

MAIN80_SJ

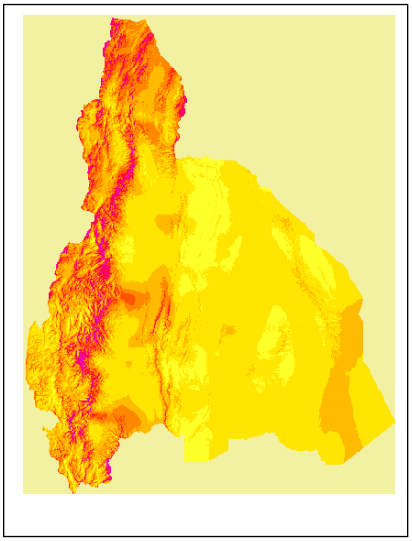
| FID | Shape * | LONG | LAT | ELEV | SPDHH | PWRHH | WEIBC | WEIBK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Point | -70.06815 | -32.63265 | 4782 | 5.66 | 97 | 6.38 | 2.542 |
| 1 | Point | -70.06725 | -32.63265 | 4799 | 5.82 | 104 | 6.55 | 2.575 |
| 2 | Point | -70.06635 | -32.63265 | 4831 | 6.16 | 123 | 6.93 | 2.56 |
| 3 | Point | -70.06545 | -32.63265 | 4851 | 6.45 | 141 | 7.26 | 2.556 |
| 4 | Point | -70.06455 | -32.63265 | 4851 | 6.45 | 141 | 7.26 | 2.556 |
| 7 | Point | -70.08075 | -32.63175 | 4844 | 6.7 | 159 | 7.55 | 2.548 |
| 8 | Point | -70.07985 | -32.63175 | 4838 | 6.67 | 157 | 7.51 | 2.54 |
| 9 | Point | -70.07895 | -32.63175 | 4831 | 6.62 | 153 | 7.46 | 2.56 |
| 10 | Point | -70.07805 | -32.63175 | 4824 | 6.54 | 148 | 7.36 | 2.547 |

*Tabla de atributos de la capa de puntos*

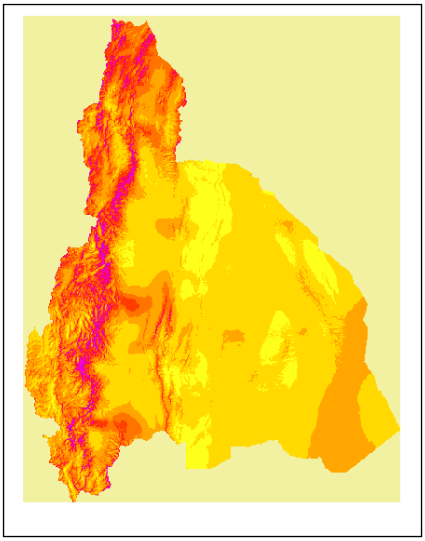
Para usar esta capa en el proceso EMC_GIS se pos procesaron la coberturas de puntos georreferenciándolas a un sistema de proyección cartográfico determinado (Gauss_Kruger faja2) y transformando el modelo de datos vectorial de puntos en un modelo raster de distribución continua sobre la variable velocidad del viento con un pixel de 100 x 100 m de resolución geométrica .Esto nos permitirá visualizar el territorio diferenciando intervalos continuos del atributo velocidad del viento en m/s.



*Mapas de vientos a 50 m*



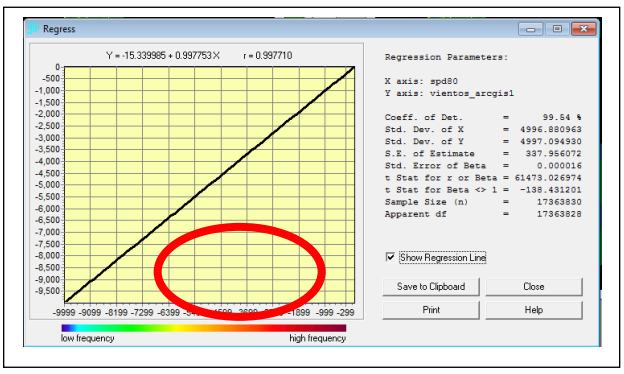
*Mapas de vientos a 80 m*



*Mapas de vientos a 100 m*

A partir de las imágenes así generadas, se contrastaron con la imagen dato que nos había provisto el EPSE, mediante un algoritmo de correlación como la regresión lineal para poder decir que los mapas de vientos alcanzados por nosotros y los provistos por el organismo estatal provincial son altamente parecidos, calculando y observando el coeficiente de correlación ***r*** a través de IDRISI por medio de la función REGRESS.

Correlación (regresión Lineal) entre dos imágenes
*Velocidad media anual del viento (m/s)*



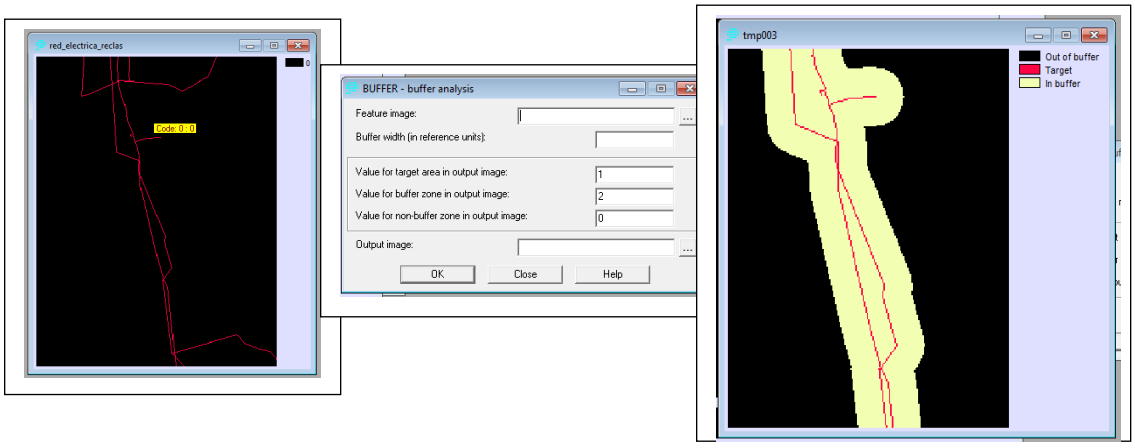
Se trataron las capas criterios para transformarlas en *factores y limitantes* mediante el programa raster *IDRISI Selva* antes de trabajar y operar con las reglas de decisión. Se comentará el procedimiento adecuado para resolver lo anterior para un caso de capas de carácter lineal o puntual y se entiende que el resto es una repetición de este proceso. Para el caso de capas de carácter poligonal se usó el procedimiento *reclass*. Las capas restricciones o limitantes son binarias *(0, 1).*

*Redes eléctricas*

Esta cobertura se extrajo del Atlas Digital Socio-Económico realizado por el CEFOCCA, la misma estaba en formato digital con extensión shape (SHP) y sistema de referencia POSGAR 1994 y con proyección cartográfica Gauss-Kruger Faja 2.:

1- Se transformó el sistema de proyección a GK CAI69 faja 2
2- Se importó la cobertura vectorial desde IDRISI
3- Se trasformó de estructura vectorial ESRI a estructura vectorial IDRISI
4- Se convirtió de modelo vectorial IDRISI a modelo raster IDRISI

Por último se debió trasformar esta cobertura en criterio, considerándola como factor, exigiéndole al sistema que las zonas elegidas se encuentren a nos mas de 2 kilómetros de un tendido eléctrico de alta o media tensión, por medio de la herramienta BUFFER.




## Análisis de correlación

Uno de los principios de EMC establece que el conjunto de factores a ser incluidos en el estudio debe ser completo (abarca todas las dimensiones del fenómenos estudiado); relevante; mínimo; y no redundante, es decir, que no resulta apropiado utilizar factores que estén aportando la misma información, ya que alguna dimensión del problema podría ser sobrevalorado si es que hay más de un factor que está valorando su adecuación.

Así, para evitar el problema de la redundancia, todos los factores deben ser sometidos a un análisis de correlación (cálculo del coeficiente de Pearson r) para encontrar cuales se encuentran espacialmente correlacionados (r>0.50), midiendo el mismo fenómeno. El análisis de correlación entre pares de factores, evalúa el grado de asociación entre los factores mediante el coeficiente de correlación de Pearson r.

| ***Análisis de Correlación*** | Alturas | Localidades | Rutas | Pendiente | Cabeceras | Ríos | Red Elect. | Viento | Áreas Protegidas | Conos Aluviales | Bosques Nativos | Cuerpos de Agua | Ejidos Urbanos | Valles | Embalses |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Alturas** | 1 | -0.04 | 0.32 | **0.72** | -0.05 | -0.15 | 0.32 | 0.37 | 0.03 | -0.14 | -0.09 | -0.09 | -0.03 | -0.09 | -0.02 |
| **Localidades** | -0.04 | 1 | -0.08 | -0.04 | 0.11 | 0.22 | -0.11 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.09 | 0.00 |
| **Rutas** | 0.32 | -0.08 | 1 | 0.32 | -0.12 | -0.14 | 0.55 | 0.19 | -0.04 | -0.06 | -0.03 | -0.01 | -0.07 | -0.18 | -0.02 |
| **Pendiente** | 0.72 | -0.04 | 0.32 | 1 | -0.06 | -0.16 | 0.31 | 0.40 | -0.09 | -0.15 | -0.02 | -0.10 | -0.03 | -0.11 | -0.01 |
| **Cabeceras** | -0.05 | 0.11 | -0.12 | -0.05 | 1 | 0.00 | -0.17 | -0.01 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.32 | 0.07 | 0.00 |
| **Ríos** | -0.15 | 0.22 | -0.14 | -0.16 | 0.00 | 1 | -0.09 | -0.16 | 0.08 | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 0.06 | 0.03 |
| **Red Eléctrica** | 0.32 | -0.11 | 0.55 | 0.31 | -0.17 | -0.09 | 1 | 0.08 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | -0.03 | -0.09 | -0.25 | -0.03 |
| **Viento** | 0.37 | -0.01 | 0.19 | 0.40 | -0.01 | -0.16 | 0.08 | 1 | -0.31 | -0.07 | -0.04 | -0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **Áreas Protegidas** | 0.03 | 0.00 | -0.04 | -0.09 | -0.01 | 0.08 | 0.01 | -0.31 | 1 | 0.02 | -0.22 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 |
| **Conos Aluviales** | -0.14 | 0.00 | -0.05 | -0.15 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | -0.07 | 0.02 | 1 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -0.01 | 0.00 |
| **Bosques Nativos** | -0.09 | 0.00 | -0.03 | -0.02 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | -0.04 | -0.22 | 0.00 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **Cuerpos de Agua** | -0.09 | 0.00 | -0.01 | -0.10 | 0.00 | 0.04 | -0.03 | -0.02 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 1 | 0.00 | 0.01 | -0.09 |
| **Ejidos Urbanos** | -0.03 | 0.11 | -0.07 | -0.03 | 0.32 | 0.00 | -0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 0.02 | 0.00 |
| **Valles** | -0.09 | 0.09 | -0.18 | -0.11 | 0.07 | 0.06 | -0.25 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 1 | 0.00 |
| **Embalses** | -0.02 | 0.00 | -0..02 | -0.01 | 0.00 | 0.03 | -0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.09 | 0.00 | 0.00 | 1 |

$$r = \frac{\sigma XY}{\sigma X\, \sigma Y}$$

Dónde:

$\sigma XY$=covarianza de (X, Y)

$\sigma X$= Desviación típica en la variable X

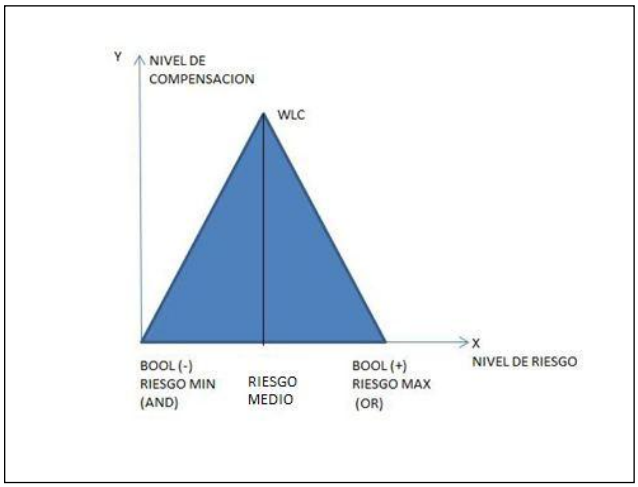
$\sigma Y$= Desviación típica en la variable Y

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1,1]

Como se puede apreciar en la tabla la gran mayoría de los valores de r es menor a 0.5, salvo uno en particular que supera ese valor de r (0.72) que indica que existe correlación entre las capas *altura* y *pendiente* .En rigor algunas de las dos capas debería eliminarse por ser redundantes, pero se decidió conservarla para el análisis. El resto de los criterios se comportan como linealmente independientes entre sí, razón por la cual, se decidió trabajar con los 15.

## INTERACCION SIG Y TECNICAS EMC

Triangulo de decisiones estratégicos (TDE)




La decisión locacional por medio de los SIG-EMC se mueve en una zona que puede ser graficada como un TDE formado por dos ejes ortogonales: X como un indicador de los niveles de riesgo en la toma de decisión locacional e Y como nivel de compensación a través de los valores de ponderación de los factores intervinientes en el análisis. Los métodos booleanos se mueven en el eje de las X desde el riesgo mínimo al riesgo máximo como una función escalonada y la WLC lo hace sobre el nivel de compensación Y como máxima eficacia y valor medio de riesgo.

En nuestro trabajo se usaran los métodos de EMC booleanos y compensatorios aditivos por combinación lineal ponderada

Terminada la etapa de análisis de correlación, se está en condiciones de realizar los distintos modelos de aptitud locacionales, es decir, ya están los criterios trasformados en factores y restricciones, a los cuales se les puede aplicar ya las distintas técnicas de EMC para obtener los distintos modelos de aptitud. Para ello, se utilizaron 4 métodos:

- Booleano nivel de riesgo mínimo (AND)
- Booleano nivel de riesgo creciente (AND-OR)
- WLC con pesos distintos
- WLC con pesos iguales

**Booleano nivel de riesgo mínimo (AND)**

Método booleano por producto (Nivel de riesgo mínimo)

AND (Y) ⟶ nivel de riesgo

Nivel de riesgo mínimo

La solución estaría dada por:

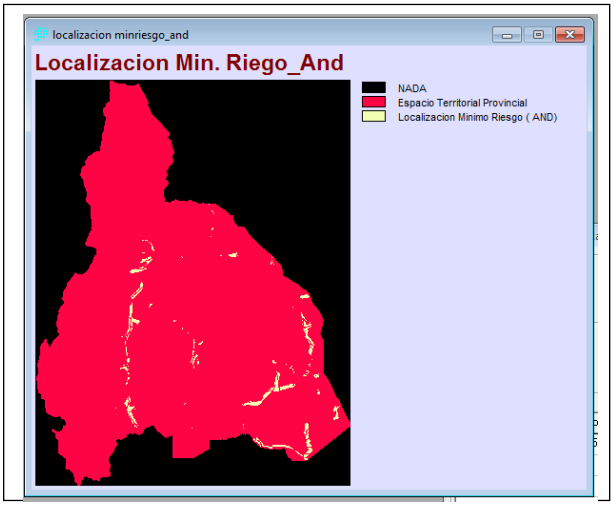
$$A_i = f_1 * f_2 * f_3 * \dots\dots\dots\dots\dots f_n = \prod f_x$$

Dónde:
A es el resultado que obtendrían las localizaciones ( celdas) del mapa final, donde tendrá el valor 1 cuando coincidan con el valor 1 todos los factores y 0 cuando haya un 0 en alguno de ellos.

Una vez obtenido los criterios a utilizar, estandarizados los mismos con la técnica booleana (0 y 1), se procedió a obtener el modelo.

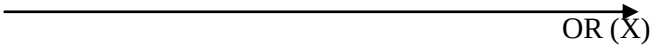
Como se explicó anteriormente este método (AND) es el **producto** de todos los criterios utilizados (factores y restricciones). Debido a que los mismos están normalizados (0 y 1), el resultado de este producto serán zonas aptas y zonas no aptas (no aptas para el nivel 0 y aptas para el nivel 1).
Para lograr este mapa de aptitud se trabajó con la herramienta EMC-boolean intersección. Esta herramienta solicita ingresar solamente los criterios (factores y restricciones) intervinientes en el modelo.

El resultado de utilizar cualquiera de las dos herramientas mencionadas anteriormente es un mapa decisional de riesgo mínimo. En este se puede observar que el sistema determina las zonas con mayor aptitud locacional. Estas están perfectamente delimitadas y diferenciadas de las zonas que no tienen aptitud. Se observa que el sistema es tan estricto que solo muestra las zonas que cumplen con todos los criterios establecidos y las zonas que no cumplen, directamente no las considera, logrando así un modelo decisional con el mínimo riesgo de equivocación en la elección de las zonas aptas.



**Booleano nivel de riesgo creciente (OR)**

Método booleano por suma (OR-Nivel de riesgo creciente o escalonado

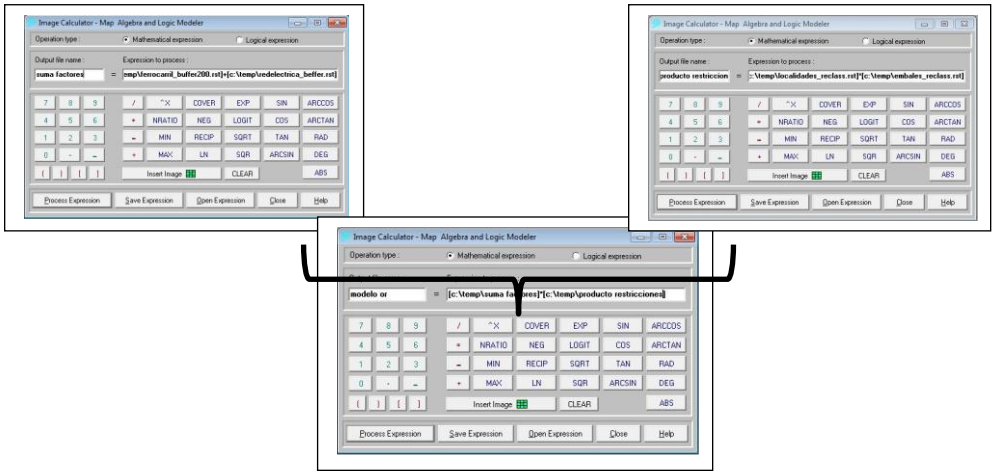



La intersección booleana a partir de la suma de matrices permite obtener una aptitud escalonada y progresiva en riesgo de tomar una decisión locacional.

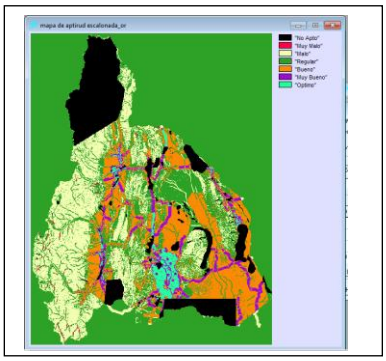
Amplia la superficie de elección locacional al mismo tiempo que amplía la posibilidad de tomar una decisión incorrecta, mayor es la incertidumbre y el riesgo locacional que se corre en la decisión final.

Para la aplicación de este método es necesario, como en el caso anterior, tener estandarizados los criterios con la técnica booleana de 0 y 1.

Si bien ya se comentó que la intersección booleana OR surge a partir de la **suma** de los factores, cuando existen restricciones, éstas se multiplican entre sí y luego a la suma de los factores. Como se sabe, las restricciones siempre están normalizadas con la técnica booleana (0 y 1) y siempre deben multiplicarse, porque estas restringen la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada. Desde IDRISI.



El resultado del procedimiento antes descripto es un mapa decisional de aptitud escalonada. Se observa que el mapa muestra zonas con la mejor aptitud y a medida que nos alejamos de dichas zonas la aptitud decrece, haciendo que el nivel de riesgo de equivocación en la localización de las zonas sea creciente.



**Método de combinación lineal ponderada (WLC)**

En el TDE (triangulo de decisiones estratégicas) la WLC lleva la solución al extremo superior como máxima compensación y riesgo medio de equivocarse en la decisión.




Las técnicas compensatorias como la WLC, se basan en la suposición de que un valor alto de una alternativa (celda) en un criterio puede compensar un valor bajo en la misma alternativa (celda) en otro criterio.

$$r_i = \sum w_i x_{ij}$$

Dónde:

$w_j$ es el peso de cada criterio
$x_{ij}$ el valor de la celda en cada criterio
$r_i$ el valor de la alternativa en el modelo de decisión

En los procedimientos aditivos, el valor obtenido por cada alternativa (celda) es el producto del peso del criterio y las puntuaciones del criterio siendo la alternativa que tenga **el valor más alto la más adecuada o la mejor para la actividad evaluada.**

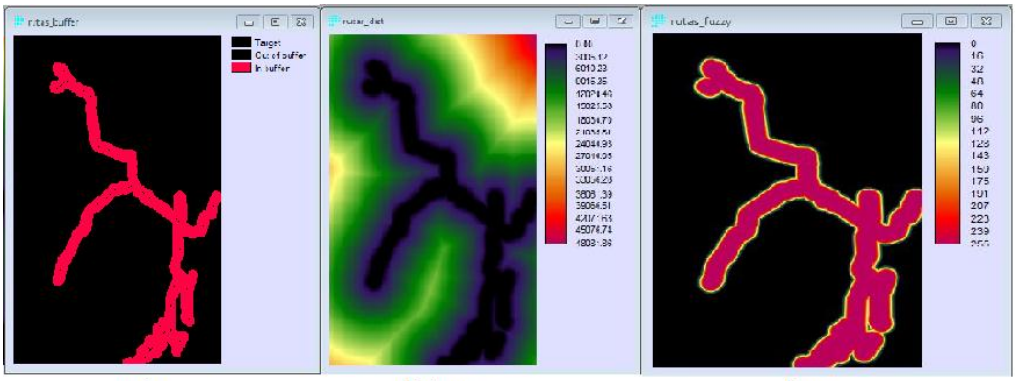
Como paso previo a la aplicación del método, es necesario generar una estandarización continua y difusa (fuzzy) de cada uno de los factores para obtener mapas comparables.

En las técnicas compensatorias como la WLC el valor de ponderación o peso ($w_i$) se puede asignar en forma simple a través de:

1. La experiencia del centro decisor
2. Un valor por conocimiento empírico
3. A través de metodologías numéricas como:
    - Rank reciprocal method (método por ranking reciproco) Malczewski
    - Analitical hierarchy process (método por jerarquías analíticas) Saaty

Para realizar la estandarización difusa, es necesario realizarle un análisis de distancia con la herramienta DISTANCE. Esta distancia responde a la geometría euclidiana.

Luego se procede a utilizar la herramienta FUZZY para estandarizar cada uno de los factores, analizando si las funciones son crecientes o decrecientes e ingresando los puntos de corte. Por ejemplo para el caso de *rutas*, la función es decreciente ya que a medida que nos alejamos de una ruta el nivel de aptitud es menor.




**WLC con pesos distintos**

Para la realización de este modelo, se debió primeramente calcular los pesos de cada factor a partir de asignarle a cada uno de ellos un nivel de importancia en base a la escala definida por Saaty.

| 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aptitud Mínima | | | | Aptitud Igual | | | | Aptitud Máxima |

Este nivel de importancia, debe ser establecido por el centro decisor. El mismo es muy subjetivo, porque está sujeto a la experiencia de cada uno de los integrantes del centro decisor. Por esta razón se trabajó para el cálculo de los pesos, con el comando WEIGHT de IDRISI, este calcula los pesos de la matriz de comparación y realiza un análisis estadístico de dichos pesos para saber si el nivel de jerarquías o importancia en la comparación por pares de factores fue bien tomado o no por parte del centro decisor. El resultado de este análisis estadístico es el radio de consistencia cr, que como ya se explico debe ser menor a 0.10.

| | alturas | localidades | rutas | pendientes | cabeceras | rios | vientos | red elect. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| alturas | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0.25 | 2 |
| localidades | 0.33 | 1 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 0.25 | 0.5 |
| rutas | 0.33 | 1 | 1 | 0.33 | 1 | 1 | 0.25 | 0.5 |
| pendientes | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0.25 | 2 |
| cabeceras | 0.33 | 1 | 1 | 0.33 | 1 | 1 | 0.25 | 0.5 |
| rios | 0.33 | 1 | 1 | 0.33 | 1 | 1 | 0.25 | 0.5 |
| vientos | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 3 |
| red elect. | 0.5 | 2 | 2 | 0.5 | 2 | 2 | 0.33 | 1 |
| ?ij | 7.82 | 15 | 16 | 7.99 | 16 | 16 | 2.83 | 10 |

aij = Matriz de Comparacion ( Saaty)

| | alturas | localidades | rutas | pendientes | cabeceras | rios | vientos | red elect. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| alturas | 0.13 | 0.2 | 0.19 | 0.12 | 0.19 | 0.19 | 0.09 | 0.2 |
| localidades | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 |
| rutas | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 |
| pendientes | 0.13 | 0.13 | 0.19 | 0.12 | 0.19 | 0.19 | 0.09 | 0.2 |
| cabeceras | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 |
| rios | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 |
| vientos | 0.51 | 0.27 | 0.25 | 0.5 | 0.25 | 0.25 | 0.35 | 0.3 |
| red elect. | 0.06 | 0.13 | 0.12 | 0.06 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.1 |

Aij = Matriz de Comparación Normaliza

Aij = aij/?ij

Como se observa el radio de consistencia c.r. es menor que 0.10, lo que indica que los pesos son correctos o es lo mismo decir que el nivel de jerarquías adoptado por el centro decisor para cada uno de los factores es óptima.

El conocimiento de los pesos también se puede alcanzar a través del cálculo del *eigen vector normalizado*, tal como se ve en la tabla adjunta . Los valores conseguidos por ambos procesos son totalmente coincidentes

Calculo de los PESOS (Wi)

Matriz de Comparacion Normalizada (Aij )

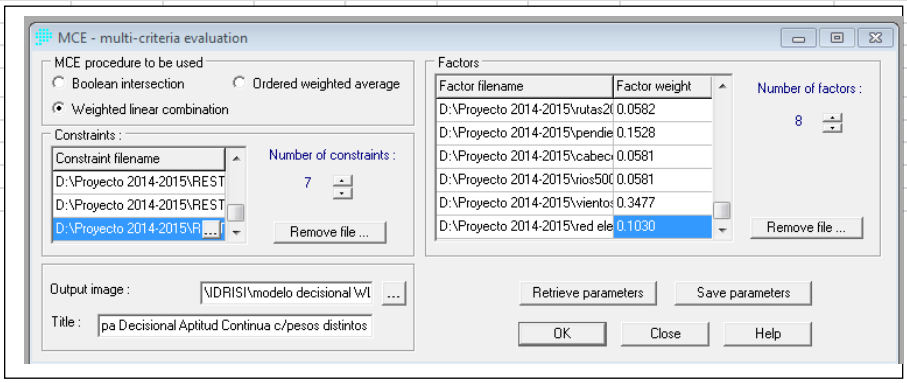
| n | alturas | localidades | rutas | pendientes | cabeceras | rios | vientos | red elect. | Eigen Vector Ppal. ( ? aij ) | Eigen Vector Normal. (Wj) ( ? aij/n ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| alturas | 0.13 | 0.2 | 0.19 | 0.12 | 0.19 | 0.19 | 0.09 | 0.2 | 1.31 | 0.164 |
| localidades | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.49 | 0.061 |
| rutas | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.49 | 0.061 |
| pendientes | 0.13 | 0.13 | 0.19 | 0.12 | 0.19 | 0.19 | 0.09 | 0.2 | 1.24 | 0.155 |
| cabeceras | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.49 | 0.061 |
| rios | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.49 | 0.061 |
| vientos | 0.51 | 0.27 | 0.25 | 0.5 | 0.25 | 0.25 | 0.35 | 0.3 | 2.68 | 0.335 |
| red elect. | 0.06 | 0.13 | 0.12 | 0.06 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.1 | 0.83 | 0.104 |
| | | | | | | | | | ?wj = | 1.00 |

Calculo de Razon de Consistencia (Cr)

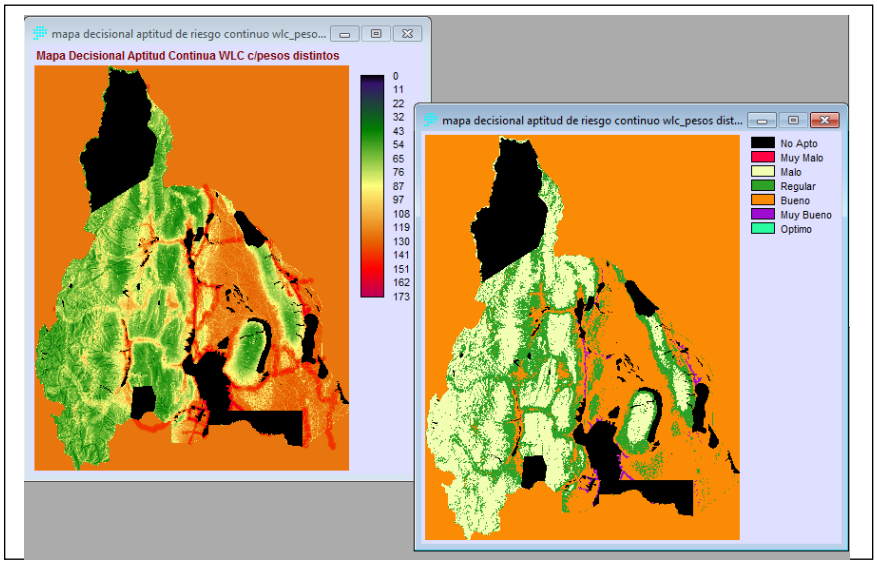
Bi = (Matriz Comp. [Wj]) Ci = Bi/Wj

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 0.14 | 0.85 | |
| | 0.07 | 1.15 | = ?ci/n |
| | 0.07 | 1.15 | |
| | 0.13 | 0.84 | |
| | 0.07 | 1.15 | |

Considerando esta ponderación, se procedió a realizar el modelo decisional mediante el método de la combinación lineal ponderada, por medio de la herramienta WLC *weighted linear combination*. El programa despliega un cuadro de dialogo, donde el usuario ingresa por un lado los factores y los pesos calculados y por otro lado las restricciones.



Dando como resultado el siguiente mapa decisional




Este modelo muestra las zonas más aptas para la instalación de plantas de generación de energía eléctrica mediante energía eólica ("optimo" o valor de ND del pixel mayor 173), con un nivel de riesgo medio de cometer una equivocación en la elección de las zonas. A medida que nos alejamos de dichas zonas la probabilidad de equivocación aumenta.

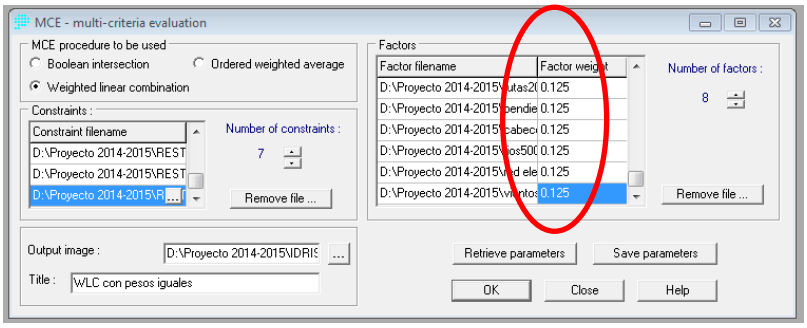
**WLC con pesos iguales**

Este método es similar al anterior), la diferencia radica en que no se jerarquizan los factores y se calculan los pesos de la siguiente manera:

$$w_j = 1/n$$

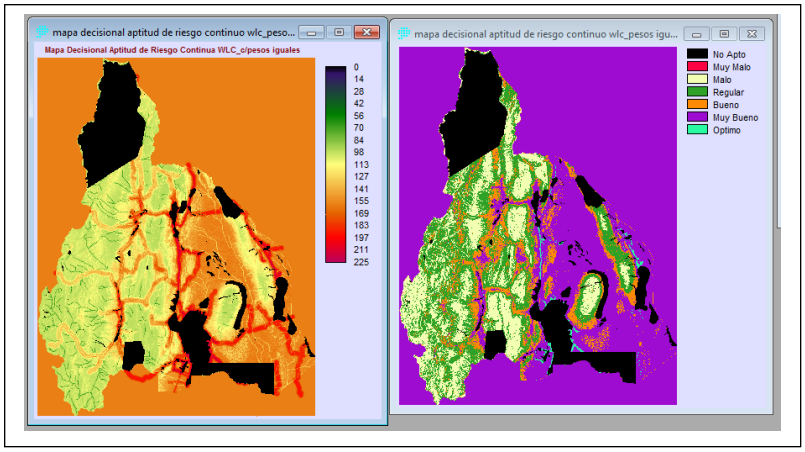
Siendo ***n*** el número de factores y el peso $w_j$ calculado será el mismo para todos.

La forma de llegar al mapa de aptitud continua con pesos iguales en IDRISI es igual al caso anterior, la diferencia reside en que a la hora de introducir los pesos de los factores se entra el valor calculado con la formula anterior, siendo este el mismo valor para todos, en este caso el valor de $w_j$ es 1/8 ( 0.125).



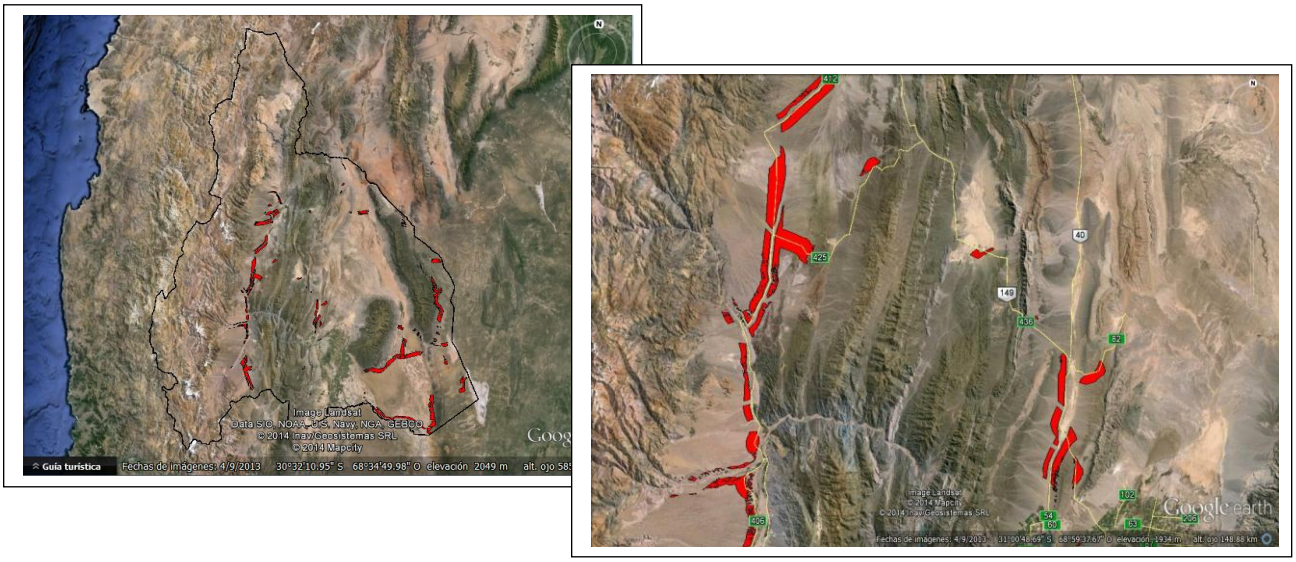
Otra forma de llegar al mapa de aptitud continua, tanto con pesos iguales como con pesos distintos, es con la calculadora raster, donde el usuario debe realizar la sumatoria de cada uno de los factores multiplicados por su correspondiente peso y luego a este resultado multiplicarlo por el producto de las restricciones.

Resultando por cualquiera de los dos procedimientos antes mencionados un mapa decisional de aptitud continúa. En el cual se observa que el sistema determina zonas que van desde un nivel de aptitud optimo hasta zonas no aptas con un nivel de riesgo medio de equivocación en la determinación de la zona, considerando que todo los criterios tienen el mismo nivel de jerarquía, es decir no se pondera de manera distinta a ninguno de ellos.




**RESULTADOS**

Cabe recordar, que este trabajo se trata de un proyecto bianual (2014-2015) en plena etapa desarrollo. En este año de trabajo se trataron con éxito tareas como el armado definitivo de la geodatabase integrando y creando bajo este concepto de manejo de datos espaciales ,los factores y restricciones que se definieron en función de la técnica Evaluación Multicriterio y de los objetivos propuestos. También se probaron distintos algoritmos para la ponderación ( peso) de los criterios; calculo y análisis de índices de consistencia de las matrices de peso ; métodos de cálculo compensatorios de modelos decisionales de localización como la Sumatoria Lineal Ponderada ( WLS) o Sumatoria Lineal Ponderada Ordenada ( OWA) ) y métodos no compensatorios como los Booleano And, Booleano And –OR; generación de mapas a modo de prueba de localización optima de campos eólicos; verificación y validación in-situ de los polígonos-zonas seleccionadas por el sistema .Se observa una correlación muy alta entre los resultados aportados por los distintos métodos, sobre todo en las zona denominados *optimas* que se las compara con las zona booleanas del método de mínimo riesgo de elección.



## DISCUSION

### Validación del análisis

Es de suma importancia contar con datos espaciales completos y **actuales** para poder operar sobre un modelo de la realidad que permita respuestas actuales y que puedan usarse en la toma de decisión y modificar así la realidad que nos rodea.

Esta etapa es muy importante debido a que en ella se contrasta lo obtenido a través de los distintos modelos decisionales en gabinete, con lo que sucede en la realidad. Es decir que a través de la validación se determina si la integración de las técnicas SIG y EMC son lo suficientemente confiables como para intervenir en un proceso de toma de decisión, como es la selección de lugares específicos.

En nuestro trabajo lo que se valida es si las zonas determinadas por el sistema, reflejadas en los mapas decisionales, cumplen con las condiciones impuestas.

Existen distintas formas de validar los resultados, con procedimientos estadísticos complejos como el *análisis de sensibilidad* y el *análisis de incertidumbre*, y otra forma es hacer la validación In-Situ, este último es el que adoptamos para validar los resultados.

La determinación de hacer la validación In-Situ se tomó, debido a que esta es la más efectiva porque se contrasta lo determinado por los modelos con la realidad (terreno, rutas, alturas, pendientes, cuerpos de agua, etc.) directamente con el mundo real.

Para una mejor localización de las zonas arrojas por el sistema, se extrajeron coordenadas aproximadas de cada una de ellas y con ayuda de un navegador de mano se rastrearon hasta llegar a las mismas, verificando in-situ el cumplimiento de las condiciones preestablecidas.

Cabe mencionar acá que se está trabajando actualmente en desarrollar la metodología (con alta carga informática) para definir la robustez de los resultados a través de *análisis de sensibilidad.*

**CONCLUSIONES**

Según lo experimentado hasta este momento en el desarrollo de este proyecto, podemos comentar con cierto nivel de certeza, que se han probado con acabada suficiencia los métodos y algoritmos propuestos por las técnicas GIS y EMC, probando que son excelentes herramientas para ejecutar modelos decisionales espaciales.

Se corroboró que las condiciones impuestas ( criterios) como factores y restricciones son respetadas por el sistema, reproduciéndolas en el terreno, dando cierto grado de confianza en la selección de los lugares propuestos por la técnica SIG-EMC , como localizaciones óptimas para el emplazamiento de campos eólicos para generadores de energía eléctrica renovable.

Resta actualizar algunas capas-criterios, como por ejemplo el tendido de las líneas eléctricas de media y alta tensión y la capa de conos aluvionales, para ajustar cada vez más a la realidad el modelo decisional.

Una vez situados en cada una de las zonas, se comprobó que éstas, cumplen acabadamente con todos los requisitos impuestos al iniciar el análisis. Este resultado es muy satisfactorio, ya que significa que la integración de técnicas SIG y EMC fue totalmente efectiva para el objetivo planteado de localizar las zonas más aptas para la instalación de campos eólicos, permitiendo asegurar con fundamentos teóricos y prácticos que la utilización de esta metodología es muy efectiva para resolver procesos decisionales en el ámbito de los análisis espaciales.

Testear en otra etapa con rigor la fortaleza del modelo decisional a través de un *análisis de sensibilidad*, que de confianza estadística y robustez de los resultados para la elección de los mejores lugares de emplazamiento de los campos eólicos.

Toda la metodología implica resolver procesos con alta carga informática

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barredo Cano, Jose I. ; Gomez Delgado ,Montserrat. 2008. Sistemas Informacion Geográfica y Evaluacion Multicriterio en la Ordenación del Territorio.2da.edicion.Editorial RA-MA.España.

Buzai, Gustavo; Baxendale Claudia.2012.Analisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica Tomo1.Editorial Lugar. Buenos Aires.

Buzai, Gustavo ; Baxendale Claudia.2012.Analisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica Tomo 2.Editorial Lugar. Buenos Aires.

Buzai, Gustavo ; Baxendale Claudia ; Cañada Torrecilla,Maria et al; Colas Perez, Alejandro .2012. Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en Diagnósticos Territoriales y Decisiones Geoambientales. Editorial RA-MA. España.

W. Plata Rocha, Wenceslao; Gómez Delgado, Montserrat; Bosque Sendra, Joaquín; Aguilar Villegas, j. 2013. Análisis de Sensibilidad para un Modelo de Simulación de Crecimiento Urbano. Propuesta Metodológica Explícitamente Espacial.GeoFocus. nº13-2, p.158-178. ISSN: 1578-5157.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO DIAGNÓSTICO DO USO DA TERRA EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

**Piroli, Edson Luís[a], Ramos dos Santos, Vanessa[b]**
**Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil**
**[a](piroli@ourinhos.unesp.br)**
**[a](vanessaramosgeo@gmail.com)**

**RESUMEN**
Esta pesquisa avaliou o uso da terra nas Áreas de Preservação Permanente (APP) do médio curso do Rio Paranapanema, na margem paulista. A partir dos usos da terra levantados, analisaram-se os impactos causados sobre os recursos naturais. Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas imagens de satélites processadas nos SIGs Idrisi Taiga e ArcGIS 9.3 e confirmações a campo. As análises demonstraram que 95,26% das APP apresentam conflito entre o uso e a legislação ambiental brasileira (Lei 12.651 de 2012 e complementares). Na avaliação in loco das condições ambientais verificou-se que devido à retirada da mata ciliar, ocorrem processos erosivos, compactações no solo, assoreamento do rio Paranapanema e dos córregos tributários, contaminações localizadas da água e diminuição significativa do número de indivíduos e de espécies vegetais e animais.

**Palabras claves:** geotecnologias, áreas de preservação permanente; uso da terra; sensoriamento remoto.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, as margens dos córregos, dos rios e demais corpos d´água, bem como um raio de 50 metros ao redor das nascentes de água são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP), e por conta disso, protegidas por um conjunto de Leis Federais (Lei 12.651 de 2012, que dispões sobre a proteção da vegetação nativa, e suas legislações complementares). Na maior parte do país, estes locais tinham como vegetação típica, as matas ciliares, que embora protegidas por legislações federais, vêm sofrendo alterações significativas desde 1850 (PISSARRA et al, 2003). "As intensas e desordenadas devastações estão levando ao desaparecimento diversas espécies vegetais de importância ecológica e comercial, com sério comprometimento do seu potencial genético" (PISSARRA et al, 2003).

A manutenção da vegetação das APP está relacionada também com a conservação dos solos e diminuição dos processos erosivos. A existência da cobertura vegetal controla o escoamento superficial e sub-superficial das águas pluviais por meio da interceptação vegetal. Segundo Boin (2005) a cobertura vegetal exerce um papel de defesa e proteção contra os agentes erosivos, na diminuição da carga de sedimentos carreada para o leito do rio, aumento na infiltração das águas pluviais e consequentemente no reabastecimento dos aquíferos livres e confinados, na manutenção da biodiversidade, dentre outros.

Nos locais onde as margens dos rios não possuem vegetação, as águas apresentam maiores cargas de partículas carreadas, tornando-se mais turvas e com maior condutividade elétrica (BARRELLA, 2001).
A falta de cuidado com as APP demonstra que a sociedade precisa pensar, planejar e/ou organizar o espaço em que está contida e se relaciona, e, além disso, que precisa buscar apoio em diferentes técnicas e áreas do conhecimento. Nesse sentido, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o sensoriamento remoto e as técnicas de geoprocessamento, oferecem suporte para levantamento de dados e desenvolvimento de materiais e ações para a recuperação e proteção dos recursos naturais (MOREIRA, 2009).

Este conjunto de técnicas tem se tornado fundamental para levantamento de informações e manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo. Utiliza para sua operação as geotecnologias, que podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais tem trazido avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em vários outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

O geoprocessamento, de acordo com Piroli (2010), é a ciência que trata de informações georreferenciadas, que tem como base a junção de componentes como sistemas de informações, imagens orbitais ou sub-orbitais e processamento destas imagens por técnicos especializados. Esta ciência pode facilitar a vida dos

planejadores uma vez que permite a manipulação de grandes volumes de dados, o que melhora o manejo e a interpretação das informações trabalhadas.

Os SIG são para Burrough (1998), sistemas constituídos de cinco módulos, sendo cada módulo um subsistema que permite as operações de entrada e verificação de dados, armazenamento e gerenciamento de banco de dados, apresentação e saída de dados, transformação de dados e integração com o usuário. O autor afirma que a principal característica dos SIG é focalizar a localização espacial com determinado fenômeno da realidade, produzindo informações úteis para a tomada de decisões.

A base de dados para as análises realizadas nesta pesquisa foram as imagens de satélites obtidas por sensoriamento remoto. Este é considerado a ciência que permite a visão sinóptica e repetitiva de determinado local ou região, favorecendo atividades de planejamento. O sensoriamento remoto pode ser definido como: "(...) obtenção de informações de determinado alvo, sem ter contato direto com ele" (JENSEN, 2009).

## MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa abrangeu as APP do médio curso do rio Paranapanema, nos municípios paulistas de Iepê, Rancharia, Maracaí, Cruzália, Pedrinhas Paulista, Florínea, Cândido Mota, Palmital, Ibirarema, Salto Grande, Ourinhos, Canitar e Chavantes. A área localiza-se na região centro-sudoeste do estado de São Paulo e pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI-17 - sendo que sua gestão é de responsabilidade do Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP). A Figura 1 ilustra a espacialização da área de estudo.

Os materiais utilizados neste trabalho foram cartas topográficas do Médio Paranapanema em escala 1:50.000; imagens do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite Landsat 8, bandas 4, 5 e 6, com resolução espacial de 30 metros, das órbitas 221 e 222, ponto76, de 01 e de 26 de maio de 2013; imagens do sensor HRC (*High Resolution Camera*) do satélite CBERS 2B; imagens do satélite *Quickbird* extraídas do Google Earth; aparelho de GPS de navegação; câmara fotográfica digital; aplicativo Adobe Photoshop e os Sistemas de Informações Geográficas Idrisi, versão Taiga e ArcGIS 9.3.

Todas as imagens utilizadas foram georreferenciadas em ambiente SIG. Na sequência efetuou-se a vetorização da margem do rio Paranapanema em toda área de estudo. A linha criada foi usada para a geração do *buffer* de delimitação da APP do rio. Este *buffer* foi definido com 100 metros de largura, conforme o estabelecido pela Legislação Ambiental Brasileira, uma vez que o rio encontra-se represado em toda área de estudo.

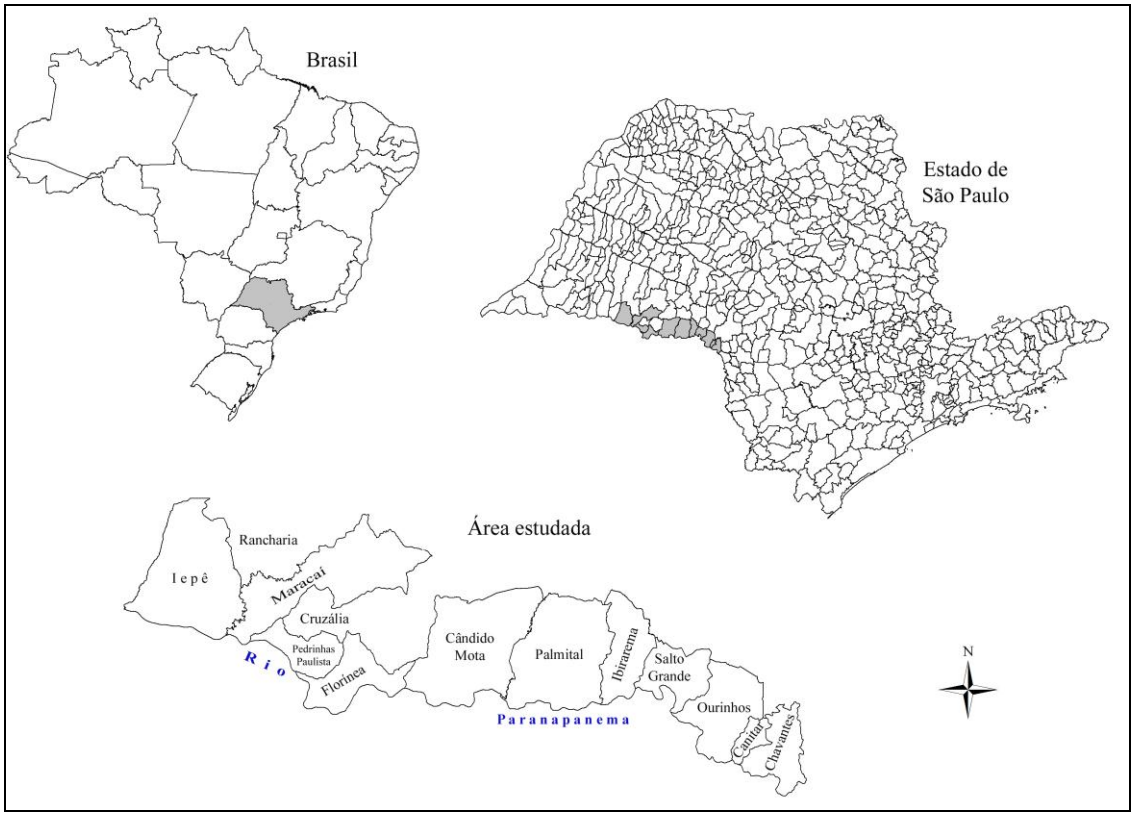



*Figura 1 – Localização da área de estudo.*

A interpretação dos usos da terra foi elaborada a partir da análise visual, delimitando-se cada uso com polígonos. Após esta fase, foram realizados os trabalhos de campo para confirmação do uso da terra em locais onde houveram dúvidas durante a interpretação e para avaliação ambiental das APP. As coordenadas de cada local analisado a campo foram anotadas e utilizadas posteriormente na criação do banco de dados contendo as informações das condições dos seus recursos naturais.

A metodologia utilizada para a análise das condições dos recursos naturais a campo foi a do LER (Levantamento Ecológico Rápido) proposta por Felfili et al (2006), complementada por Piroli (2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisarem-se as imagens de satélite da área de estudo, o primeiro aspecto que se destaca é a presença de cinco reservatórios de usinas hidroelétricas (UHE) para geração de energia elétrica (Chavantes, Ourinhos, Salto Grande, Canoas I e Canoas II). Além destes, também se encontra na área da pesquisa, parte do reservatório da UHE Capivara (a Oeste).

A área total de APPs estudadas foi de 5.372,29 ha. Os usos da terra identificados foram agrupados em seis categorias: cultivo agrícola, regeneração natural, pastagem, floresta, ranchos e chácaras e área urbana.
Apesar das APP serem áreas protegidas pelas leis ambientais brasileiras, e desta forma, não poderem ser ocupadas pelo homem para suas atividades produtivas, observou-se na área estudada o predomínio de cultivos agrícolas com 2.448,9 ha, cobrindo 45,58% de toda área pesquisada. Já a área de floresta (mata ciliar) identificada foi de 253,63 ha, ou seja, 4,72% de toda área pesquisada. É importante ressaltar que as matas ciliares deveriam cobrir a totalidade da área de estudo, uma vez que de acordo com a legislação, as APP devem ser mantidas com sua vegetação nativa, e neste caso, a vegetação nativa original da região era, segundo Ab'Sáber (2010), de Mata Atlântica.

Em função da legislação e da pressão dos órgãos de fiscalização, assim como de parte da sociedade, observa-se que na área há diversos locais onde a vegetação da APP está sendo recomposta a partir do plantio de mudas de espécies florestais nativas da região. A maioria destas áreas é de responsabilidade da Duke Energy (concessionária de geração de energia, responsável pela recuperação do passivo ambiental das áreas no entorno dos seus reservatórios). As áreas classificadas como de regeneração natural são aquelas que foram abandonadas pelos seus proprietários para que a vegetação nativa se recupere ao longo do tempo. Nesta classe também foram inseridas as áreas com capoeiras e de banhado onde não foram observadas atividades agropastoris. A categoria regeneração natural, abrange 1.961,86 ha, ou seja, 36,51% da área total.

A ausência de vegetação ao longo de toda a margem e esses fragmentos de matas localizados apenas em pequenos trechos, sem conectividade com os demais, está comprometendo a formação de corredores ecológicos e a dissipação do fluxo gênico das espécies vegetais e animais, característica fundamental para manutenção dessas matas ciliares.

Além disso, observou-se que a retirada das matas ciliares está prejudicando o meio físico, uma vez que o solo da maior parte da área está sujeito às intempéries, como ventos e chuvas, o que potencializa a ocorrência de processos erosivos, transporte de sedimentos e assoreamento do rio Paranapanema. Do mesmo modo, verificou-se que a prática de culturas agrícolas extensivas próximas às margens (dentro da APP) causa a compactação dos solos e a contaminação do lençol freático e do rio, devido ao uso de defensivos agrícolas, fertilizantes, graxas e combustíveis, causando prejuízos às espécies da fauna aquática.

A categoria pastagem ocupa 413,67 ha (7,70% da área total). Nesta categoria foram incluídas todas as áreas onde foram observadas atividades de criação extensiva e intensiva de bovinos. Os ranchos e chácaras cobrem 254,37 ha, ou seja, 4,73% da área total de APP do Médio Paranapanema. Esta é uma ocupação bastante

importante das APP da área de estudo, uma vez que está disseminada ao longo da margem do rio em praticamente toda extensão avaliada. Observou-se maior intensidade deste uso próximo às áreas urbanas dos municípios. Outro aspecto importante observado nos trabalhos de campo é que via de regra, a presença de chácaras ou de ranchos impede o acesso da população à água. Normalmente existem muros, cercas e placas proibindo a entrada de estranhos o que na prática inviabiliza a aproximação de pessoas, contrariando o livre acesso à água, previsto na Constituição Brasileira e em diversas leis federais. As barreiras físicas impedem também o acesso da fauna, dificultando ou impossibilitando seu deslocamento ao longo da margem do rio, o que contraria a Lei 12.651/12 na medida em que impede o fluxo gênico de parte das espécies animais, e consequentemente, de espécies vegetais que tem sua polinização ou disseminação de sementes dependentes da fauna.

As áreas urbanas ocupam 39,86 ha (0,76%) do total das APP e estão concentradas no distrito de Gardênia, município de Rancharia, e no município de Salto Grande. Esta ocupação, a exemplo dos ranchos e chácaras, impõe sérios limites à fauna silvestre, impedindo também o livre acesso da população às margens do rio em muitos locais. Além disso, nestes locais há altas taxas de impermeabilização do solo e consequente acúmulo de água superficial, com alto potencial erosivo.

A Figura 2 mostra a distribuição percentual dos usos da terra na área estudada.

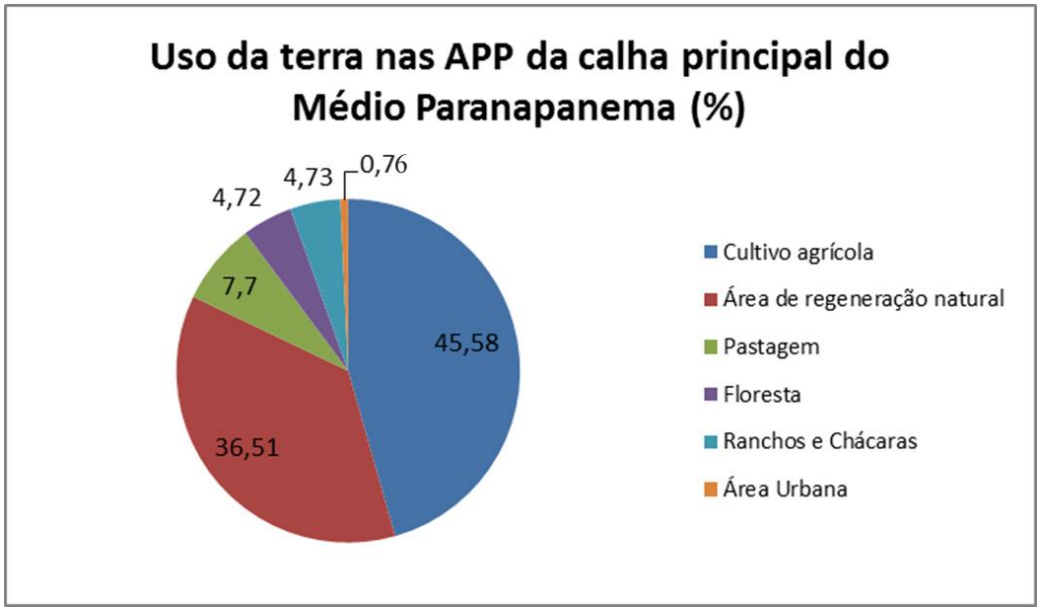



*Figura 2. Uso da terra nas APP da calha principal do Médio Paranapanema.*

A Tabela 1 apresenta a área total ocupada por cada classe de uso da terra.

*Tabela 1. Uso da terra nas APPs do Médio Paranapanema.*

| Uso da terra | Área (ha) | Percentual (%) |
|---|---|---|
| Cultivo agrícola | 2.448,90 | 45,58 |
| Área de regeneração natural | 1.961,86 | 36,51 |
| Pastagem | 413,67 | 7,70 |
| Floresta (de galeria - ciliar) | 253,63 | 4,72 |
| Ranchos e Chácaras | 254,37 | 4,73 |
| Área Urbana | 39,86 | 0,76 |
| **Total** | 5.372,29 | 100 |

A Figura 3 mostra os totais de APP e o tamanho da área preservada (cobertas com mata ciliar) por município. Nela se observa que a maior parte dos municípios tem um percentual de APP preservada muito baixo, com exceção de Canitar e Chavantes que possuem 38,35% e 30,31%, respectivamente, o que é menos da metade do que deveria ser preservado em cada um destes municípios. Além disso, deve-se destacar que estes dois municípios possuem áreas pequenas se comparados com os demais. Verifica-se ainda que o município de Maracaí que tem a maior APP na calha do Rio Paranapanema, dentre todos os municípios da área estudada, não possui mata ciliar preservada, assim como Cândido Mota e Cruzália, que também tem áreas de APP com dimensão consideráveis. O restante dos municípios preserva menos de 15% das áreas que deveriam ser preservadas com matas ciliares, o que indica uma situação grave quando analisada sob a ótica da legislação ambiental brasileira.

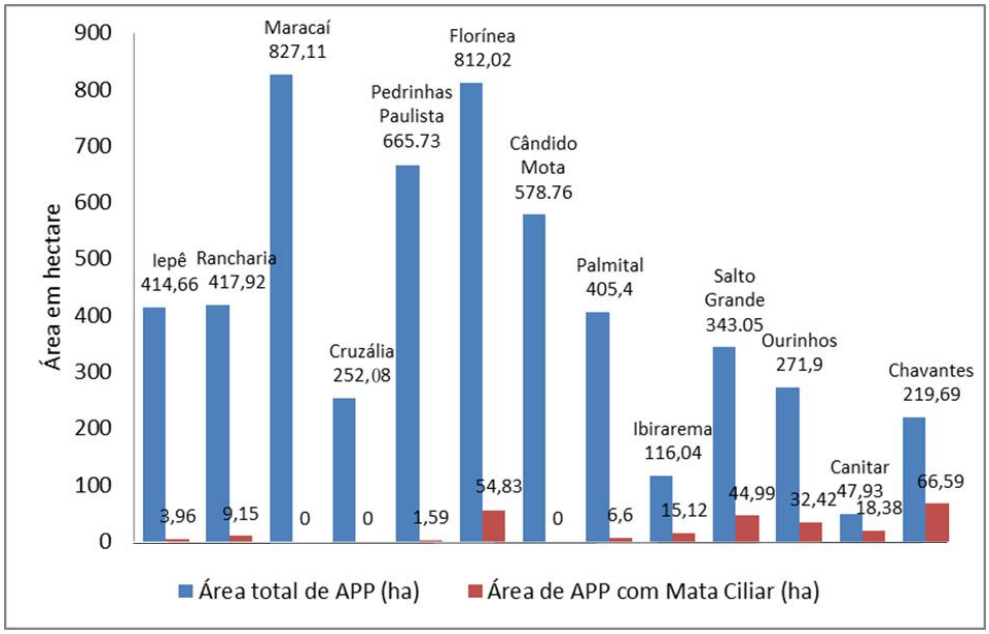



*Figura 3. Área de Preservação Permanente na margem do Rio Paranapanema e área coberta com mata ciliar por município.*

As informações levantadas e analisadas nas imagens de satélite e nos trabalhos de campo foram organizadas em dois bancos de dados nos SIG: o primeiro contendo as informações de uso da terra das APP dos municípios e o segundo contendo as informações das condições ambientais dos locais avaliados (Figura 4 - exemplo). Estes bancos de dados foram associados às imagens de satélite, permitindo assim, a consulta de informações, o monitoramento e a atualização das informações referentes às características estudadas sempre que necessário.

Assim, a partir destes bancos de dados o poder público e os setores da sociedade interessados na recuperação das matas ciliares e na proteção das águas, dos solos e da fauna local, podem intervir nas áreas críticas, desenvolvendo projetos de adequação e acompanhando seus resultados em imagens de satélites de diferentes períodos. A tomada de decisões referentes à área apoiada nos bancos de dados com informações tangíveis e acessíveis possibilita a diminuição do tempo de projeto e intervenção e a redução de erros e custos.

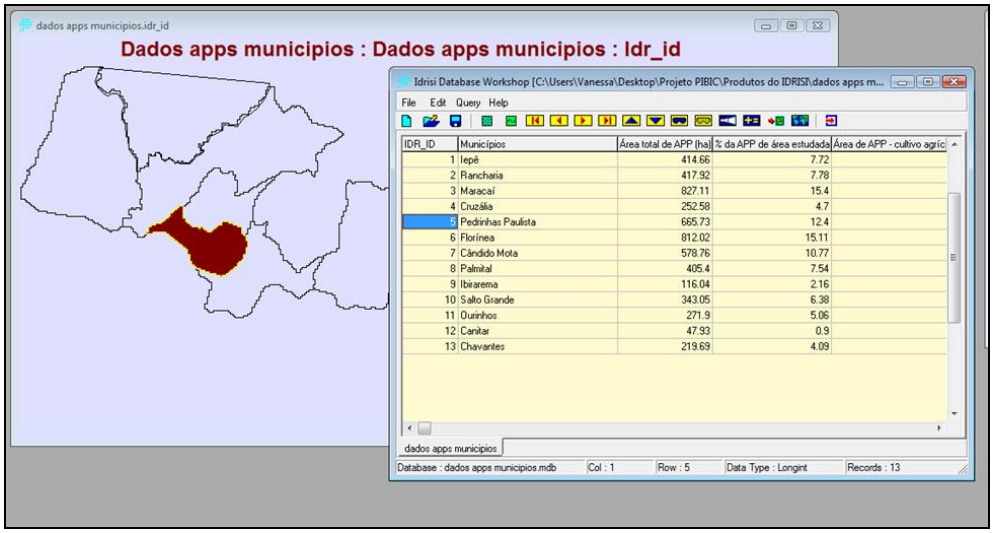



*Figura 4. Exemplo de banco de dados criado na pesquisa.*

## CONCLUSÕES

As discussões referentes à conservação ambiental das APP são essenciais no contexto brasileiro. Uma vez que o que resta dos ecossistemas do Brasil, principalmente nestas áreas hoje protegidas por lei, corre sério risco de desaparecer por completo. E, na maioria dos casos sem o estudo de suas características básicas como composição biológica, distribuição espacial e ciclos ali presentes. Também não se conhece ainda os impactos que a alteração dos ecossistemas pode causar sobre seus componentes e sobre o homem e suas atividades econômicas. Diante desta situação, e após a realização desta pesquisa, pode-se afirmar que as APP são

fundamentais para manutenção do equilíbrio do meio natural, e consequentemente, promovem condições favoráveis para a qualidade de vida dos seres humanos e dos demais seres vivos existentes na área.

As geotecnologias aplicadas mostraram-se eficazes para as análises ambientais, formando a base para futuras tomadas de decisões, principalmente quanto à fiscalização dessas áreas. Essas ferramentas possibilitaram a espacialização das informações e a criação de bancos de dados que podem ser gerenciados e manipulados em qualquer época e disponibilizados ao poder público, a pesquisadores e a outras instituições com atuação na área. A delimitação automática das APP, com auxilio de um SIG, suprime a subjetividade do processo, viabilizando o fiel cumprimento da legislação brasileira, favorecendo a fiscalização ambiental, com rapidez e confiabilidade.

As imagens de satélite mostraram-se fundamentais para o estudo devido à extensão da área pesquisada. As imagens do Landsat 8, pela sua resolução (30 metros) não ofereceram grande precisão pontual, mas facilitaram as análises da área como um todo. As imagens HRC - CBERS 2B, e *Quickbird*, disponibilizadas pelo *Google Earth*, permitiram a interpretação precisa do uso da terra das APPs do rio Paranapanema devido à sua alta resolução e temporalidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SÁBER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 6ª Ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2010.
2. BARRELLA, W. et al. As Relações Entre as Matas Ciliares, os Rio e os Peixes, In: BERTRAND, G. **Pour une étude géographique de la vegetation**. R.G.P.S-O, t. XXXVII, Toulouse, 1966.
3. BOIN, M. N. **Áreas de Preservação Permanente: Uma visão prática**. In: Centro de Apoio Operacional de Urbanismo e Meio Ambiente. (org.). Manual Prático da Promotoria de Justiça do Meio Ambiente. 1 ed. São Paulo: Impressa Oficial do Estado de São Paulo, 2005.
4. BRASIL. **Lei Federal n.12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Presidência da República, 2012.
5. BURROUGH, Peter A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** Oxford: Clarendon Press, 1998.
6. FELFILI, J.M. et al. **Levantamento ecológico rápido**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2006.
7. JENSEN, J R.; EPIPHANIO, J. C. N. et al (trad.). **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

8. MOREIRA, A. O Planejamento Ambiental sob a Ótica dos Mapas Temáticos e da Tecnologia da Informação Geográfica em Unidades Territoriais. *In*: XII ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 2009. Montevideo. **Anais XII Encontro de Geógrafos da América Latina**, Montevideo, Uruguai, 03-07 abril 2009.
9. PIROLI (2010), E.L. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos: UNESP/Campus Experimental de Ourinhos. 2010.
10. PIROLI, E.L. G**eoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das áreas de preservação permanente dos corpos d´água da bacia hidrográfica do rio Pardo.** Tese (Livre Docência em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) – Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2013.
11. PISSARRA, T.C.T. et al. Utilização de sistemas de informação geográfica para avaliação de áreas de preservação permanentes em microbacias hidrográficas: um estudo de caso para o município de Jaboticabal, SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003.Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p.1915-1920. Disponível na biblioteca digital URLib:<ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.39>. Acesso em 08 de abril de 2009.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# INFORMACIÓN DOWNSCALING SOBRE EL QUINTO INFORME DEL IPCC A RESOLUCIÓN MODERADA: ALGUNOS RESULTADOS PARA CHILE

**Sarricolea Pablo[a], Henríquez David**
**Departamento de Geografía, Universidad de Chile**
**[a](psarricolea@uchilefau.cl)**

## FUNDAMENTO

Los investigadores requieren información detallada sobre la configuración espacial del estado del clima y las proyecciones futuras del mismo. No obstante las escalas son inadecuadas para la precisión requerida (puntual y grillas de cientos de kilómetros). Es por ello que desde la última década se ha liberado mucha información para su uso, lo cual reporta más conocimiento y certeza sobre la variabilidad y cambios climáticos.

## OBJETIVO

Mostrar la variabilidad y los cambios climáticos en Chile a una resolución espacial igual y menor a un kilómetro, extrayendo mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica distintas capas de información.

## MATERIAL Y MÉTODO

Datos de la Dirección General de Aguas y Dirección Meteorológica de Chile de precipitación. Información downscaling del clima actual y del siglo XXI. Los métodos son interpolación usando distintos modelos y generación de capas de anomalías (método Delta) de temperatura y precipitación.

## RESULTADOS

Aumento de la variabilidad climática en el siglo XX y proyecciones en el mismo sentido. Incremento de las temperaturas según las proyecciones para el siglo XXI y menos precipitaciones en gran parte del territorio nacional. En Chile centro sur se esperan los cambios más notables de precipitación en cuanto a montos, provocando un desplazamiento al sur del clima mediterráneo.

## CONCLUSIÓN

El acceso libre a información climática y sus proyecciones permite mejorar el conocimiento tanto de los ciudadanos como investigadores de distintas disciplinas relacionadas con el territorio. Además mejora los niveles de transparencia y transversalidad de los resultados de prensa y artículos científicos.

**Palabras clave**: Cambios climáticos, downscaling, interpolación, IPCC.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# EVALUAR TRANSFORMACIONES EN LAS AREAS NATURALES POR MEDIO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y LA TELEDETECCION

**Martínez Uncal, María Celeste[a]; Pombo, Daila Graciana[b]; Leone Escuredo, Danilo[c]**
**Departamento e Instituto de Geografía - Facultad de Ciencias Humanas - UNLPam, Argentina**
**[a](mcelemu@yahoo.com.ar)**
**[b](dailapombo@gmail.com)**
**[c](leoneescuredo@gmail.com)**

**RESUMEN**
En los últimos años, las áreas naturales del territorio Argentino sufrieron una reducción sistemática en su superficie, debido principalmente a su explotación para la extracción de madera, desmontes con el objetivo de liberar tierras para las actividades agrícolas ganaderas o incendios imprevistos, produciendo degradación y pérdida de ecosistemas.

La provincia de La Pampa, situada en el sector central de Argentina presenta el ecosistema definido como el Caldenal que se caracteriza por presentar un bosque caducifolio de *Prosopis caldenia*, actualmente está constituido por pequeñas porciones representativas del ecosistema original.

El presente trabajo es un avance el cual está enmarcado en el proyecto de investigación "Atlas Geográfico y Satelital de la Provincia de La Pampa", el mismo tiene la finalidad, de presentar los adelantos de los cambios producidos en el bosque de caldén, en la región del Espinal, a través los conceptos tecnológicos más avanzados de captura, procesamiento, producción, presentación y divulgación de datos.

**Palabras claves:** SIG, teledetección, fragmentación, caldenal.

## INTRODUCCIÓN

Luego de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) y hasta la década de 1960, la actividad agraria pampeana sufrió grandes transformaciones, debido a una serie de factores que repercutieron en la producción agrícola. A partir de 1970, Argentina, comenzó una etapa de expansión que se consolidó en 1990, donde además del avance de la frontera agrícola, se produjo una intensificación de la producción, (Dadon, et al., 2013).

Los cambios producidos en el paisaje pampeano nativo se originaron fundamentalmente por el avance de la frontera agropecuaria, por los desmontes efectuados y por las prácticas de quema controlada en los pastizales. Históricamente la explotación de los bosques nativos en la Argentina se llevó a cabo con un criterio netamente extractivo, donde la Provincia Fitogeográfica del Espinal es un claro ejemplo de ello.

Desde el punto de vista basado en la biodiversidad y un manejo ecosistémico, esta región enfrenta una situación de alto riesgo debido a la intensa actividad agropecuaria en expansión, que trae aparejada una serie de problemas ambientales. El caldenal como ecosistema no está catalogado como "en vías de extinción", pero está en retroceso, en su estado virgen, ya casi no existe. El disturbio provocado por la acción humana ha hecho variar la composición florística del bosque abierto caducifolio. En un primer momento del poblamiento del territorio pampeano, la extracción de madera y la cría de ovinos; años después el desmonte, la quema y el sobrepastoreo de vacunos lo han transformado en determinadas áreas, sobre todo las de bajas pendientes y depresiones, en "fachinales", es decir, arbustales densos de difícil acceso (Di Liscia; 2007).

Para atenuar esta problemática, la provincia de La Pampa sancionó en junio del año 2011 la Ley Provincial de Bosques Nº 2624 que aprueba el "Ordenamiento Territorial de los Bosques en la provincia de La Pampa", proceso que se inició a partir de la sanción en noviembre del año 2007 de la Ley Nacional Nº 26331, de "Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos".

La misma declara de interés provincial la restauración, conservación, aprovechamiento, manejo sostenible, la forestación, la reforestación de los bosques pampeanos, y de los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad, aprobando el ordenamiento territorial de los bosques nativos de la provincia de La Pampa. A parte de estos objetivos prevé, también, la regulación de la expansión de la frontera agropecuaria y cualquier otro cambio del uso del suelo.

La Ley Nacional obliga a las provincias a realizar los Ordenamientos Territoriales de los bosques nativos, mejorando el uso del suelo, prohibiendo el uso del fuego para eliminar los residuos leñosos, obligando a que los particulares presenten planes de manejo para el aprovechamiento de los bosques y para el desmonte, restaurando el bosque degradado por eventos antrópicos y para ello; previo la creación de un Fondo Nacional para el Enriquecimiento y la Conservación de Bosques Nativos destinados a compensar a los propietarios de los predios que conserven los mismos, por los servicios ambientales que estos brindan. También contempla aspectos políticos, físicos, sociales, tecnológicos, culturales, económicos, jurídicos y ecológicos de la realidad local.

Los avances tecnológicos actualmente existentes, influyen de manera decisiva para evaluar distintos aspectos que hacen al uso de la tierra. Las imágenes satelitales, integradas a un Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten estudiar, analizar, cuantificar y tomar decisiones de como las áreas naturales se fueron modificando a lo largo de los años.

Permitiendo el estudio de los recursos naturales y de los sistemas agropecuarios, obteniendo información precisa de la situación en estudio. Asimismo, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten el análisis integrado de información proveniente de sensores remotos, cartografía y base de datos.

Esta herramienta posibilita realizar análisis multitemporales y espaciales, consiguiendo realizar estudios de cambios en los recursos naturales, mapear condiciones anteriores y posteriores a una acción específica y determinar el impacto de la misma sobre el área de estudio.

La importancia de los SIG radica en dar a conocer la pérdida de cobertura vegetal y los cambios del uso del suelo que existen a través del tiempo y el espacio, tratando de dar una aproximación de lo existente. De esta forma se han convertido en herramienta imprescindible y excepcional debido al aumento en el uso de este tipo de tecnología de gran ayuda para determinar áreas potencialmente recuperables para mantener la biodiversidad paisajística, biológica y cultural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las nuevas tecnologías y, en especial, los SIG ofrecen numerosas ventajas respecto a la cartografía convencional, ya que de forma automática permite manejar datos espaciales, producir mapas temáticos y procesar bases de datos amplias. Desde la aparición del primer SIG, hace unos 28 años, se han utilizado en diferentes ámbitos de investigación para el procesamiento de grandes volúmenes de datos espaciales.

Un lugar destacado lo ocupan estas aplicaciones a estudios de carácter medioambiental, referentes a planificación y protección ambiental. “En planificación medioambiental el SIG suele utilizarse para reprocesar datos, cartografiar datos de entrada o modelizar resultados. En la práctica, las estructuras de datos SIG guardan mayor relación con los mapas que los elementos finitos de los modelos medioambientales, por lo que es aconsejable un lenguaje de modelización medioambiental que sirva de interface al SIG” (Goodchild, 1993).

En el ámbito de la protección y ordenación de espacios forestales la principal aplicación suele consistir en automatizar la recolección y el manejo de abundantes datos georreferenciados, tarea que resulta de gran utilidad para confeccionar y actualizar los inventarios forestales, planificar la explotación de bosques, definir sectores con distinto riesgo de incendios o establecer áreas de posible reforestación.

Las formas de medir la biodiversidad son variadas, desde las más clásicas y más fácilmente comprensibles –mayor biodiversidad cuanto mayor número de especies– a modelos complejos que implican la utilización de multitud de variables, cuya comprensión y cálculo requiere un mayor grado de análisis.

Por otro lado, el mayor problema que existe actualmente para el cálculo de índices o indicadores de biodiversidad que resulten operativos es la inexistencia de datos básicos normalizados, más aún cuando nos enfrentamos con grandes territorios.

"Las imágenes de percepción remota permiten obtener información actualizada sobre amplias áreas geográficas. Estos datos constituyen un aporte fundamental a la ecología ya que permiten discernir patrones y medir procesos a una escala ecológica grande en forma directa, en lugar de inducirlo mediante mediciones a escala local" (Roughgarden, 1991). Es así que esta información ofrece una alternativa valiosa para estudios sobre las características superficiales del terreno, como son la tipificación de ambientes y de vegetación, y la descripción del patrón de uso de la tierra.

**Área de estudio**

El caldén (*Prosopis caldenia*), árbol típico de la provincia de La Pampa y endémico de la Argentina, forma extensos bosques llamados *caldenares*, aunque también se lo puede encontrar en soledad en el medio del campo. Esta especie es dominante de la Provincia Fitogeográfica del Espinal y se caracteriza por ser un árbol robusto, de crecimiento lento, que puede alcanzar los doce metros de altura y un diámetro de hasta dos metros.

La Provincia Fitogeográfica del Espinal, también conocida como Bosque Pampeano, se extiende en forma de arco alrededor de la Provincia Pampeana, desde el centro de Corrientes y norte de Entre Ríos, por el centro de Santa Fe y de Córdoba, por San Luis y el centro de La Pampa…, (Cabrera, 1976).

Esta unidad fitogeográfica presenta de norte a sur importantes variaciones climáticas, con una vegetación caracterizada por bosque xerófilo abierto, caducifolio y estepas arbustivas, siendo la especie arbórea dominante del género *Prosopis*.

El área de estudio del presente trabajo, abarca el "Distrito del Caldén", dominado por bosques xerófilos de caldén. Esta especie, forma asociaciones más o menos abiertas, en la que predomina como especie arbórea de mayor desarrollo, acompañadas por algarrobo (*Prosopis flexuosa*), chañar (*Geoffroea decorticans*), molle negro (*Schinus fasciculatus*) y sombra de toro (*Jodina rhombifolia*). En este ambiente, en el último tercio del siglo, las especies arbustivas son escasas, siendo frecuentes las formas herbáceas con predominio de gramíneas.

En esta presentación, la zona donde se lleva a cabo el estudio, corresponde al noreste del departamento de Utracán y abarca una superficie aproximada de 83.600 has. (Figura 1).

**Fuente de datos y Técnicas**

La elección de la metodología a utilizar depende de los objetivos preestablecidos para el desarrollo del trabajo, su aplicación y de las características intrínsecas del área (grado de heterogeneidad, de contraste y de fragmentación de las unidades a categorizar).

Para conocer los cambios generados en el uso de la tierra, en el NE del departamento de Utracán, durante el período comprendido entre el año 1964 y 2009, se trabajó con fotografías aéreas, brindadas por la Dirección General de Catastro de la provincia de La Pampa y con imágenes satelitales pancromáticas CBERS 2B - HRC, las cuales fueron obtenidas del servidor del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE). Con las fotografías aéreas y las imágenes satelitales, se procedió a confeccionar mapas individuales de cada uno de los años estudiados.

Para determinar el uso de la tierra, en el año 1964, se utilizaron fotografía aéreas, escala 1:35000, las cuales fueron escañadas y georreferenciadas en el sistema de proyección Gauss Krügger faja 3. Seguidamente se procedió a construir un mosaico (Figura 2) y su posterior recorte del área de estudio. Finalmente se llevo a cabo la vectorización a través de una interpretación visual. "El análisis visual de las imágenes (fotografías aéreas e imágenes satelitales) tiene ventajas sobre el digital cuando se trata de evaluar áreas de gran heterogeneidad, mientras que el tratamiento digital permite llevar a cabo operaciones más complejas en forma rápida y precisa" (Chuvieco, 1996). Cada uno de estos enfoques es eficaz para aspectos particulares del análisis y, en general, son complementarios.

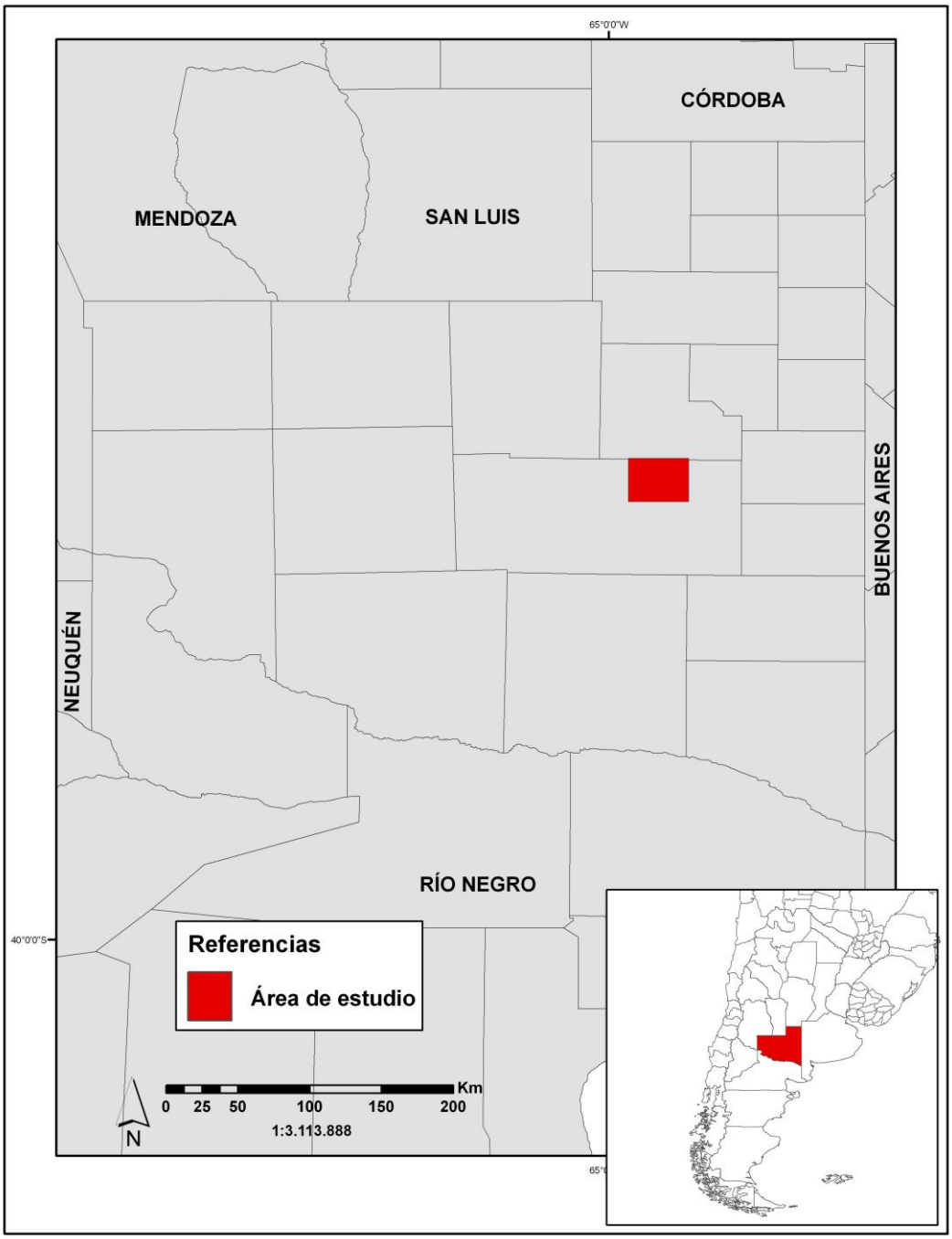



*Figura 1. Ubicación del área de estudio, departamento Utracán – provincia de La Pampa.*
*Fuente: Elaboración propia a partir de datos generados por el Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa – 2013.*

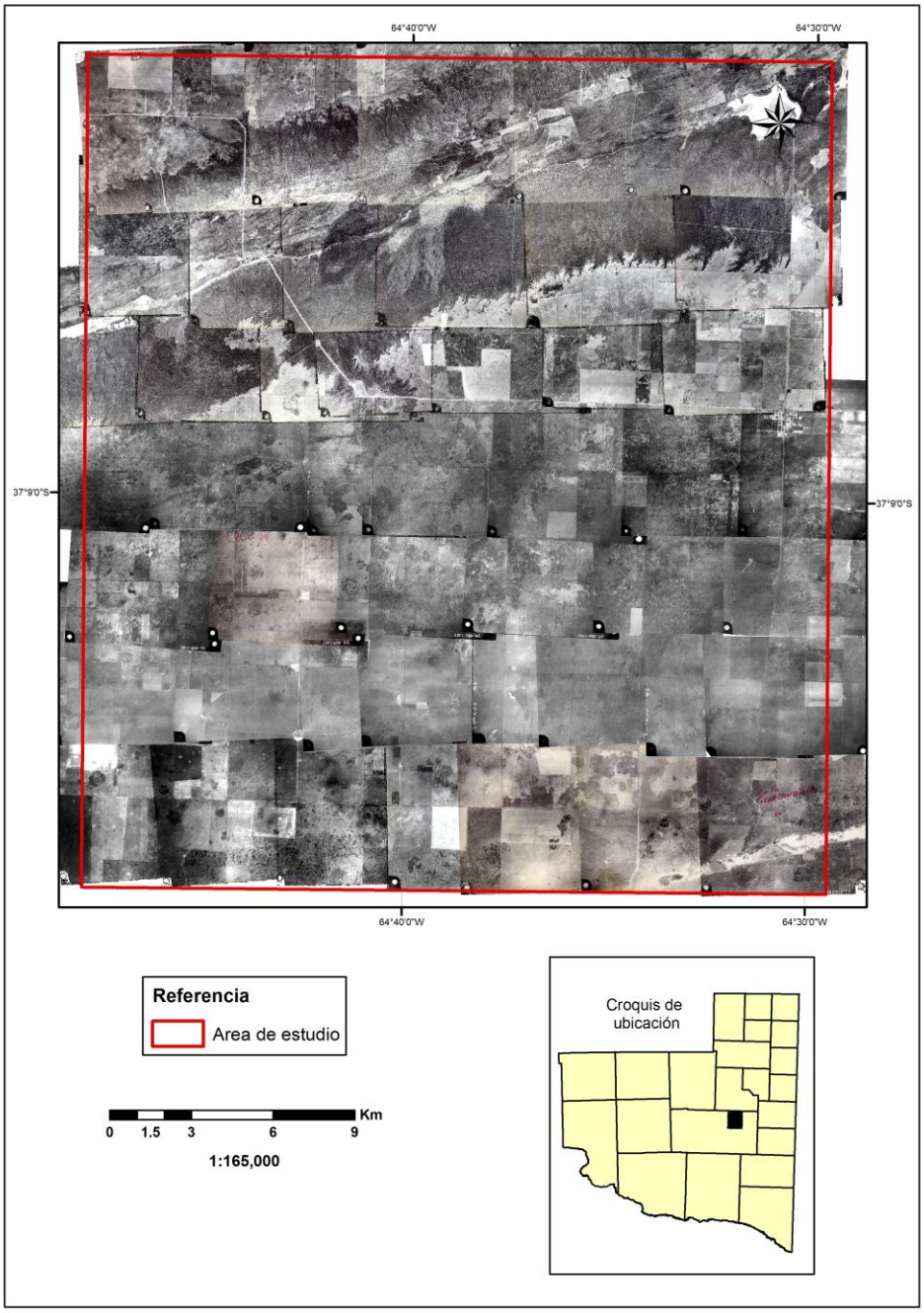



*Figura 2. Mosaico fotográfico del área de estudio. Año 1964.*
*Fuente: Elaboración propia – Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa – 2014.*

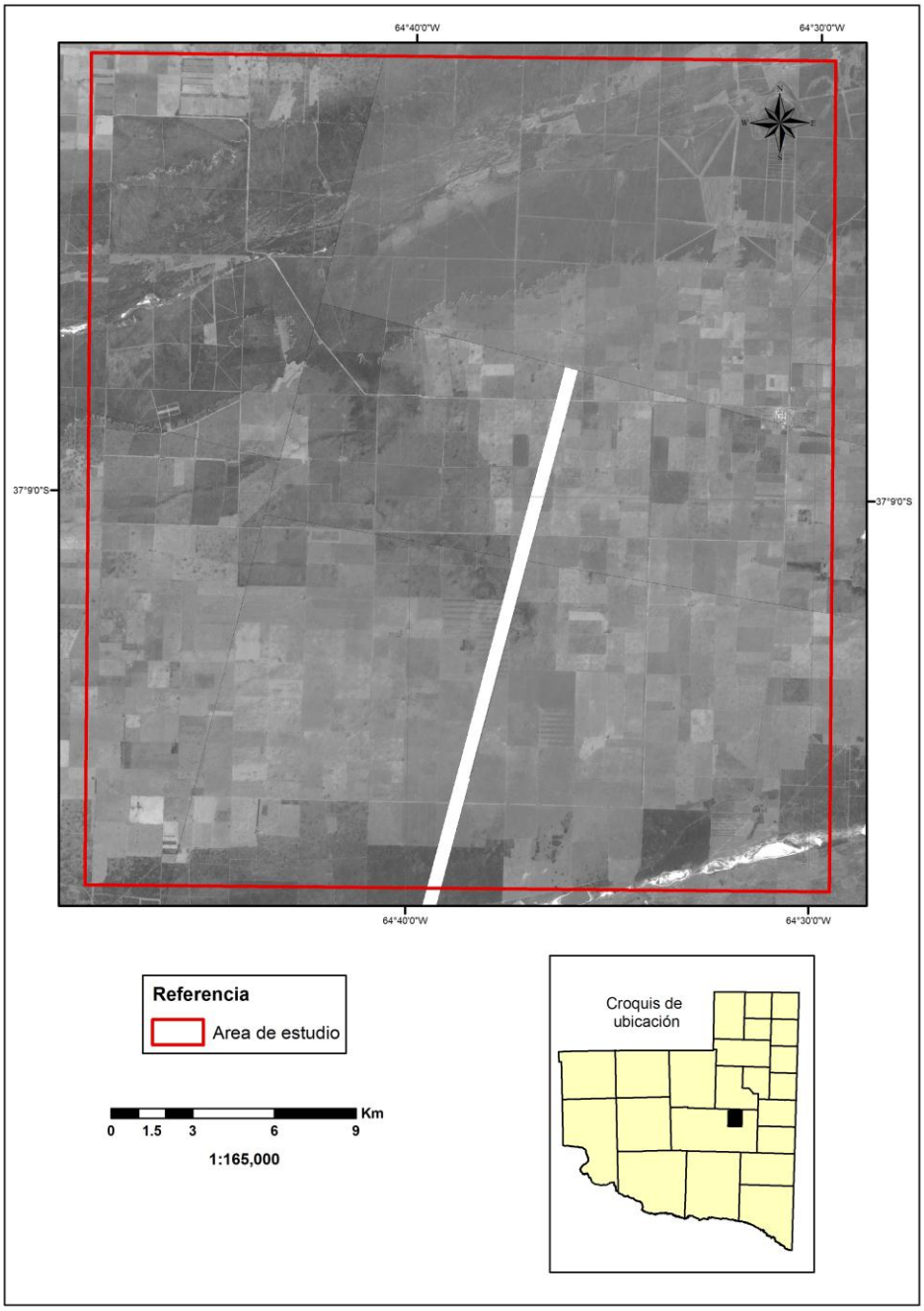



*Figura 3. Mosaico Satelital de Imágenes CBERS 2B – HCR. Año 2009.*
*Fuente: Elaboración propia – Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa – 2014.*

Para determinar el uso de la tierra, en el año 2009, se utilizaron imágenes satelitales pancromáticas del satélite CBERS 2B – HRC con una resolución espacial de 2.5 metros. Las mismas se reproyectaron al sistema Gauss Krügger faja 3, se construyó un mosaico (Figura 3) y luego se delimitó el área de estudio. Finalmente se procedió a la vectorización aplicando la misma metodología explicada en el inciso anterior.
El software que se utilizó para llevar a cabo todo el análisis explicado en los diversos puntos de la metodología fue el gvSIG.

## RESULTADOS

El bosque de caldén era abundante en La Pampa, el cual representaba el 24% de la superficie provincial. En la actualidad la expansión de la frontera agropecuaria y la ganadería extensiva son los factores de mayor impacto sobre el bosque nativo pampeano, (Subsecretaria de Ecología de La Pampa, 2012).
A través de la interpretación visual y análisis conjunto de los SIG y la Teledetección, se pudo determinar la superficie, al NE del departamento de Utracán, del *área natural* y del *área no natural* (área agrícola-ganadera) para los dos años analizados, (Tabla 1).

*Tabla 1. Superficie del área natural y área no natural.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | **Año 1964** | **Año 2009** |
|---|---|---|
| **Área Natural** | 22800 ha | 37783 ha |
| **Área No Natural** | 60800 ha | 45817 ha |

En un período de 45 años se puedo observar, a través de los mapas obtenidos (Figura 4 y 5), que el área natural, a diferencia de lo que ocurre en otras zonas, aumentó considerablemente hacia el Centro-Oeste y Sur del área de estudio en disminución del área no natural. Esto se debe probablemente a que la ganadería bovina, principal actividad que se desarrolla en el área de interés, favorece el desarrollo de formaciones leñosas nativas a través del aumento de las tasas de germinación del caldén y su efectiva dispersión por vía enterogástrica.

Según Dussart, et al., en el trabajo "Reconstrucción del paisaje del caldenal pampeano en los últimos 250 años", el ganado vacuno favorece dramáticamente el reclutamiento de renuevos de caldén y los fuegos, el desarrollo de formaciones dominadas por individuos multicaules, enriquecidas por arbustivas tales como el piquillín (Condalia microphylla Cavanilles), el molle (Schinus fasciculatus (Griseb.) Johnston) y el chañar (Geoffroea decorticans (Gill. ex Hook. et Arnott) Burkart). Las fisonomías resultantes son las de montes muy cerrados y a veces impenetrables denominados localmente fachinales (Dussart et al., 1998, Lerner, 2004, SAyDS, 2006).

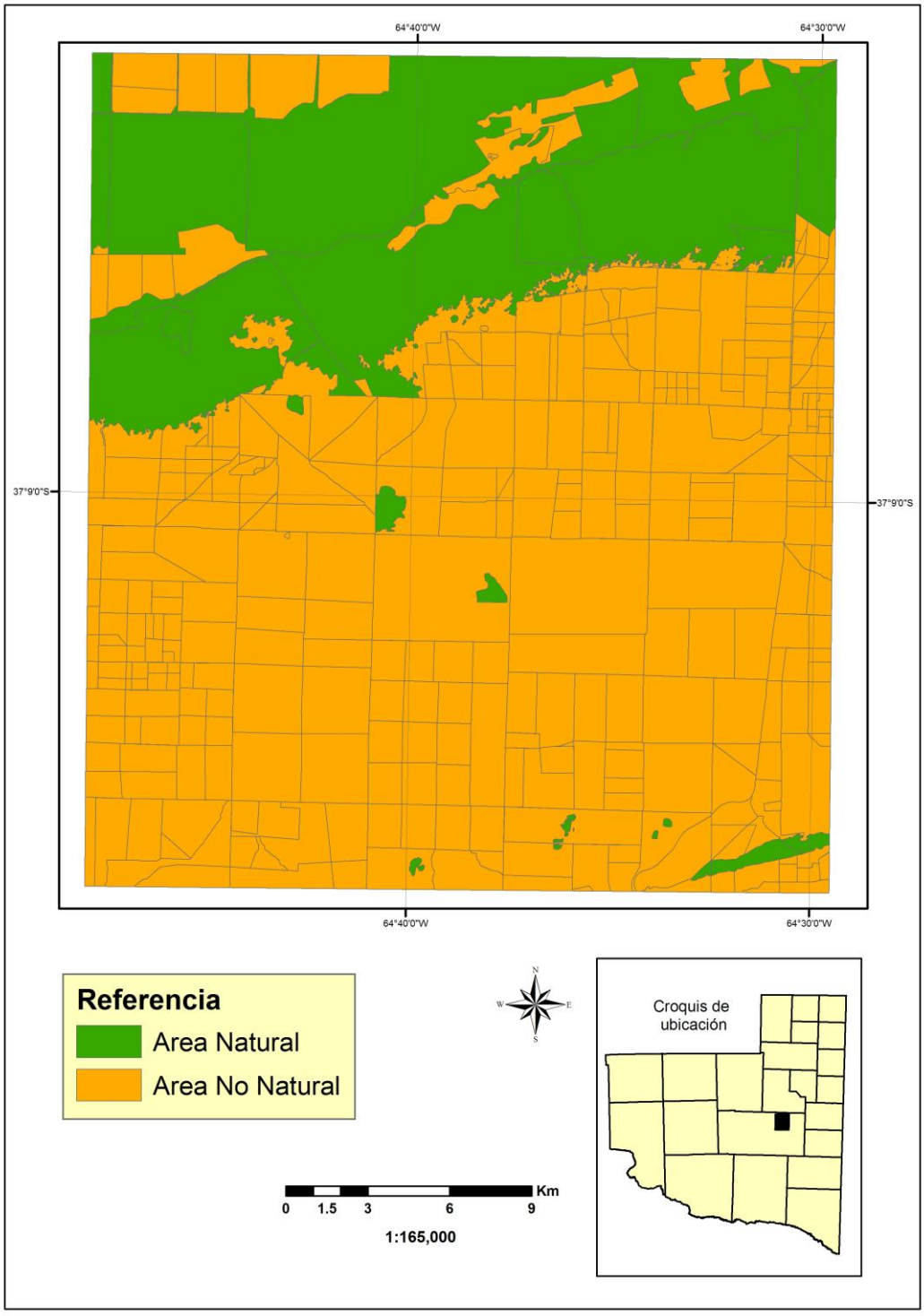



*Figura 4. Uso de la tierra al NE del departamento de Utracán, La Pampa. Año 1964. Fuente: Elaboración propia. Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa – 2013.*

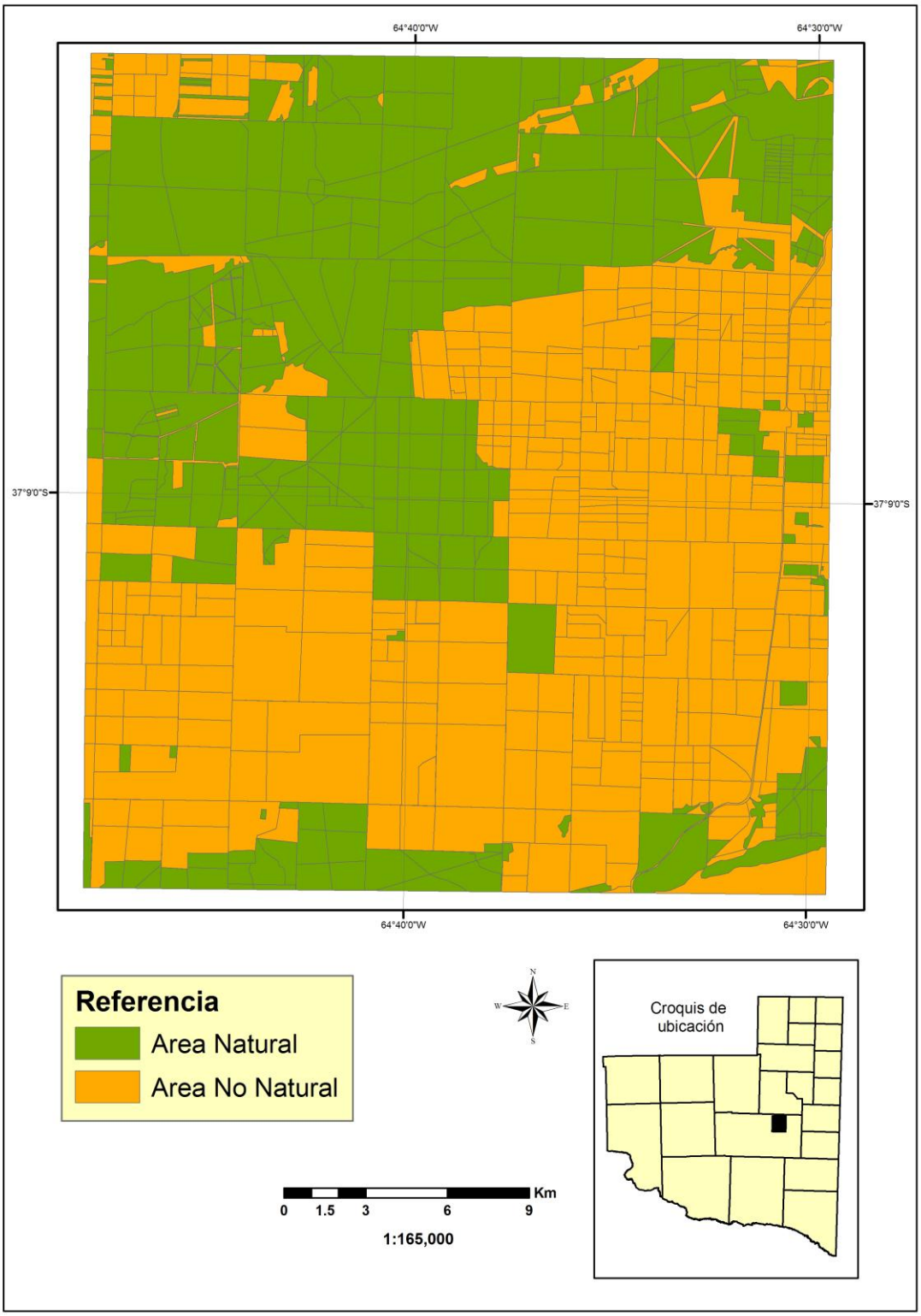



*Figura 5. Uso de la tierra al NE del departamento de Utracán, La Pampa. Año 2009.*
*Fuente: Elaboración propia. Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa – 2013.*

En los resultados obtenidos, se puede visualizar a simple vista, como aumentó la fragmentación del ambiente, proceso por el cual grandes extensiones continuas de áreas naturales se convierten en un conjunto de pequeños y aislados fragmentos, produciendo un cambio progresivo en la configuración del paisaje. Estos cambios, que generan modificaciones en el ambiente con grandes pérdidas de biodiversidad, se deben posiblemente al apotreramiento de los campos y a la apertura de picadas contrafuego perimetrales e internas obligatorias por parte del propietario, arrendatario, usufructuario u ocupante de cualquier título de un inmueble rural, según lo establecido en el artículo 10 del Decreto Reglamentario Nº 1925, de la Ley provincial Nº 1354, "Prevención y Lucha contra Incendios en Zonas Rurales".

## CONCLUSIONES

En la actualidad la tecnología SIG está siendo aplicada en múltiples campos de las ciencias medioambientales: climatología, hidrología, geología, geomorfología, ecología, entre otras. Su utilidad en estas disciplinas no sólo estriba en la realización de tareas de inventario, planificación y gestión, sino también en las ventajas que ofrece por su capacidad de integración con modelos específicos e inherentes a cada una de ellas.

En trabajo presentado, el área natural, avanzo hacia el Centro-Oeste y Sur del área de estudio, generada probablemente por la expansión del ganado vacuno que favorece al desarrollo de renuevos de caldén. También se pudo ver aumentado notablemente la fragmentación que se origina por la apertura de picadas reglamentarias y por aumento del apotreramiento de los campos de la zona, transformando el paisaje. Una vez que se inicia el proceso de fragmentación se desencadenan una serie de modificaciones en los proceso ecológicos y por consecuencia impacta en las comunidades de flora y fauna, los suelos y el agua.

La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica representan una herramienta eficiente y fundamental que permiten realizar estudios multitemporarios para conocer, determinar y monitorear los diferentes cambios que se van generando en el ambiente, a lo largo de la historia del hombre.

De acuerdo a la Ley Nacional Nº 26331, las jurisdicciones provinciales deben realizar el Ordenamiento Territorial de sus bosques nativos y se deben mantener actualizados a lo largo de los años. Estos tipos de trabajos son importantes y de gran utilidad para conocer la distribución y el estado de conservación de los bosques nativos, las zonas de cultivo, las áreas urbanas y los diferentes usos de la tierra donde se encuentra involucrado los diferentes recursos y el hombre, pudiendo obtener así un adecuado ordenamiento territorial.
En definitiva y, sin duda alguna, el mayor impulso dado en relación con el seguimiento y control de las masas forestales, a distintas escalas territoriales, se debe al extraordinario avance experimentado por las técnicas de análisis espacial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. CABRERA, A. (1976). *Regiones Fitogeográficas Argentinas*. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II, fascículo 1. Editorial ACME. Buenos Aires, Argentina.
2. CHUVIECO, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp. Madrid.
3. Subsecretaría de Ecología de la provincia de La Pampa. (2012). El Caldén - Símbolo de muestra identidad cultural. Ecología para todos. La Pampa, Argentina.
4. DADON, J.; OLDANI, J. y RODRIGUEZ, M. (2013). *Ambiente, desarrollo y sociedad.* Editorial Aula Taller. Buenos Aires, Argentina.
5. DI LISCIA, María Silvia (2007). *El principio del fin del bosque autóctono*. Santa Rosa. En http://www.primerodeoctubre.com.ar/Archivo/historia/expediciones2.htmPARTE.
6. DUSSART, E.; P. LERNER, y PEINETTI, R.(1998). *Long-term dynamics of two populations of Prosopis caldenia Burkart.* Journal of Range Management.
7. DUSSART, E.; CHIRINO, C.; MORICI, E. y PEINETTI, R. (2011). *Reconstrucción del paisaje del caldenal pampeano en los últimos 250 años*. Revista de Ciencias Forestales - Quebracho Vol.19. Argentina.
8. GOODCHILD, M.F. (1993). The State of SIG for Environmental Problem-Solving, en M.F. Goodchild, B.O. Parks y L.T. Steyaert (Eds), *Environmental Modeling with GIS.* Oxford University Press, Oxford.
9. LERNER, P. 2004. *El Caldenar: dinámica de poblaciones de caldén y procesos de expansión de leñosas en pastizales.* Ecología y manejo de los bosques de Argentina. Ed. UNLP, CD-Rom. Santa Rosa.
10. ROUGHGARDEN, J.; RUNNING, S.W. y MATSON, P.A. (1991). *What does remote sensing do for ecology?. Ecology.*

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE UNA PLANTA DE BIOENERGÍA DE RESIDUOS CULTIVOS AGRÍCOLAS EN LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

**Nicole Montenegro[1], Celián Román-Figueroa[1] y Manuel Paneque[2,3]**
[1] Agroenergía Ingeniería Genética S.A., Almirante Lynch 1179, San Miguel, Santiago.
[2] Laboratorio de Bioenergía y Biotecnología Ambiental, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago.
[3] mpaneque@uchile.cl

## RESUMEN

La combustión de diesel libera gases de efecto invernadero a la atmósfera, por lo que se hace necesario buscar alternativas energéticas sostenibles que provean seguridad energética al país en un mediano y largo plazo. La bioenergía puede abastecer todos los mercados energéticos, y ser carbono neutral. Sin embargo, se ha planteado como controversial por la competencia con cultivos agrícolas, restricción de la tierra y la seguridad alimentaria. Los residuos agrícolas son una alternativa, que puede utilizarse como materia prima para producción de bioenergía. En Chile se disponen de 3,58 [MM t año$^{-1}$] de residuos de cereales los que se concentran entre las regiones de Valparaíso y de la Araucanía. En este trabajo se determinó la ubicación óptima de una planta de energía en la región de la Araucanía considerando criterios de factibilidad y sociales que son espacializados y evaluados de forma conjunta mediante el método de Evaluación Multicriterio (EMC). En la EMC se utilizaron como variable la oferta de biomasa residual, la demanda energética del sector residencial e industrial, la cercanía a la red vial y a la red de distribución eléctrica y el uso de suelo. Se plantearon tres escenarios: social, de factibilidad y de alta demanda, los cuales conjugan los diversos criterios, pero difieren en los pesos que se asignan a cada uno según el objetivo principal a satisfacer. El resultado de la EMC determinó que los sitios de localización para los tres escenarios tienen en común que se ubican en el área donde se presentó el mayor potencial de biomasa disponible, que corresponde a los valles transversales de la Región. El escenario social presenta, además, sitios periféricos los cuales corresponden a

áreas rurales con una demanda energética que no se encuentra satisfecha; los sitios de los escenarios de factibilidad y demanda son en general coincidentes y difieren en algunas áreas, siendo el de demanda el más extenso. Se concluyó que los sitios óptimos de instalación de una planta de bioenergía están determinados principalmente por la disponibilidad de biomasa en la región de la Araucanía, por lo que el valle central de la región de la Araucanía es la que presenta las mejores condiciones para la instalación de una planta productora de energía en base a residuos agrícolas.

**Palabras clave**: Bioenergía; Región de la Araucanía; Residuos Agrícolas.

.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# EL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD DE MÉXICO (SNIB)

**Dávila Rosas, José Manuel[a]; Colín López, Julián Javier[b]**
**Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, Distrito Federal**
**[a](jdavila@conabio.gob.mx)**
**[b](jcolin@conabio.gob.mx)**

**RESUMEN**

México es uno de los principales países megadiversos del mundo. Con alrededor de 200 mil especies diferentes, México es hogar del 10 al 12 por ciento de la biodiversidad mundial.

Para el estudio y conocimiento de la biodiversidad de México en el año 1992 se creó la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la cual tiene la misión de promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.

Para compilar, organizar y distribuir esta información la CONABIO, estableció el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de México, el cual contiene registros curatoriales, taxonómicos y geográficos de los diferentes grupos biológicos.

Para la integración de la información al SNIB, fue necesario realizar diferentes procesos, procedimientos, para evaluación de calidad, limpieza y completitud de los registros de ejemplares albergados en el sistema.

**Palabras claves:** CONABIO, SNIB, ejemplares biológicos, geoportal.

## INTRODUCCIÓN

México es cuarto lugar en flora del mundo, con 26,000 diferentes especies. Es considerado el segundo país en el mundo en ecosistemas y es el cuarto lugar en el mundo en el total de especies. (2,500 especies están protegidas por la legislación mexicana) [36]

En México existen alrededor de 500 especies de importancia pesquera, casi 600 especies se utilizan para la reforestación, unas 4,000 especies tienen propiedades medicinales registradas, cientos de especies exóticas, invasoras y decenas de miles con potencial biotecnológico.[36]

Para el estudio y conocimiento de la biodiversidad de México se creó la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), concebida como una organización de investigación aplicada, promotora de investigación básica, que compila y genera información sobre biodiversidad, desarrolla capacidades humanas en el área de informática de la biodiversidad y es fuente pública de información y conocimiento accesible para toda la sociedad. Es una institución que genera inteligencia sobre nuestro capital natural; sirve de puente entre la academia, el gobierno y la sociedad; promueve que la conservación y manejo de la biodiversidad se base en acciones realizadas por la población local, la cual debe ser un actor central en ese proceso.

Entre las funciones principales de la CONABIO están instrumentar y operar el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), como establece el artículo 80, fracción V del de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para brindar datos, información y asesoría a diversos usuarios así como instrumentar las redes de información nacionales y mundiales sobre biodiversidad; dar cumplimiento a los compromisos internacionales en materia de biodiversidad adquiridos por México que se le asignen, y llevar a cabo acciones orientadas a la conservación y uso sustentable de la biodiversidad de México.

El SNIB es un sistema que integra la información referente a cerca de 9 millones de especímenes albergados en numerosas colecciones de México y del extranjero. Cuenta con un acervo de información cartográfica de más de 4 000 temas ambientales, de infraestructura y socioeconómicos, y más de 380 000 imágenes tomadas por sensores remotos (vuelos aéreos e imágenes satelitales), información geográfica creciente y miles de productos generados día a día.

**Objetivo:**

Integrar datos curatoriales, taxonómicos y geográficos de los diferentes grupos biológicos al SNIB.
Desarrollar un geoportal para su consulta y descarga de los datos integrados al SNIB

**Material y método:**

Existe en la CONABIO información para más de 70 mil especies colectadas en México, la representación de los grupos biológicos es: vertebrados (5,800/41%), plantas (29,895/39%) invertebrados (27,814/17%), hongos (3,447/1%) y algas, bacterias y protoctista (3,886/2%). Los ejemplares están depositados en 1,520 colecciones de 668 instituciones, 508 mexicanas y 978 del extranjero. Se tiene registro de 584,000 sitios de colecta en el país, asociados a los ejemplares, de los cuales 87% son terrestres, 8% marinos y 5% costeros. Además, se cuenta con cartografía digital con más de 5,000 mapas de distintos temas, de los cuales 4,682 son públicos y pueden consultarse en el geoportal.[38]

Las bases de datos concluidas resultado de proyectos financiados por la CONABIO, así como aquellas donadas por investigadores e instituciones fueron migradas a un único modelo de datos con la finalidad de publicar la información en línea y de fácil consulta para el usuario. Para ello, fue necesario llevar a cabo un proceso de revisión y depuración con el fin de homologar, completar y corregir la información en los aspectos que se mencionan a continuación:

**Taxonomía y nomenclatura:** se cotejó la información taxonómica y nomenclatural con la versión más reciente de los Catálogos de Autoridades Taxonómicas (CAT) de la CONABIO[9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16], así como con otras fuentes de información disponibles en línea y con literatura especializada. Con base en lo anterior, se completó y homologó la información taxonómica y nomenclatural para taxones supragenéricos, se corrigieron errores ortográficos y de escritura detectados.

**Geográfia:** se corrigieron y homologaron en lo posible, los nombres de los estados y municipios con el mapa[7] para México. Se realizó una validación geográfica con cartografía reciente (2010) para verificar la información asociada al sitio; alrededor de 289,549 ejemplares correspondientes a 112,289 localidades de colecta fueron georreferenciados mediante un proceso sistematizado realizado en la CONABIO[5].

**Colecciones e Instituciones**: se homologaron y completaron los nombres y siglas de las colecciones y las instituciones con base en el catálogo actualizado de colecciones e instituciones de la CONABIO[17].

**TAXONOMÍA Y NOMENCLATURA**

1. En el proceso de validación de la información taxonómica de los ejemplares del SNIB se utilizaron principalmente los Catálogos de Autoridades Taxonómicas (CAT) de la CONABIO [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 22, 30], algunas bases de datos disponibles en línea, principalmente [2, 3, 20, 21, 27, 28, 31, 32, 33, 34] así como literatura especializada.

2. Se revisó la información de los nombres científicos incluidos en de las bases de datos originales y en campos adicionales se hizo limpieza de los nombres para poder realizar la validación.
3. Una vez depurada la información original, se contrastaron los nombres con los incluidos en los CAT. Se validó el estatus taxonómico de los nombres encontrados, y en campos adicionales se incluyó la información de taxonomía superior (desde Reino hasta familia), la información de estatus, autor y año de descripción de los nombres genéricos, específicos o infraespecíficos. En caso de detectarse nombres con estatus sinónimo, se incluyó además la información correspondiente al nombre científico considerado como válido.
4. A los nombres no localizados se les realizó un análisis de similitud de caracteres con el método Damerau – Levenshtein (con distancia de dos caracteres) contra los nombres incluidos en los CAT.
5. Se verificó que los nombres detectados por el algoritmo correspondieran con los nombres científicos apropiados y en su caso, se realizó el mismo proceso que se describe en los puntos 3 y 4.
6. Algunos taxones que no se lograron validar con los CAT, se validaron con otras fuentes de información disponibles en línea como (The PlantList[31], WORMS[34], AlgaeBase[21], etc) o con literatura especializada.
7. En todos los casos se incluyó la referencia completa de la fuente con la cual se validaron los nombres. Así mismo, se incluyó la cita de los sistemas de clasificación que respaldan la taxonomía superior asignada a cada nombre.

**COLECCIONES-INSTITUCIONES**

1. Se revisó la información de colección e institución de los ejemplares incluidos en el SNIB y se estandarizó con el catálogo de colecciones de CONABIO[17]. Para aquellos datos donde no fue posible estandarizar la información, se dejó la información original.
2. Para los datos de ejemplares reportados como Observados, se asignó el dato "NO APLICA" a las siglas y nombre de la colección por lo que sólo se incluyó la información de la institución (dirección, ciudad, estado, país, código postal), bajo el acuerdo de tomar la adscripción del curador como la referencia donde se respalda dicha observación. La única excepción son las observaciones de averAves o eBird, donde el portal regional se consideró una colección.

**INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

1. En el proceso de validación de la información geográfica de los ejemplares georreferenciados del SNIB asociados a México, como primer referencia se utilizó el mapa CONABIO[7], que cuenta con la división municipal 2010[25].
2. Si el nombre del municipio no se encontró en el mapa municipal 2010 se usaron los mapas de los municipios 2005[24], 2000[23] y 1995[4] en este orden.

3. En los ejemplares asociados a otros países sólo se validó el país y el equivalente a estado con el mapa de Enviromental Systems Research Institute (Esri)[19].
4. La validación se realizó por medio de la intersección de los sitios con los mapas antes mencionados.
5. Se identificaron los registros que concordaran con el país, estado o municipio asociado al sitio de colecta del ejemplar y el obtenido a través de la intersección con los mapas, de este modo se marcaron como válidos o no válidos.
6. Para los ejemplares en los que los sitios no fueron válidos por ubicación exacta, se asignó una tolerancia (buffer) de 2 km.
7. Para algunos sitios de colecta de ejemplares, principalmente para los sitios ubicados en el mar se realizó una validación a nivel de localidad.
8. A los sitios de los ejemplares se les incluyó información de altitud[1], vegetación primaria[18], uso de suelo y vegetación[29] y Áreas Naturales Protegidas Federales (ANP)[6], Áreas Naturales Protegidas Estatales y otros tipos de áreas naturales protegidas[8] para completar o actualizar la información asociada al ejemplar.

## RESULTADOS

Actualmente el SNIB cuenta con más de 9 millones de ejemplares de cerca de 900 bases de datos, procedentes de poco más de 1,000 proyectos apoyados por la CONABIO entre 1994 y 2014. Se desarrolló un nuevo Geoportal de consulta del SNIB utilizando tecnología Open Source de bases de datos (Postgres + PostGis) y Geoserver como visualizador de la información espacial.

## CONCLUSIONES

Este trabajo en el que participaron diferentes áreas de la CONABIO ha permitido integrar información al SNIB dando confiabilidad a la información a través de todos los procesos de validación y calidad realizados.

El desarrollo del geoportal para consulta y descarga de estos datos, será una herramienta de mucha utilidad ya que permitirá además realizar algunos análisis espaciales combinando información cartográfica como Sitios prioritarios, Áreas naturales protegidas, con los datos registros de ejemplares.

Estos registros pueden ser usados entre otras cosas para realizar modelos de distribución de las diferentes especies.

**REFERENCIAS**

1. ASTER GDEM2. 2011. Modelo Digital de Elevación Global ASTER Versión 2, escala 1:50000 (celda de 30x30 m).The Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (METI) - The National Aeronautics and Space Administration (NASA). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
2. CABI Bioscience, CBS & Landcare Research. 2013, 2014. www.indexfungorum.org
3. Clements, J. F., Schulenberg, T. S. Iliff, M. J., Roberson, D., Fredericks, T. A., Sullivan, B. L. & Wood, C. L. 2014. The eBird/Clements checklist of birds of the world: Version 6.9. http://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/
4. CONABIO. 2000. División Municipal de México, 1995. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Obtenido de Límites municipales, 1995. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
5. CONABIO. 2008. Georreferenciación de localidades de Colecciones Biológicas. Manual de Procedimientos. México. 177 págs.
6. CONANP. 2014. Cobertura de las Áreas Naturales Protegidas Federales de México de Septiembre 2014. Edición: 1. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Michoacán de Ocampo, Morelia. México.
7. CONABIO. 2014. Mapa de validación de sitios georreferenciados en México, escala 1:250000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. D.F.
8. CONABIO. 2015 Cobertura de Áreas Naturales Protegidas Estatales de México 2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. D. F.
9. CONABIO (comp.). 2014. Catálogo de autoridades taxonómicas de las algas y otros microorganismos con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO, México. D. F.
10. CONABIO (comp.). 2014. Catálogo de autoridades taxonómicas de artrópodos (Arthropoda: Animalia) con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO. México. Con información de proyectos: BE051, BE008, BK006, CP003, DE019, HS003, P021, Q004, U027, V010 y V055. México.
11. CONABIO (comp.). 2014. Catálogo de autoridades taxonómicas de los crustáceos (Crustacea: Arthropoda) con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO. México. Con información de proyecto U046. México.
12. CONABIO (comp.). 2014. Catálogo de autoridades taxonómicas de la flora con distribución en México. Bases de datos SNIB-CONABIO, México.
13. CONABIO (comp.). 2014. Catálogo de autoridades taxonómicas de los hongos (Fungi) con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO. México.

14. CONABIO (comp.). 2014. Catálogo de autoridades taxonómicas de los Invertebrados no artrópodos con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO. México. Con información de proyectos: V005, T022, EE004 y DC021. México.
15. CONABIO (comp.). 2014. Listado preliminar de los moluscos (Mollusca) con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO. México. Con información de proyectos: HC024 y DC011. México.
16. CONABIO (comp.). 2014. Catálogo de autoridades taxonómicas de los vertebrados con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO. México. Con información de proyectos: CS005 y ES010, CS003, AVESMX. México.
17. CONABIO (comp.). 2015. Catálogo electrónico de acrónimos de colecciones e instituciones. Base de datos SNIB-CONABIO. México.
18. INEGI. 2003. Vegetación Primaria, escala 1:1000000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México.
19. Esri. 2012. World Administrative Divisions, escala 1:250000. Environmental Systems Research Institute, DeLorme Publishing Company, Inc. Redlands, http://www.arcgis.com/home/item.html?id=d86e32ea12a64727b9e94d6f820123a2 California, USA.
20. Frost, D. R. 2014. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.0 Electronic Database http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html. American Museum of Natural History, New York, USA.
21. Guiry, M. D. & Guiry, G. M. 2014. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. http://www.algaebase.org
22. Ibáñez-Bernal, S. 2009. Catálogo de autoridades taxonómicas de los dípteros de México. Instituto de Ecología, A.C. Base de datos SNIB-CONABIO, proyectos CS004 y ES011. México, D.F.
23. INEGI. 2000. División Municipal de México, 2000, escala 1:250000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Obtenido de Marco Geoestadístico Municipal, 2000. México.
24. INEGI. 2006. División Municipal de México, 2005, escala 1:250000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Obtenido de Marco Geoestadístico Municipal, II Conteo de Población y Vivienda 2005. Versión 1.0. México.
25. INEGI. 2010. Áreas Geoestadísticas Municipales, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México. Marco Geoestadístico 2010 versión 5.0. México.
26. INEGI. 2012. Perspectiva estadística Veracruz de Ignacio de la Llave. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/estd_perspect/ver/Pers-ver.pdf . México.

27. International Legume Database & Information Service, 2014. http://www.ildis.org/
28. Roskov, Kunze, Paglinawan, Orrell, Nicolson, Culham, Bailly, Kirk, Bourgoin, Baillargeon, Hernandez, De Wever, (eds) 2013. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2013 Annual Checklist. www.catalogueoflife.org
29. INEGI. 2013. Conjunto de Datos Vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250,000, serie V (Conjunto Nacional), escala: 1:250,000. Edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México.
30. Solís-Marín, F. A., Frontana-Uribe, S. C., Laguarda-Figueras, A. & Durán-González, A. 2011. Catálogo de Autoridades Taxonómicas de la Colección Nacional de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Base de datos SNIB-CONABIO, GS003. México.
31. The Plant List, 2014. Version 1.1. 2014. http://www.theplantlist.org/
32. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 2014. http://www.tropicos.org
33. Uetz, P. & Jirí Hošek (eds.), The Reptile Database, http://www.reptile-database.org Consultado en 2014
34. WoRMS Editorial Board. 2014. World Register of Marine Species. http://www.marinespecies.org at VLIZ.
35. Escobar, F., Koleff, P., & Rös, M. 2007. Evaluación de capacidades para el conocimiento: El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad como un estudio de caso. México.
36. SRE. 2013. México: País Megadiverso. Dirección General de Comunicación Social. México.
37. CONABIO. 2012. Dos Décadas de Historia 1992-2012 (Vol. 1).Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
38. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# ANILLOS DE CRECIMIENTO DE ÁRBOLES PARA EL ESTUDIO DE LARGO PLAZO DE VARIABLES AMBIENTALES ESTIMADAS A PARTIR DE SENSORES REMOTOS EN CHILE Y URUGUAY

**Muñoz, Ariel [1]; Olea, Matias[1]; Ferreira, Alex[2]: Lucas, Christine[2]; Brazeiro, Alejandro[2]; Aguilera, Isabella [1]; Puchi, Paulina[1]; Toledo, Isadora[1]; Uribe, Elizabeth[1]; LeQuesne, Carlos[3]; Gonzalez Alvaro**
[1]**Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile**
[2]**Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Universidad de la República, Uruguay**
[3]**Instituto de Conservación, Biodiversidad y Territorio, Universidad Austral de Chile**

**RESUMEN**

Estimaciones de variables ambientales a partir de sensores remotos son una herramienta de primera necesidad para la evaluación del cambio global en distintas zonas geográficas. Dichas estimaciones permiten analizar la variabilidad ambiental en el espacio a distintas resoluciones dependiendo de las características del sensor. Sin embargo, en la mayoría de los casos los registros estimados no poseen una longitud temporal que favorezca evaluaciones ambientales en el mediano y largo plazo. Lo anterior es especialmente importante en Sudamérica, donde los registros ambientales instrumentales son escasos en el paisaje y poseen una corta longitud temporal. En este contexto, el uso de anillos de crecimiento de árboles ha demostrado ser una eficiente metodología para extender variables ambientales estimadas a partir de sensores remotos en otras partes del mundo.

Utilizando series temporales de NDVI y Humedad del suelo estimadas a partir de imágenes satelitales desde el año 1982 y 1978, respectivamente, evaluamos la potencialidad de los anillos de crecimiento de árboles para extender estos registros en zonas de Chile y Uruguay. Los resultados indicaron una alta capacidad de los árboles para extender series ambientales estimadas a través de satélites tanto en Chile como en Uruguay, lo cual se explica por la relación que ambas variables poseen con la variabilidad climática local. Considerando

que los árboles se pueden encontrar ampliamente distribuidos en el paisaje, este tipo de aproximaciones abre nuevas oportunidades para el estudio de la variabilidad ambiental por prolongados periodos de tiempo y en una amplia variedad de regiones geográficas en Sudamérica.

**Palabras clave**: Dendrocronología, Reconstrucciones ambientales, cambio global.

.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# FACTORES DE CONTROL DE LAS GLACIACIONES ALPINAS ACONTECIDAS ENTRE LOS 50º Y 51º S, INFERIDAS DE ANALISIS MORFOMETRICO DE CIRCOS GLACIARES

**Araos José [a b], Le Roux Jacobus [b c], Kaplan Michael [d]**
[a] Departamento de Geología, Universidad de Chile, Chile.
[b] Departamento de Geografía Universidad Alberto Hurtado, Chile (jaraos@uahurtado.cl)
[c] Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA), Chile.
[d] LDEO of Columbia University. USA.

**RESUMEN**

Se presenta el mapeo de la distribución geográfica y resultados del análisis morfométrico de 143 circos glaciales localizados entre los 50º y 51º S en el cordón montañoso de Sierra Baguales, estribación oriental de los Andes Patagónicos.

En el área de estudio se pueden distinguir dos configuraciones morfoclimáticas características, condicionadas por factores tectónicos (alzamiento andino), climáticos (Vientos del Oeste) y por la acción de la capa de hielo Pleistocena. El análisis espacial de la actividad en los circos glaciales indica la existencia de un patrón climático contrastante en la sección austral de Patagonia, y donde los circos ubicados en las secciones más elevadas de Sierra Baguales, posiblemente no fueron afectados por variaciones climáticas posteriores al Ultimo Máximo Glacial (UMG), en estos circos el proceso de deglaciacion pudo ser más bien rápido y continuo, en comparación a los glaciares efluentes del Campo de Hielo Sur (CHS).

**Palabras claves:** Clasificación morfológica, imágenes satelitales, interpolación.

## INTRODUCCIÓN

La evolución morfoclimatica de los Andes Patagónicos ha sido en gran medida influenciada por la relación entre el alzamiento tectónico, el clima y las glaciaciones (Montgomery *et al*., 2001; Ramos y Ghiglione, 2008; Kaplan *et al*., 2009). Tal relación ha sido ampliamente estudiada para las glaciaciones de tipo continental de diversas edades y extensiones (Rabassa y Coronato, 2009; Rabassa *et al*., 2011), y particularmente para el caso de los glaciares efluentes del CHS (Hulton *et al*., 1994; McCulloch *et al*., 2000; Rabassa *et al*., 2005; Sugden *et al*., 2005; Rodbell *et al*., 2009). Sin embargo, menor atención se ha prestado a las características y dinámica de las glaciaciones de tipo alpino, que se han desarrollado, evolucionado y en muchos casos desaparecido en las inmediaciones del CHS.

En el presente trabajo se analizan en detalle las características geomorfológicas y morfometricas de los circos glaciales alpinos localizados en el cordón montañoso de Sierra Baguales, estribación oriental de los Andes Patagónicos. Las características geomorfológicas de este sector representan un indicador útil para estimar los cambios climáticos acontecidos hacia el interior del continente, puesto que los glaciares más pequeños tienden a reaccionar más rápido que los glaciares continentales frente a las oscilaciones climáticas (Vieira, 2008). Por otra parte las características morfometricas de los circos pueden considerarse evidencias necesarias para estimar los factores que controlaron el desarrollo de una topografía alpina en este sector de los Andes patagónicos (Hughes *et al*., 2007; Křížek *et al*., 2012; Delmas *et al*., 2013).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El cordón montañoso de Sierra Baguales corresponde a una estribación de los Andes patagónicos localizada entre los 50º y 51º S, que alberga glaciares activos y geoformas relictas de carácter alpino, ubicado en la zona de influencia de los Vientos del Oeste (Villa-Martínez y Moreno, 2007) y topográficamente aislado del CHS. La zona de acumulación de estos circos glaciales se encuentra sobre 1.000 m y a más de 200 Km de la costa pacífica, representando un sistema aislado, idóneo para el estudio de los factores que controlaron los procesos glaciales hacia el interior del continente, y que posiblemente respondieron de forma independiente a los cambios climáticos que operaron desde el UMG.

### Fuente de datos

Los circos fueron mapeados utilizando fotografías aéreas digitales escala 1:70.000 e imágenes satelitales Landsat. Para proveer de un adecuado contexto topográfico, en aquellos casos en que se presentaron dificultades en la interpretación de las geoformas, se utilizaron mapas topográficos 1:50.000 y modelos de

elevación digital ASTERGDEM y GMTDE2010. Los rasgos geomorfológicos identificados y mapeados fueron validados en tres campañas de terreno realizadas los años 2013 y 2014.

**Técnicas**

Cada circo fue digitalizado como un polígono cerrado, con un número único que se utilizó como identificador en una base de datos espacial que contiene información referente a los siguientes atributos: Superficie (S), perímetro (P), longitud (L), ancho (W), profundidad (H), elevación máxima ($E_{max}$), elevación media ($E_{med}$), elevación mínima ($E_{min}$), exposición (A), relación longitud profundidad (L/H), relación ancho profundidad (W/H), relación longitud ancho (L/W), pendiente (M), y circularidad (C). (Křížek *et al*., 2012, 2013; Delmas *et al*., 2013) Los cálculos de los índices planímetros e hipsométricos se ejecutaron e los SIG de código abierto QuantumGIS 2.2 y GRASS 6.0.

Para cada parámetro se analizaron sus valores mínimos, medios y máximos. La correlación entre atributos dependientes (ej. largo o ancho del circo) e independientes (ej. elevación mínima) fue analizada utilizando el coeficiente de correlación de Pearson y su significancia fue evaluada mediante un test *t*, con un nivel de significancia p=0.05. Grupos morfológicos similares fueron identificados mediantes análisis clúster basado en el método de Ward y distancias euclidianas. El análisis estadístico de la información se realizó mediante el software estadístico R 3.1.3.

Se empleó la metodología de los mapas compuestos (Le Roux y Rust, 1989; Merriam y Jewett, 1989) para representar gráficamente las características de los procesos glaciales acontecidos en el área de estudio. Los datos de entrada para este mapa son estandarizados por lo que todos los atributos tienen el mismo rango de valores, por tanto la asignación de resultados numéricos es completamente objetiva (Sepulveda *et al*., 2013). El procesamiento de los datos se realizó en una planilla Excel© y los valores resultantes para cada circo fueron interpolados en el SIG QuantumGIS 2.2 utilizando el algoritmo IDW para crear el mapa compuesto.

**RESULTADOS**

Basándose en la clasificación morfológica de los circos es posible distinguir dos grupos, diferenciados por su área, parámetros de forma y elevación (Figura 1). El primer grupo incluye a aquellos circos cuyo piso presenta una elevación promedio de 1.169 m, distribuidos homogéneamente en los valles del área de estudio, y no presentan evidencia de procesos glaciales o nivales actuales. El segundo grupo comprende aquellos circos que presentan su piso a una elevación promedio de 1.273 m, concentrados las zonas más elevadas del área de estudio, usualmente muestran actividad glacial o nival actual. Considerando lo anterior, la

localización, $E_{med}$ y $E_{min}$ de los circos glaciales representan importantes factores de control en la presencia o ausencia de actividad glacial/ nival en los circos.

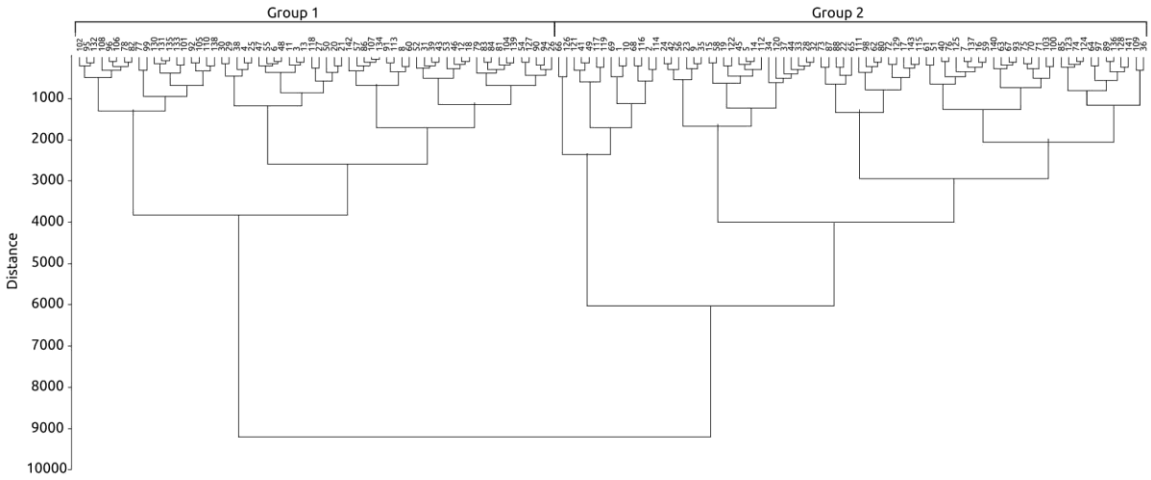



*Figura 1. La clasificación morfológica de los circos muestra dos grandes grupos. El grupo morfológico 1 se correlaciona espacialmente con circos ubicados en zonas marginales al CHS y Sierra Baguales. El grupo morfológico 2 se correlaciona espacialmente con los circos que tienen una distribución espacial homogénea.*

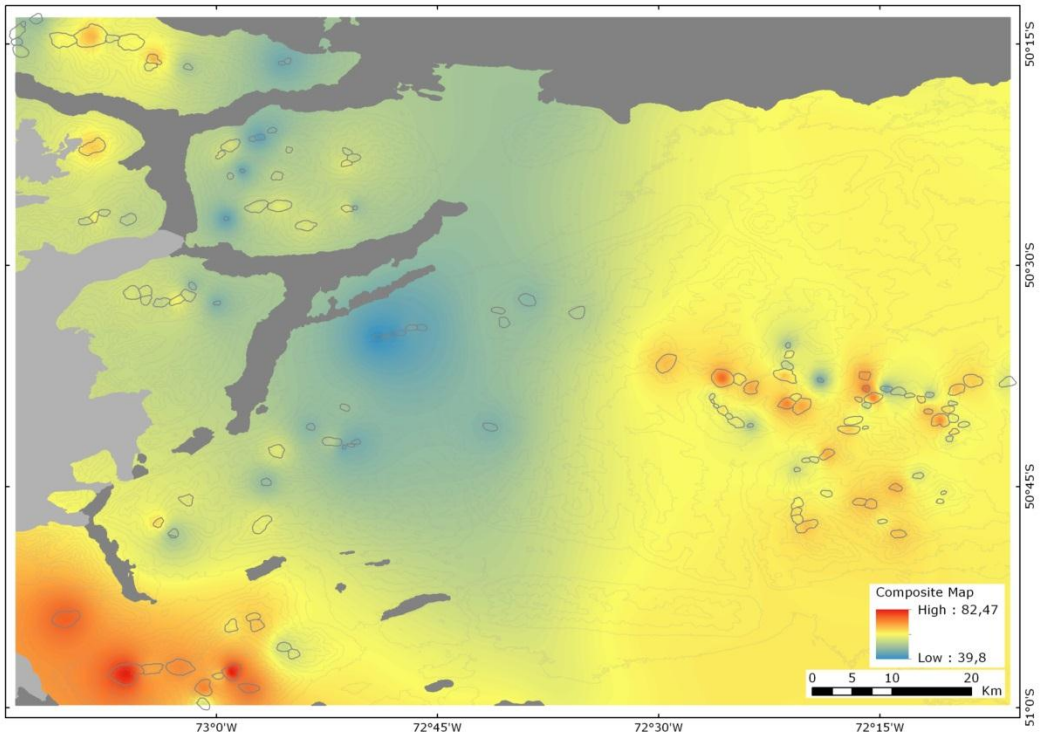



*Figura 2. Mapa compuesto.*

La distribución de la actividad de los circos se ve reflejada además en el mapa compuesto (Figura 2), donde los valores más bajos se asocian al primer grupo de circos descrito anteriormente, que además presentan un área promedio de 1.487 $Km^2$, cuadruplicando el área promedio del segundo grupo anteriormente descrito (0.361 $Km^2$). Esto se explicaría por la acción de los glaciares efluentes del CHP durante y después del UMG. La distribución de los glaciares del segundo grupo coincide con los valores más altos del mapa compuesto, representando la impronta espacial de la glaciación de tipo alpino.

## DISCUSIÓN

El sitio de estudio presenta evidencia de glaciación(es) de estilo continental asociadas a la Capa de hielo Pleistocena que ocuparon las secciones más bajas de los valles (Marden, 1997; García *et al*., 2012). Tan pronto como estos glaciares retrocedieron hacia el oeste, Sierra Baguales fue dominada por glaciaciones de estilo alpino, condicionadas por el alzamiento tectónico al este de la Cordillera principal, intensificando el efecto orográfico asociado a los Vientos del Oeste, definiendo un nuevo dominio morfoclimatico independiente de la principal capa de hielo Patagonica.

La existencia de un patrón climático contrastante en la sección austral de Patagonia (Glasser *et al*., 2008) se ve reflejada en la dinámica de los Campos de Hielo durante el UMG y posterior deglaciacion (Hulton *et al*., 2002). Los glaciares occidentales mostraron un comportamiento muy dinámico, debido a la alta precipitación y consecuente balance de masa positivo, mientras que los glaciares orientales, incluyendo los glaciares alpinos localizados en Sierra Baguales, mostraron un comportamiento más estable principalmente debido a bajas temperaturas y escases de humedad.

Las características geomorfológicas y morfometricas indican que Sierra Baguales ha evolucionado de forma independiente al CHS. Las glaciaciones de tipo alpino se relacionan fundamentalmente a la acción de los Vientos del Oeste, condicionando, para este sector en particular, una erosión glaciar mayor a lo que se ha sugerido para el área cubierta por la Capa de Hielo Pleistocena.

## CONCLUSIONES

Sierra Baguales representa un laboratorio natural único para el estudio de las evidencias que dan cuenta de las variaciones climáticas y glaciares acontecidas en la sección austral de Patagonia, así como de la evolución geomorfologica de una estribación oriental de los Andes Patagónicos caracterizada por el predominio de glaciaciónes de tipo alpino.

Tales glaciaciones se explicarían por la acción de factores tectónicos (alzamiento andino) y climáticos (Vientos del Oeste). Además, dada su particular ubicación, los glaciares alpinos de Sierra Baguales presentaron un comportamiento relativamente independiente a los cambios posteriores al UMG que sufrió la Capa de hielo Pleistocena.

## AGRADECIMIENTOS

Al programa de Becas para Doctorado Nacional de CONICYT. A los señores Juan McLean y su familia por permitirnos ingresar a las estancias "Las Cumbres" y Baguales", Juan Pablo Riquez por permitirnos ingresar a la estancia "Verdadera Argentina". Juan Carlos Aravena y Rodrigo Villa-Martinez de la Universidad de Magallanes, José Luis Oyarzun y Juan José San Martin por el importante soporte logístico. Ricardo Arce, Mauricio Gonzales y Néstor Gutiérrez quienes prestaron invaluable ayuda en las actividades de terreno.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Delmas, M. Gunnell, Y. Calvet, M. 2013. Environmental controls on alpine cirque size. **Geomorphology**. 206, 318–329.
2. García, J. Kaplan, M. Hall, B. Schaefer, J. Vega, R. Schwartz, R. Finkel, R. 2012. Glacier expansion in southern Patagonia throughout the Antarctic Cold Reversal. **Geology**. 40 (9), 859–862.
3. Glasser, N. Jansson, K. Harrison, S. Kleman, J. 2008. The glacial geomorphology and Pleistocene history of South America between 38°S and 56°S. **Quaternary Science Reviews**. 27 (3–4), 365–390.
4. Hughes, P.,Gibbard, P. Woodward, J. 2007. Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. **Geomorphology**. 88 (3–4), 242–253.
5. Hulton, N. Sugden, D. Payne, A. Clapperton, C. 1994. Glacier modeling and the climate of Patagonia during the Last Glacial Maximum. **Quaternary Research**. 42 (1), 1–19.
6. Kaplan, M. Hein, A. Hubbard, A. Lax, S. 2009. Can glacial erosion limit the extent of glaciation?. **Geomorphology**. 103, 172–179.
7. Křížek, M. Milda, P. 2013. The influence of aspect and altitude on the size, shape and spatial distribution of glacial cirques in the High Tatras (Slovakia, Poland). **Geomorphology**. 198, 57–68.
8. Křížek, M Vočadlová, K. Engel, Z. 2012. Cirque overdeepening and their relationship to morphometry. **Geomorphology**. 139–140, 495–505.
9. Le Roux, J. Rust, I. 1989. Composite facies map: a new aid to palaeo-environmental recosntruction. **South Africa Journal of Geology**. 92, 436–443.
10. Marden, C. 1997. Late-glacial fluctuations of South Patagonian Icefield, Torres del Paine National Park, southern Chile. **Quaternary International**. 38–39, 61–68.

11. McCulloch, R. Bentley, M. Purves, R. Hulton, N. Sugden, D. Clapperton, C. 2000. Climatic inferences from glacial and palaeoecological evidence at the last glacial termination, southern South America. **Journal of Quaternary Science**. 15 (4), 409–417.
12. Merriam, D Jewett, D. 1989. Methods of thematic map comparison. In: **Current Trends in Geomathics**. Plenun press, New York. 9–18.
13. Montgomery, D. Balco, G. Willett, S. 2001. Climate, tectonics, and the morphology of the Andes. **Geology**. 29 (7), 579–582.
14. Rabassa, J. Coronato, A. Salemme, M. 2005. Chronology of the Late Cenozoic Patagonian glaciations and their correlation with biostratigraphic units of the Pampean region (Argentina). **Journal of South American Earth Sciences**. 20 (1–2), 81–103.
15. Rabassa, J. Coronato, A. 2009. Glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego during the Ensenadan Stage/Age (Early Pleistocene–earliest Middle Pleistocene). **Quaternary International**. 210 (1–2), 18–36.
16. Rabassa, J. Coronato, A. Martínez, O. 2011. Late Cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego: an updated review. **Biological Journal of the Linnean Society**. 103 (25), 316–335.
17. Ramos, V. Ghiglione, M. 2008. Tectonic evolution of the Patagonian Andes. In: **The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego**. Elsevier, Amsterdam. 57–71.
18. Rodbell, D. Smith, J. Mark, B. 2009. Glaciation in the Andes during the Lateglacial and Holocene. **Quaternary Science Reviews**. 28 (21–22), 2165–2212.
19. Sepulveda, S. Le Roux, J. Palma, G. 2013. Application of the composite maps method for landslide susceptibility assessment and its potential use for other natural risk analyses. **Investigaciones Geograficas**. 46, 47–56.
20. Sudgen, D. Bentley, M. Fogwill, C. Hulton, N. McCulloch, R. Purves, R. 2005. Late-glacial glacier events in southernmost south America: A blend of “northern” and “southern” hemispheric climatic signals?. **Geografiska Annaler**. A 87 (2), 273–288.
21. Vieira, G. 2008. Combined numerical and geomorphological reconstruction of the Serra da Estrela plateau icefield, Portugal. **Geomorphology**. 97 (1-2), 190–207.
22. Villa-Martinez, R. Moreno. P. 2007. Pollen evidence for variations in the southern margin of the westerly winds in SW Patagonia over the last 12600 years. **Quaternary Research**. 68, 400–409.




# EJE 3

## Salud y Seguridad Alimentaria

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# ANÁLISIS ESPACIAL EN GEOGRAFÍA DE LA SALUD. RESOLUCIONES CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

**Buzai, Gustavo D.**[a]
**Universidad Nacional de Luján / CONICET**
**Instituto de Investigaciones Geográficas**
[a]**(buzai@uolsinectis.com.ar - http://www.gesig-proeg.com.ar)**

**RESUMEN**

El presente trabajo detalla una selección de los principales temas teórico-metodológicos incorporados en el libro *Análisis Espacial en Geografía de la Salud*, editado por Lugar Editorial, Buenos Aires, 2015. Su contenido hace mención a temas como las desigualdades sociales en salud, mapas sociales urbanos y mapas de la distribución espacial de enfermedades. Las metodologías presentadas se dividen en aquellas destinadas a estudiar la situación espacial de la salud poblacional y las orientadas hacia los servicios de atención médica.

Aquí se hacen breves menciones al análisis exploratorio de datos espaciales, autocorrelación espacial, análisis multivariado, centrografía, evaluación multicriterio y métodos de localización-asignación. Se presenta la pauta sintética de los desarrollos completos publicados.

**Palabras claves:** Geografía de la Salud, Geografía Médica, Geografía de los servicios sanitatios, Análisis Espacial, Sistemas de Información Geográfica.

## INTRODUCCIÓN

Esta presentación tiene como objetivo realizar un recorrido por los principales contenidos que brindan un hilo conductor técnico-metodológico al libro *Análisis Espacial en Geografía de la Salud* (2015) el cual surge como sistematización de las investigaciones realizadas en el GESIG-PRODISIG de la Universidad Nacional de Luján.

Aspectos teóricos iniciales son desarrollados al estudiar la dimensión espacial de las desigualdades sociales en salud con un recorrido histórico desde las primeras reflexiones hasta la actualidad. Posteriormente se presentan aspectos conceptuales y aplicaciones metodológicas específicas.

Los aspectos centrales de las diferentes investigaciones realizadas incluyen la construcción modelística de mapas sociales urbanos, la distribución espacial de enfermedades y características sociales, el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales, el Análisis Multivariado de la estructura espacial, la regionalización en base a los diagnósticos de enfermedades, el análisis de datos puntuales, el análisis espacial de los centros de atención primaria de salud, la búsqueda de sitios candidatos para la localización de centros de atención, el análisis de áreas de influencia y diferentes cálculos de accesibilidad espacial.

En los puntos siguientes serán presentados sintéticamente estas posibilidades de abordajes en el ámbito del análisis espacial de la salud.

## CONTENIDOS CONCEPTUALES

### La dimensión espacial de las desigualdades sociales en salud

La Geografía se caracteriza por ser una ciencia de gran amplitud. Una amplitud brindada en su definición en tanto rama del conocimiento que trata de la descripción de la Tierra. Sintéticamente libro publicado menciona los grandes *hitos* que han hecho al desarrollo de la ciencia geográfica y a la evolución de los estudios de la dimensión espacial del análisis de la salud en general.

Se realiza un recorrido histórico en el cual se sientan las bases conceptuales de la obra a partir hechos centrales en el análisis espacial de la salud. Presenta un camino histórico desde el siglo VI AC en la Grecia clásica hasta la Geografía como ciencia humana en el cual se demuestra que la relación de la salud humana con su medio siempre fue considerada.

La temática correspondiente a las desigualdades sociales en salud se encuentra crecientemente incorporada en estudios empíricos y debates teóricos en el campo de la Epidemiología. De todas formas, cabe aclarar, que este abordaje no es nuevo, sino que es parte de la tradición de la Epidemiología estudiar la distribución desigual de los eventos adversos y encontrar su explicación. Aunque las definiciones generales revelan que el concepto de distribución se utiliza con gran amplitud y desde la Geografía lo focalizamos principalmente desde un punto de vista espacial.

Considerando un concepto ampliado de salud, se intentan reconocer los problemas y necesidades de grupos poblacionales, para esto se destaca la importancia en la participación de la población y la utilidad de los mapas en escalas detalladas, como elementos para el logro de los objetivos. Agudizar la mirada sobre el mapa puede ser considerado entonces una de las acciones fundamentales para promover la equidad en materia de salud.

### Mapa Social y Mapas de Enfermedades

Los *mapas sociales urbanos* y los *mapas de enfermedades*, como representación cartográfica de la distribución socioespacial de la población y sus enfermedades, pueden ser realizados a través de la aplicación de diferentes métodos relacionados al objetivo de la investigación. Entre estos métodos se encuentra principalmente el cálculo de puntajes de clasificación espacial (PCE) y valor índice medio (VIM), que pueden ser acompañados mediante el análisis *linkage*, análisis *cluster* y análisis factorial.

La obtención de PCE y VIM corresponden a los métodos multivariados simples y claros hacia el logro de un valor de nivel socioespacial para cada una de las unidades espaciales del área de estudio. El análisis *linkage* y el análisis *cluster* se utilizan para agrupuar variables (macrovariables) y unidades espaciales (regionalización). El análisis factorial intentará descubrir los factores subyacentes que expliquen las distribuciones socioespaciales. En síntesis, se estudia el mapa social, la distribución espacial de las enfermedades y las relaciones entre ambas.

## METODOLOGÍAS APLICADAS AL ANÁLISIS ESPACIAL DE LA SALUD

### Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA)

La variedad de técnicas posibles se encuentran bien desarrolladas en muchos libros generales, tanto desde un punto de vista estadístico como geográfico. La aplicación inicial del ESDA tiene por objetivo que el investigador cuente con información estructural del comportamiento de cada variable (univariado), como así

también de las relaciones existentes entre dos (bivariado) y tres variables (trivariado). Aplicación que además de este comportamiento estructural permite descubrir errores en la codificación de los datos, determinar los casos anómalos (*outliers*) y la posibilidad de comprobar supuestos necesarios para la aplicación de la mayoría de los *test* estadísticos.

El nivel univaridado (1D) se basa en la cartografía temática y gráficos específicos. El nivel bivariado (2D) y trivariado (3D) se basa en procedimientos comparativos del comportamiento de variables, técnica que se apoya en los denominados *diagramas de dispersión* con dos y tres ejes de coordenadas respectivamente, a partir de los cuales las nubes de puntos formadas por las mediciones individuales muestran una aproximación al tipo, tendencia e intensidad de la relación.

Las posibilidades tecnológicas actuales del análisis exploratorio de datos como técnicas de uso interactivo –gráficos intermedios entre las bases de datos alfanuméricas y la cartografía digital- amplían las capacidades del análisis espacial de manera notable, principalmente al incorporar una dimensionalidad espacial de gran potencialidad.

**Autocorrelación espacial**

Si bien una importante ley de la Geografía (*ley de Tobler*) afirma que todo está relacionado con todo, pero las cosas más cercanas se encuentran más relacionadas entre sí que con las más lejanas, en la actualidad esta situación debería medirse para cada caso particular, ya que los aspectos humanos se apartan de esta ley con mayor facilidad que los aspectos físico-naturales.

El concepto de *autocorrelación espacial* permite medir esta característica de la realidad territorial. No se refiere a medir el grado de correlación entre dos o más variables en un mismo espacio, sino la correlación de una única variable a través de diferentes unidades espaciales, es decir, su comportamiento horizontal.

La medición de la autocorrelación espacial intenta verificar que la distribución espacial obtenida a partir de los valores de una variable no sean producidas de manera aleatoria y así se comprueba en los datos de salud, en los cuales la contigüidad espacial tiene gran importancia.

**Análisis multivariado**

El análisis multivariado corresponde al tratamiento conjunto de tres o más variables. En Geografía normalmente se utilizan los métodos ya mencionados, en todos los casos con el objetivo de reducir la

cantidad de variables hacia una menor dimensionalidad que permita explicar la realidad de manera más simple.

El PCE y el VIM son utilizados para clasificar espacios mediante la combinación de datos directos de la variable, el análisis linkage y cluster se realiza a partir de obtener la matriz de correlaciones. Si esta matriz es de variables se generarán maco-variables y si es de unidades espaciales servirá como proceso de regionalización. El análisis factorial intenta descubrir los factores subyacentes a las distribuciones espaciales.

En Geografía de la Salud estos procedimientos se realizan principalmente con datos socioeconómicos para obtener el mapa social, a través de datos de enfermedades para analizar la distribución espacial de la salud y para combinar los resultados en busca de generar hipótesis basadas en la causalidad.

### Centrografía

Existen formas específicas de medir la centralidad y dispersión de una distribución de datos puntuales. Estas mediciones brindan resultados únicos que describen y sintetizan las características fundamentales de los emplazamientos, por lo cual sus combinaciones proporcionan un panorama claro de las distribuciones y evoluciones espaciales a través del mapeo de resultdos.

Los cálculos generalmente realizados son el Centro medio (simple o ponderado), Centro mediano, Desvío estándar en x-y, Desvío estándar de las distancias, y Elipse de dispersión. Son aplicados cuando los datos de enfermedades son de naturaleza puntual o cuando se analiza la distribución de los centros de atención médica.

## METODOLOGÍAS APLICADAS AL ANÁLISIS DE LOS CENTROS DE SALUD

### Sitios candidatos mediante la aplicación de evaluación multicriterio

La evaluación multicriterio (EMC) es uno de los procedimientos de mayor importancia cuando la tecnología SIG se utiliza como herramienta para la toma de decisiones locacionales. Existen trabajos orientados a la presentación de sus diferentes aptitudes.

La flexibilidad presentada en la búsqueda de diferentes resultados es un claro ejemplo de una ciencia que apunta a encontrar soluciones estratégicas en las cuales son tenidos en cuenta aspectos cuantitativos (modelado cartográfico y ponderaciones) y cualitativos (decisión en la selección de variables y categorías).

En el análisis espacial de la salud, la EMC tiene como objetivo responde cuales son los sitios que cumplen con las mejores condiciones para localizar un centro de atención sanitaria, los cuales se presentan como sitios candidatos para la localización.

**Modelos de localización-asignación**

El primer aspecto a tener en cuenta en los modelos de localización-asignación para servicios públicos es el surgimiento de la necesidad de dar solución al problema que consiste en elegir la localización de una cierta cantidad de instalaciones de servicios (S) entre múltiples puntos de demanda (D), siendo S < D.

De esta manera el objetivo de dichos modelos consiste en determinar las mejores ubicaciones de estos centros para lograr la más eficiente y equitativa asignación de la demanda a cada uno de ellos.

Específicamente la localización de servicios de Atención Primaria de Salud (APS), lleva a considerar principios específicos que difieren en parte de la localización de actividades comerciales principalmente guiados por la búsqueda de una maximización económica.

Un análisis locacional de los servicios públicos busca estudiar la localización y distribución de los mismos evaluando si la prestación es equitativa permitiendo mejorar así la calidad de vida de la población. Es decir, se busca realizar no solamente un diagnóstico de la situación espacial en la prestación del servicio por parte del Estado sino también ayudar a determinar, en el futuro, las localizaciones óptimas de los servicios para alcanzar conjuntamente la eficiencia y la equidad espacial.

## CONSIDERACIONES FINALES

La Geografía de la Salud es una rama que permite la realización de estudios geográficos altamente valorados desde un punto de vista social. Su definición de componentes permiten la aplicación de métodos de análisis claramente definidos. Algunos utilizados para estudiar la distribución espacial de características sociales y enfermedades –Geografía Médica-, y otros aplicados para el análisis espacial de los centros de atención -Geografía de los Servicios-. Todos ellos en conjunto brindan la posibilidad de realizar un diagnóstico completo del sistema espacial del área de estudio.

El presente trabajo, tomando como base el libro *Análisis Espacial en Geografía de la Salud* (2015) presentó una serie de posibilidades, que con base geográfica, hoy se encuentran disponibles para los estudiosos de la temática mostrando las altas capacidades de la Geografía como ciencia aplicada.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA BÁSICA


1. Barcellos, Ch. 2003. Unidades y escalas en los análisis espaciales en salud. **Revista Cubana de Salud Pública**. 29(4):307-313.
2. Barcellos, Ch. 2007. Detección de conglomerados espaciales de casos: la Geografía frente a una nube de puntos. En: Buzai, G.D. (Ed.) **Métodos Cuantitativos en Geografía de la Salud**. Proeg-2. Universidad Nacional de Luján. Luján. pp. 19-25.
3. Barcellos, Ch.; Buzai, G.D. 2006. La dimensión espacial de las desigualdades sociales en salud: aspectos de su evolución conceptual y metodológica. **Anuario de la División Geografía 2005-2006**. Universidad Nacional de Luján. Luján. pp. 275-292.
4. Barredo Cano, J.I. 1994. **Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**. Ra-ma. Madrid.
5. Bosque Sendra, J. 1994. Análisis exploratorio de datos. En: Bosque Sendra, J.; Moreno Jiménez, A. **Análisis exploratorio y multivariante de datos**. Oikos-tau. Barcelona.
6. Bosque Sendra, J.; Moreno Jiménez, A. 1994. **Análisis exploratorio y multivariante de datos**. Oikos-tau. Barcelona.
7. Buzai, G.D. (comp.) 2007a. **Métodos cuantitativos en Geografía de la Salud**. Programa de Estudios Geográficos. Universidad Nacional de Luján. Luján.
8. Buzai, G.D. 2007b. Geografía de la Salud en la ciudad de Luján (Argentina). **Colección Cuadernos de Trabajo** 24. Universidad Nacional de Luján. Luján.
9. Buzai, G.D. 2009. Sistemas de Información Geográfica en Geografía de la Salud. En: Pickenhayn, J.A. (comp.) **Salud y enfermedad en Geografía**. Lugar Editorial. Buenos Aires. pp. 111-134.
10. Buzai, G.D. 2014a. **Mapas Sociales Urbanos**. Lugar Editorial. Buenos Aires.
11. Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2011. **Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Perspectiva científica – Temáticas de base raster**. Tomo 2. Lugar Editorial. Buenos Aires.
12. Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2012. **Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Ordenamiento Territorial – Temáticas de base vectorial**. Tomo 2. Lugar Editorial. Buenos Aires.
13. Cruz, M.R. 2012. **Geografía de la Salud en el medio urbano. Diagnóstico socioespacial y morbilidad asistida en la ciudad de Luján (Argentina)**. Editorial Académica Española. Saarbrücken.
14. Curto, S.I. 2003. Mapas en Geografía Médica. **Cuaderno Prudentino de Geografía**. 25:111-129.
15. Fuenzalida, M. 2012. Localización óptima de centros de salud basados en la necesidad social, mediante el modelo de cobertura máxima. En: Moreno Jiménez, A.; Buzai, G.D.; Fuenzalida, M. (eds) Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales. Ra-Ma. Madrid. pp. 265-280.

16. Fuenzalida, M.; Miranda, M.; Cobs, V. 2013. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales aplicado a MP10 y admisión hospitalaria. Evidencia para áreas urbanas chilenas contaminadas por humo de leña. Geografía y Sistemas de Información Geográfica. 5(5):109-128.
17. García de León, A. 1989. La metodología del Valor Índice Medio. Boletín del Instituto de Geografía. 9:69-87.
18. Garrocho, C. 1995. **Análisis Socioespacial de los Servicios de Salud**. El Colegio Mexiquense. Zinacantepec.
19. Gómez Delgado, M.; Barredo Cano, J.I. 2006. **Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**. Alfaomega-Rama. México (Segunda Edición de Barredo, 1996).
20. Hasenack, H. 1995. O geoprocessamento no processo de tomada de decisao. **Boletim Gaucho de Geografía**. 20:114-115.
21. Hasenack, H.; Weber, E. 1998. Geoprocesamiento como herramienta de evaluación. En: Matteucci, S.D.; Buzai, G.D. (eds.) **Sistemas Ambientales Complejos: herramientas de Análisis Espacial**. EUDEBA. Buenos Aires. pp. 425-434.
22. Loyola Elizondo, E.; Castillo Salgado, C.; Nájera Aguilar, P.; Vidaurre Arenas, M.; Mujica, O.J.; Martínez Piedra, R. 2002. Los Sistemas de Información Geográfica como herramienta para monitorear las desigualdades de salud. **Revista Panamericana de Salud Pública**. 12(6):415-428.
23. Moreno Jiménez, A. 2004. Modelos de localización óptima de instalaciones y equipamientos. En: Bosque Sendra, J.; Moreno Jiménez, A. (eds.) **Sistemas de Información Geográfica y localización optima de equipamientos**. Ra-ma. Madrid. 123-151.
24. Olivera, A. 1993. **Geografía de la Salud**. Síntesis. Madrid.
25. Pickenhayn, J.A. 2009. Marco teórico y campo operativo en Geografía de la Salud. En: Pickenhayn, J.A. (comp.) **Salud y enfermedad en Geografía**. Lugar Editorial. Buenos Aires. pp. 11-34.
26. Pickenhayn, J.A. 2014. Epistemología de la Geografía de la Salud: retos y convergencias. En: M.V.Santana Juárez y M.G.Galindo Mendoza (eds) **Geografía de la Salud sin fronteras, desde Iberoamérica**. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. pp. 9-21.
27. Pickenhayn, J.A.; Curto, S.I. 2005. La Geografía de la Salud en Argentina. **Revista Geográfica**. IPGH. México.
28. Ramírez, M.L. 2005. La moderna Geografía de la Salud y las tecnologías de la información geográfica. **Investigaciones y ensayos geográficos**. IV(4):53-64.
29. Ramírez, M.L. 2006. **Geografía de la Salud del Chaco**. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia.

30. Ramírez, M.L. 2009. **Planificación Territorial Sanitaria y Sistemas de Información Geográfica**. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia.
31. Ramírez, L. y Bosque Sendra, J. 2001. Localización de hospitales: analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial. **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**. 21:53-79.
32. Santana Juárez, M.V.; Galindo Mendoza, M.G. (eds) 2014. **Geografía de la Salud sin fronteras, desde Iberoamérica**. Universidad Autónoma del Estado de México – Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Toluca.
33. Santana Juárez, M.V., Rosales, E., Manzano, L., Santana, G.; Pineda, N. 2013, Las Geotecnologías en la construcción de ciudades saludables: Zona Metropolitana de Toluca, México. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica**. 5:64–95.
34. Santos, S.M.; Barcellos, Ch. (orgs.) 2006. **Abordagens espaciais na Saúde Pública**. Serie: Capacitacao e atualizacao em geoprocessamento em saúde, N° 1. Ministerio da Saúde. Brasilia.
35. Santos, S.M.; Souza Santos, R. (orgs.) 2007. **Sistemas de Informacoes Geográficas e análise espacial na saúde pública**. Serie: Capacitacao e atualizacao em geoprocessamento em saúde, N° 2. Ministerio da Saúde. Brasilia.
36. Santos, S.M.; Souza, W.V. (orgs.) 2007. **Introducao a estatistica espacial para saúde pública**. Serie: Capacitacao e atualizacao em geoprocessamento em saúde, N° 3. Ministerio da Saúde. Brasilia.
37. Seguinot Barbosa, J. 2014. Aplicación de las geo-tecnologías en la Geografía de la Salud. En: M.V.Santana Juárez y M.G.Galindo Mendoza (eds) **Geografía de la Salud sin fronteras, desde Iberoamérica**. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. pp. 98-108.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# OBSERVATORIO GEOGRÁFICO DE SALUD Y RIESGOS EN MÉXICO: MORBILIDAD

**Santana Juárez, Marcela Virginia[a]; Santana Castañeda, Giovanna; Pineda Jaimes, Noel Bonfilio; Rosales Estrada, Elsa Mireya**
**Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía**
**[a](mvsantana7@hotmail.com)**

## FUNDAMENTO

El observatorio geográfico es un proyecto aprobado por el CONACYT, cuyo problema nacional que se pretende atender es: salud y enfermedades importantes de la sociedad mexicana. Inició en septiembre de 2014 y tendrá una duración de dos años, en el trabajan 11 profesores investigadores y 12 becarios.

## OBJETIVO

Implementar en la web un observatorio geográfico de salud y riesgos en México, a partir del análisis de patrones de distribución de indicadores de salud: morbi-mortalidad e infraestructura en salud; factores geográficos y socioeconómicos, riesgos a la salud, con el propósito de proponer estrategias y políticas públicas saludables focalizadas enfocadas a la promoción de la salud.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se empleará una metodología holística, integral, cuantitativa, se aplicará el método de regresión geográficamente ponderada para la obtención de indicadores a nivel de municipio de México. Que permitirá obtener información que será procesada estadísticamente por cada rubro.

*Escalas de análisis*: la consulta podrá ser a diferentes escalas: regional, estatal, jurisdicción de regulación sanitaria, zona metropolitana y a nivel municipal, en algunos casos a otros niveles para el clima, temperaturas, precipitación, huracanes y altitud entre otros.

*Fuentes de información* oficiales del: INEGI, SEDESOL, CONAPO, SINAIS, CENAPRED, CLICOM, Anuarios Estadísticos Estatales, Atlas nacional de México, Atlas estatales sobre riesgos, atlas municipales, planes nacionales, estatales.

Lo anterior permitirá determinar las fortalezas y las debilidades más relevantes que tiene cada municipio en materia de salud para la propuesta de estrategias que conlleve a la toma de decisiones orientadas a la transformación para municipios saludables.

En este trabajo se presentan los resultados de la distribución de la morbilidad en México.

**Palabras clave**: Observatorio geográfico, salud, morbilidad.

.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EVALUAR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PLAGUICIDAS EN 12 CENTROS EDUCATIVOS EN EL CANTÓN DE MATINA, COSTA RICA

**Córdoba Gamboa, Leonel[a]; van Wendel de Joode, Berna[b]; Ruepert, Clemens[c]; Solano Díaz, Karla[d]; Rojas Garbanzo, Marianela[e]**
**Universidad Nacional, Costa Rica**
**[a](leonel.cordoba.gamboa@una.cr)**
**[b](berendina.vanwendel.dejoode@una.cr)**
**[c](cruepert@gmail.com)**
**[d](karla.solano.diaz@una.cr)**
**[e](marianela.rojas.garbanzo@una.cr)**

**RESUMEN**

Varios centros educativos del cantón de Matina están cerca de plantaciones de banano donde se utilizan muchos plaguicidas. Esta investigación pretende determinar, mediante SIG, si el aire de estos centros educativos se encuentra contaminado por plaguicidas. Se seleccionó 10 centros educativos que estuvieran a menos de 100 metros (inmersos) y 2 que estuvieran a más de 1,5 kilómetros (no inmersos) de una plantación bananera. Desde junio de 2010 hasta diciembre de 2011 se tomó muestras de aire (n=52). Se detectó 10 plaguicidas. El clorpirifos, se detectó en 98% de las muestras (n=51), las concentraciones fueron mayores en los centros educativos inmersos, que los no inmersos. El etoprofos se detectó en 34 muestras en los inmersos y en 6 de los no inmersos.

Se concluye que el aire de los centros educativos está contaminado con plaguicidas y constituyen un riesgo potencial a la salud de los niños de estos centros.

**Palabras claves:** SIG, plaguicidas, clorpirifos, centros educativos, aire.

## INTRODUCCIÓN

El cantón de Matina se destaca como el área de mayor cantidad de cultivo de banano de Costa Rica, con 9873 ha, lo que representa el 23,6% del cultivo de banano del país (CORBANA, 2013), el cual cultivo depende del uso continuo de plaguicidas. En 2006 se reportaron 27 i.a. de plaguicidas, con un uso total de 49,3 kilogramos i.a. por hectárea, por año, en alrededor de 41 mil hectáreas de cultivo de banano en el país. Este uso intensivo ha generado una preocupación creciente por los efectos que se pueda tener en la salud de las personas que viven alrededor de plantaciones bananeras (Barraza *et al.*, 2011; 2013), especialmente los niños.

El cultivo de banano, igual que otros de exportación, frecuentemente se encuentra cercano a zonas residenciales y a centros educativos. Las escuelas representan un lugar de educación y de encuentro social para los niños. Durante el período escolar, que se extiende por 9 meses al año, ellos están 25 o más horas semanales en las escuelas. Parte de los agroquímicos usados en el cultivo de banano se aplican durante el horario escolar. Otros, como las fumigaciones aéreas, generalmente se realizan en la madrugada o al final del día. Sin embargo, aparte de una deriva inmediata al momento de la aplicación, las sustancias también permanecen en el medio ambiente, contaminando de manera potencial, el ambiente escolar. La cercanía de las escuelas con las plantaciones hace que estos lugares sean, además de sitios de aprendizaje, espacios de posibles exposiciones a plaguicidas, principalmente por vía aérea. El aire es considerado como una de las mayores amenazas ambientales para la salud de los niños, al ser un factor de riesgo para enfermedades respiratorias a corto y largo plazos (OMS, 2004a).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Matina es el cantón número cinco de la provincia de Limón, de Costa Rica, tiene una extensión de 772,64 $km^2$, y una población de 37735 habitantes (INEC, 2011). Limita al noroeste con el cantón de Siquirres, al sureste con el cantón de Limón, al sur con el cantón de Turrialba y al norte con el mar Caribe. Su división administrativa consta de tres distritos: Matina, Bataan y Carrandí (Figura 1).

El uso del suelo, en su mayoría es agropecuario; existen varias hectáreas dedicadas a cultivos de arroz, palma africana y plátano; un área importante es de bosque, donde se encuentran algunas comunidades indígenas, y también hay una zona significativa de pastos y terrenos en preparación; normalmente se utilizan en algunos momentos como cultivos de banano (Cuadro 1 y Figura 2).

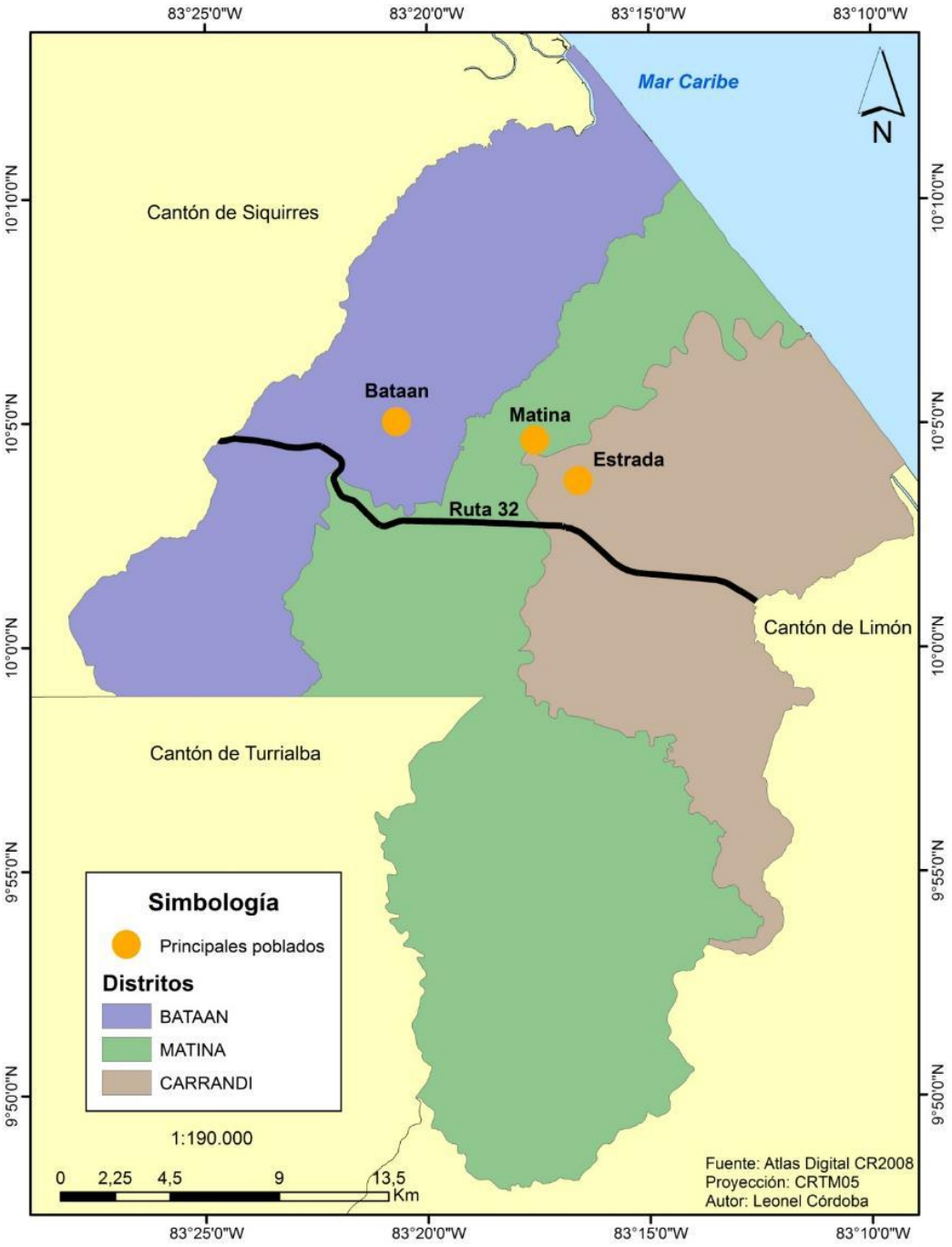



*Figura 1. Mapa de la división político administrativa del cantón de Matina.*
*Fuente: Atlas digital ITCR2008.*

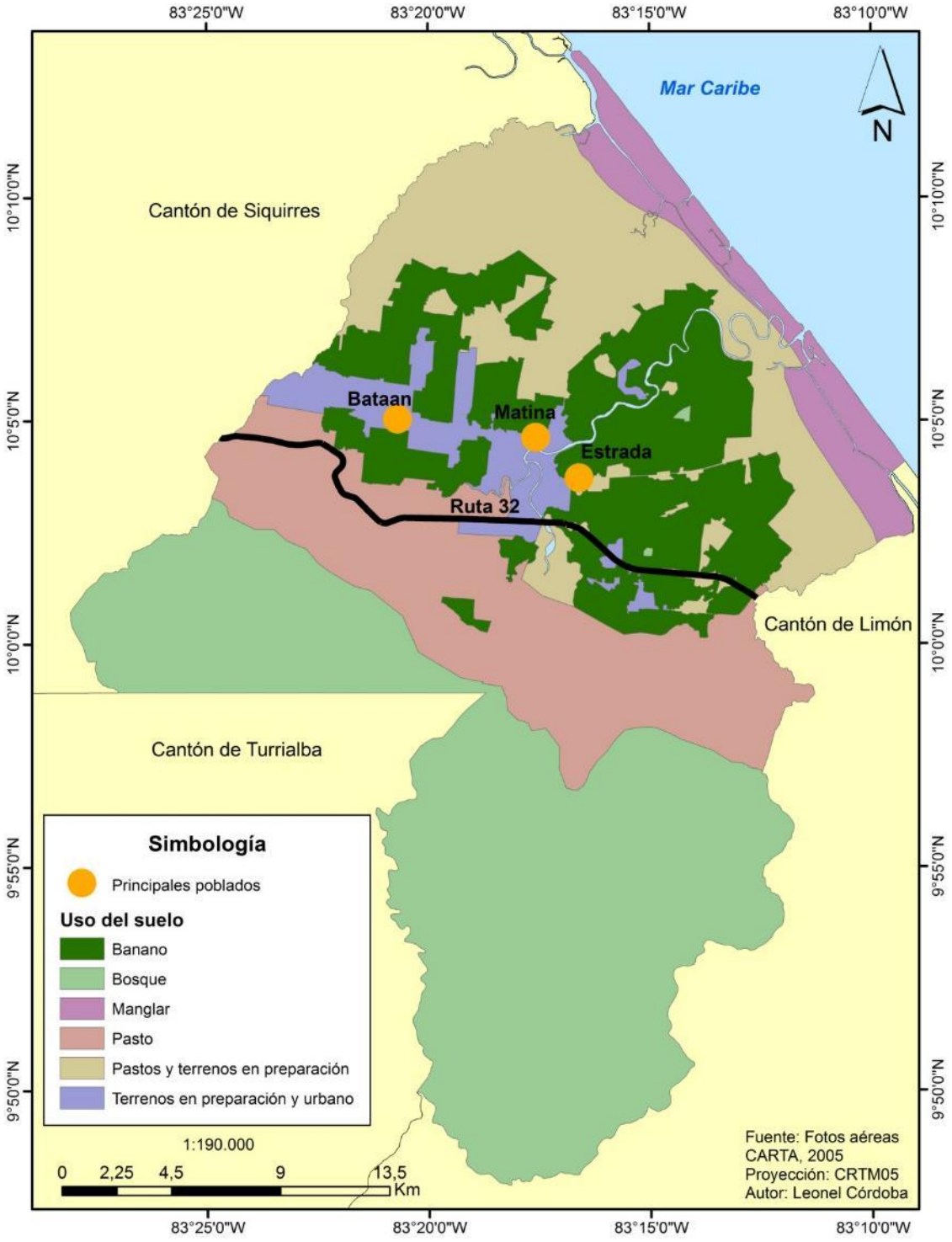



*Figura 2. Mapa de uso del suelo en 2005, del cantón de Matina.*
*Fuente: Trabajo de campo y fotos aéreas Proyecto CARTA, 2005.*

*Cuadro 1. Uso del suelo del cantón de Matina, 2005.*
*Fuente: interpretación fotos aéreas proyecto CARTA 2005.*

| Uso del suelo | Hectáreas | % |
|---|---|---|
| Banano | 13686 | 17,6 |
| Bosque | 30075 | 38,7 |
| Pastos y terrenos en preparación | 13464 | 17,3 |
| Pasto | 12749 | 16,4 |
| Manglar | 3947 | 5,1 |
| Terrenos en preparación y urbano | 3419 | 4,4 |
| Arroz | 347 | 0,4 |
| Total | 77687 | 100 |

El área destinada al cultivo de banano ronda las 13600 hectáreas del cantón, por lo que es el cantón con la mayor cantidad de banano (CORBANA, 2013); además, Matina es uno de los cantones con menor índice de desarrollo humano del país (0,59 en el 2011, PNUD). Esta investigación se llevó a cabo en 12 centros educativos, escuelas primarias, del cantón de Matina, elegidos por su ubicación respecto a las plantaciones bananeras. Para determinar la distancia entre las escuelas y las fincas bananeras, se utilizó un SIG, mediante el cálculo de una distancia euclidiana, desde el punto donde se colocó el muestreador de aire pasivo dentro de la escuela, hasta el punto más próximo que representa el límite de los cultivos de banano.

Para el cálculo de la distancia se emplearon las fotografías aéreas del Proyecto CARTA 2005, corroborando alguna información de las escuelas, mediante visitas a los centros educativos; además se obtuvo datos de la zona a través de imágenes de satélite del programa Google EARTH Pro, tomadas entre 2013 y 2014, y se toma en consideración estos dos años, por la información disponible en 2010. Cada uno de estos puntos de muestreo en los centros educativos (Figura 3) fue marcado con un punto GPS.

Para el muestreo ambiental se seleccionó, primeramente, 10 centros educativos que estuvieran a menos de 100 metros de alguna plantación bananera, y que se denominarán centros educativos inmersos. Además, se eligió dos localidades que estuvieran a más de 1,5 kilómetros de una plantación bananera y sirvieran de referencia para el análisis de las muestras, y que se denominarán no inmersos; en una de estas comunidades se trabajó en el centro de educación (Goshen), y en la otra se utilizó las afueras del Centro de Educación y Nutrición (CEN) (Corina). En total, en los 12 sitios de muestreo se realizó 48 mediciones de aire pasivo: 6 en los no inmersos y 42 en los inmersos.

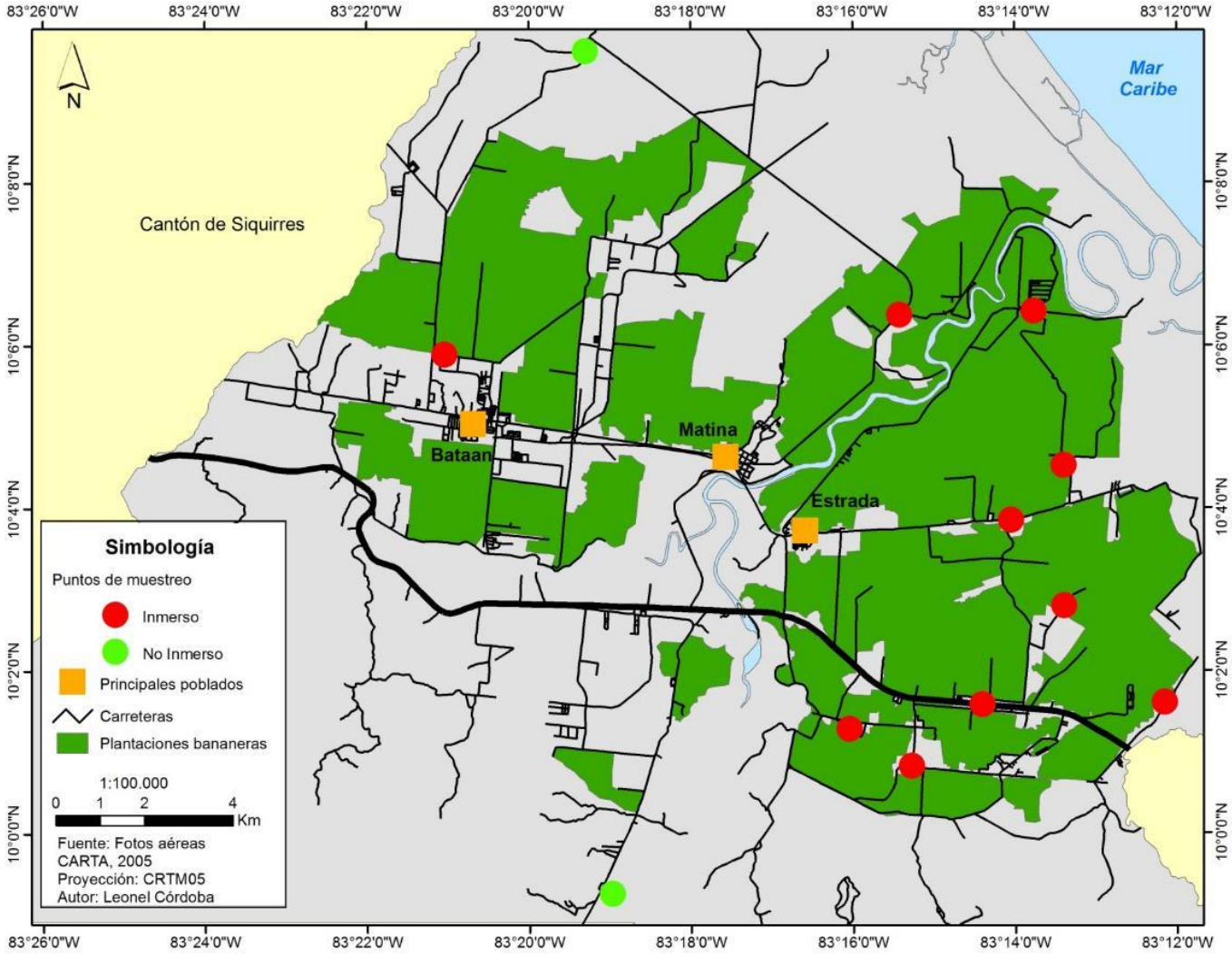



*Figura 3. Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo en el cantón de Matina.*
*Fuente: Trabajo de campo y fotos aéreas Proyecto CARTA, 2005.*

Para el análisis estadístico se utilizó el programa JMP8; se trabaja con dos grupos, los inmersos (n=10), centros educativos a menos de 100 metros de una bananera, y los no inmersos (n=2), centros educativos a más de 1,5 kilómetros de una finca bananera.

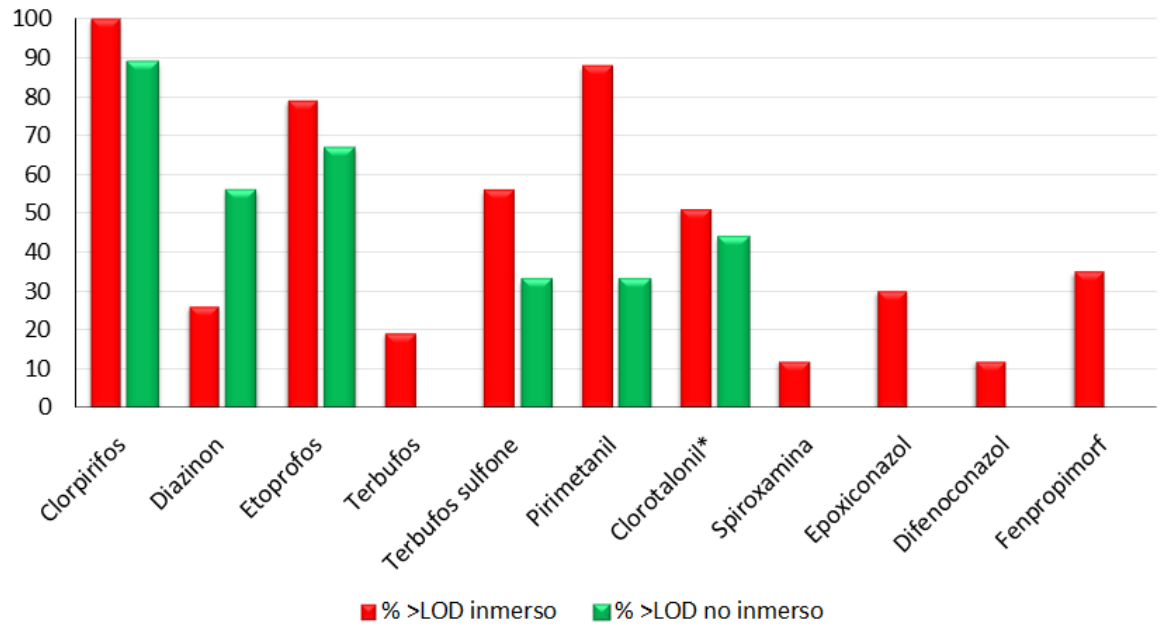
Para analizar los plaguicidas, primeramente se calcula el porcentaje de detección, mediante la construcción de una variable que identificará si es mayor al límite de detección. Se analizó si las concentraciones siguen una distribución normal (test de Shapiro-Wilk) o lognormal (test de Shapiro-Wilk después de haber transformado las concentraciones a una escala logarítmica normal). Se evaluó si el porcentaje de muestras con concentraciones detectables para los centros educativos inmersos y no inmersos fue similar usando la prueba exacta de Fisher. Como prácticamente ninguna de las concentraciones de plaguicidas siguió una distribución normal, se aplicó la prueba de los rangos con signo de

Wilcoxon – Kruskal-Wallis, en procura de evaluar si las concentraciones medianas fueron similares para centros educativos inmersos y no inmersos.

**RESULTADOS**

Se detectó en estas muestras, diez diferentes plaguicidas y un metabolito ambiental de un plaguicida. Cuatro de los diez plaguicidas encontrados fueron organofosforados (clorpirifos, diazinon, etoprofos y terbufos). De los diez plaguicidas, ocho están reportados para uso en el cultivo de banano (clorpirifos, clorotalonil, pirimetanil, terbufos, spiroxamina, epoxiconazol, difenoconazol y fenpropimorf); uno de ellos está reportado para uso en el cultivo de banano y piña (etoprofos), y uno de ellos está reportado en el cultivo de piña (diazinon). También se detectó el terbufos-sulfone, un metabolito específico del plaguicida terbufos (Gráfico 1).

*Gráfico 1. Porcentaje de detección en las muestras de aire pasivo, inmerso (n=43) versus no inmerso (n=9). Fuente: Elaboración propia.*




Excepto con el plaguicida clorpirifos (Shapiro Wilks W=0,97, p=0,31), las concentraciones de los plaguicidas siguieron una distribución anormal. Las concentraciones medidas de etoprofos y pirimetanil siguieron aproximadamente una distribución lognormal: después de haberlas transformado a una escala logarítmica natural Shapiro Wilks W=0,94 para ambos plaguicidas con un p=0,01 y p=0,009, respectivamente. Las demás concentraciones de plaguicidas tampoco siguieron una distribución lognormal (W< 0,81). El clorpirifos fue el plaguicida detectado con mayor frecuencia: en el 100% de las muestras en los centros educativos inmersos y en el 89% en los no inmersos.

La concentración mediana de clorpirifos fue seis veces mayor en los centros educativos inmersos, en comparación con los centros educativos no inmersos: 16,9 ng/$m^3$ versus 2,8 ng/$m^3$, respectivamente (T-test p<0.0001). En cuanto a las escuelas no inmersas, la escuela Goshen presentaba concentraciones mayores que la de Corina, con una concentración mediana de 4,9 versus 0,7 ng/$m^3$, respectivamente (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test p=0,02).

También, para el clorpirifos se realizó un mapa sobre su distribución espacial en el cantón de Matina (Figura 4); se observa que hacia el noreste del cantón es donde hay mayor presencia de clorpirifos, mientras que hacia el sur es donde hay menor concentración de clorpirifos en el aire, precisamente en la comunidad de Corina, donde se reportaron los niveles más bajos de este.

Con el mapa de isolíneas (Figura 5) se puede observar que otras comunidades que no fueron parte de esta investigación, como Matina, cabecera del cantón, puede tener concentraciones de clorpirifos entre 12 y 16 ng/m,$^3$ o la comunidad de Bataan, que concentra la mayoría de la población por ser el centro más importante comercial y de servicios del cantón, tiene concentraciones similares a las de Matina; o Estrada, cabecera del distrito y donde se concentra la mayor cantidad de cultivos de banano, con una concentración de más de 17 ng/$m^3$.

El segundo insecticida detectado en 16 de las 52 muestras (31%), fue el diazinon; se detectó en el aire de los centros educativos inmersos (26%, n=11) y no inmersos (56% (n=5)). El diazinon es utilizado en el cultivo de la piña; no se reporta su uso en el cultivo de banano (Bravo *et al.*, 2013). Las concentraciones fueron principalmente detectadas en Goshen (5/5) y los Almendros (4/4), pero también en algunas muestras de Saborío (2/4) y Bananita (1/4) (Figura 6).
El etoprofos fue uno de los dos nematicidas detectados, y lo fue en el 77% de las muestras, con mayor frecuencia en los centros educativos inmersos (79%, n=34) que en los no inmersos (67%, n=6), aunque las diferencias en la frecuencia de detección no fueron estadísticamente significativas (Fisher exact p=0,41) y las concentraciones fueron similares (mediana=1,8 versus 1,3) (Wilcoxon-Kruskal Wallis p=0,46). En cuanto a los centros no inmersos, etoprofos fue detectado en todas las muestras de Goshen (n=5) y en solamente una de las cuatro tomadas en Corina. Para etoprofos, las concentraciones varían más entre diferentes periodos (concentraciones medidas en muestras repetidas del mismo centro educativo) que entre escuelas, ya que solamente un 4% de la variabilidad fue explicado por diferencias entre centros educativos, mientras un 96% lo fue por diferencias entre distintos periodos para un mismo centro educativo.

El segundo nematicida detectado fue terbufos, que solamente fue se detectó en el aire de un 19% (n=8) de los centros educativos inmersos. Adicionalmente, su metabolito ambiental terbufos sulfone, fue detectado más frecuentemente que el mismo plaguicida, tanto en los centros educativos inmersos (56%, n=24) como en los no inmersos (33%, n=3) (todos en Goshen). Las concentraciones para los centros inmersos fueron más altas de manera estadísticamente significativa; la mediana fue 7,6 ng/$m^3$ versus 0,4 ng/$m^3$, respectivamente (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test p<0,03).

El plaguicida pirimetanil fue el único fungicida que se detectó tanto en escuelas inmersas (88%, n=38) como no inmersas (33%, n=3); las concentraciones fueron alrededor de cuatro veces más altas en los centros inmersos (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test p<0,003). Las concentraciones varían mucho más entre los centros que dentro de las

escuelas, ya que las diferencias entre escuelas explicaron el 86% de la variabilidad encontrada en las concentraciones (Figura 7).

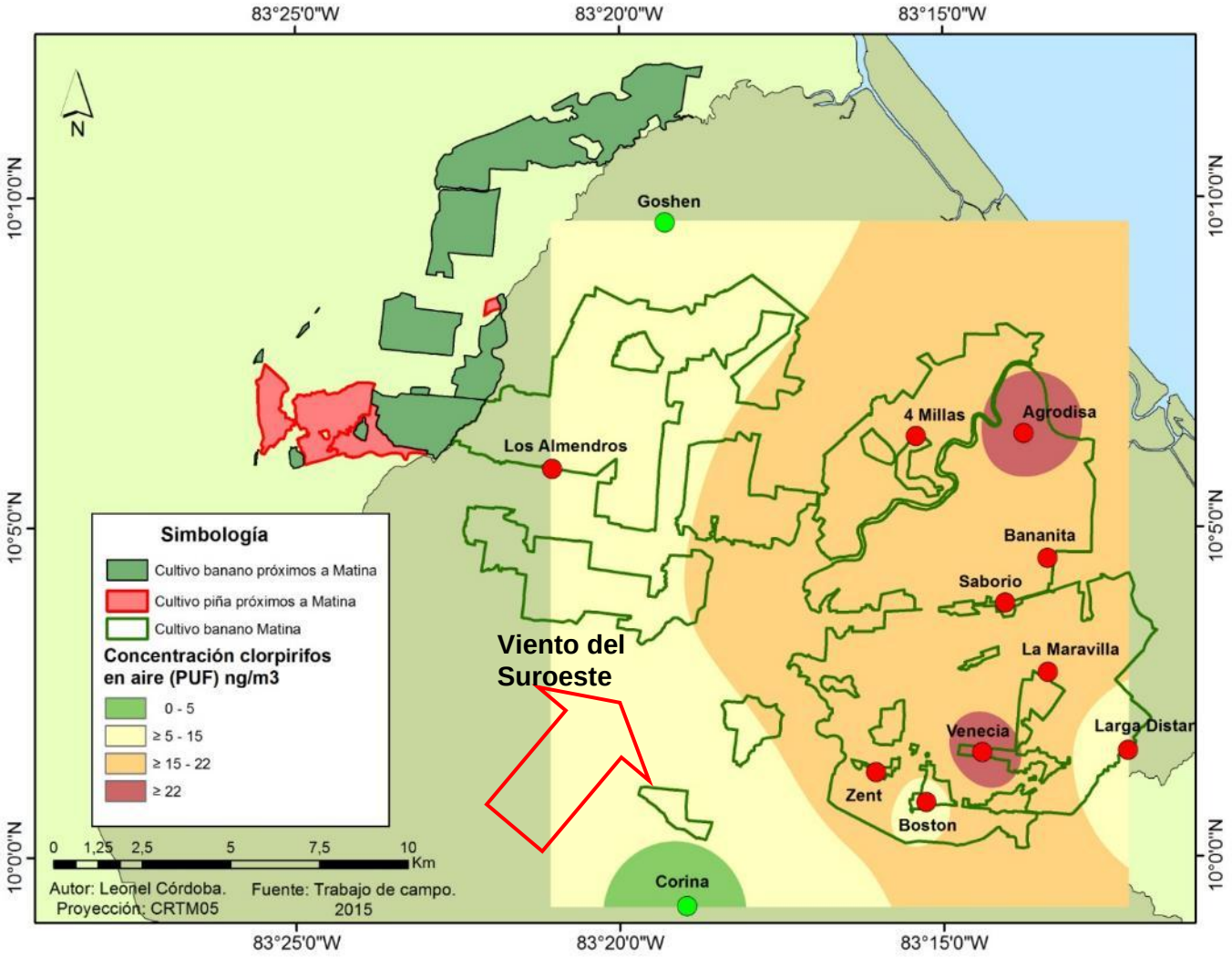



*Figura 4. Mapa de la concentración de clorpirifos, según los sitios de muestreo en el cantón de Matina, respecto a la plantación de banano y la dirección del viento predominante durante todo el año.*
*Fuente: Elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2014.*

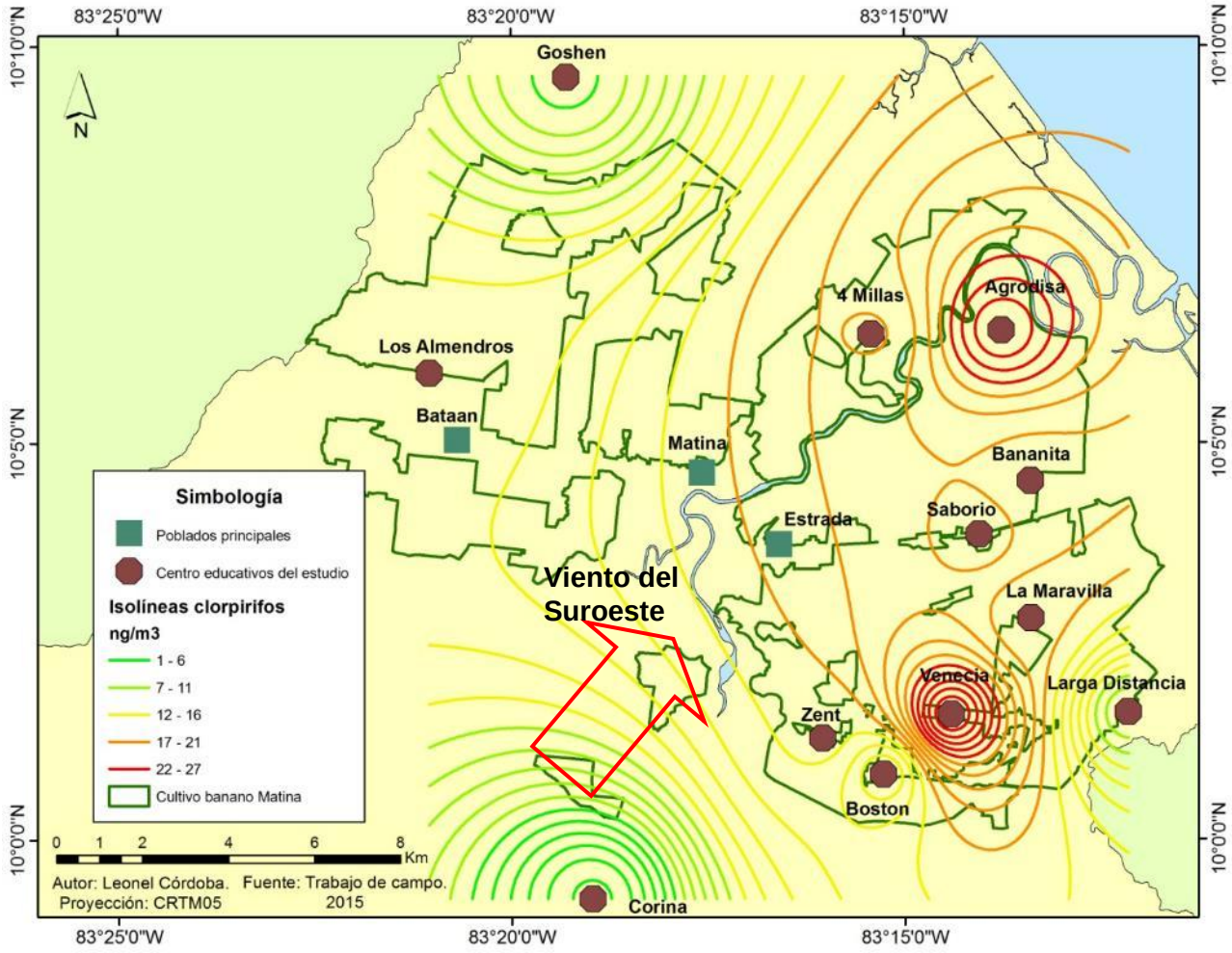



*Figura 5. Mapa de isolíneas con la concentración de clorpirifos, según los sitios de muestreo en el cantón de Matina, respecto a la plantación de banano y la dirección del viento predominante durante todo el año.*
*Fuente: Elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2014.*

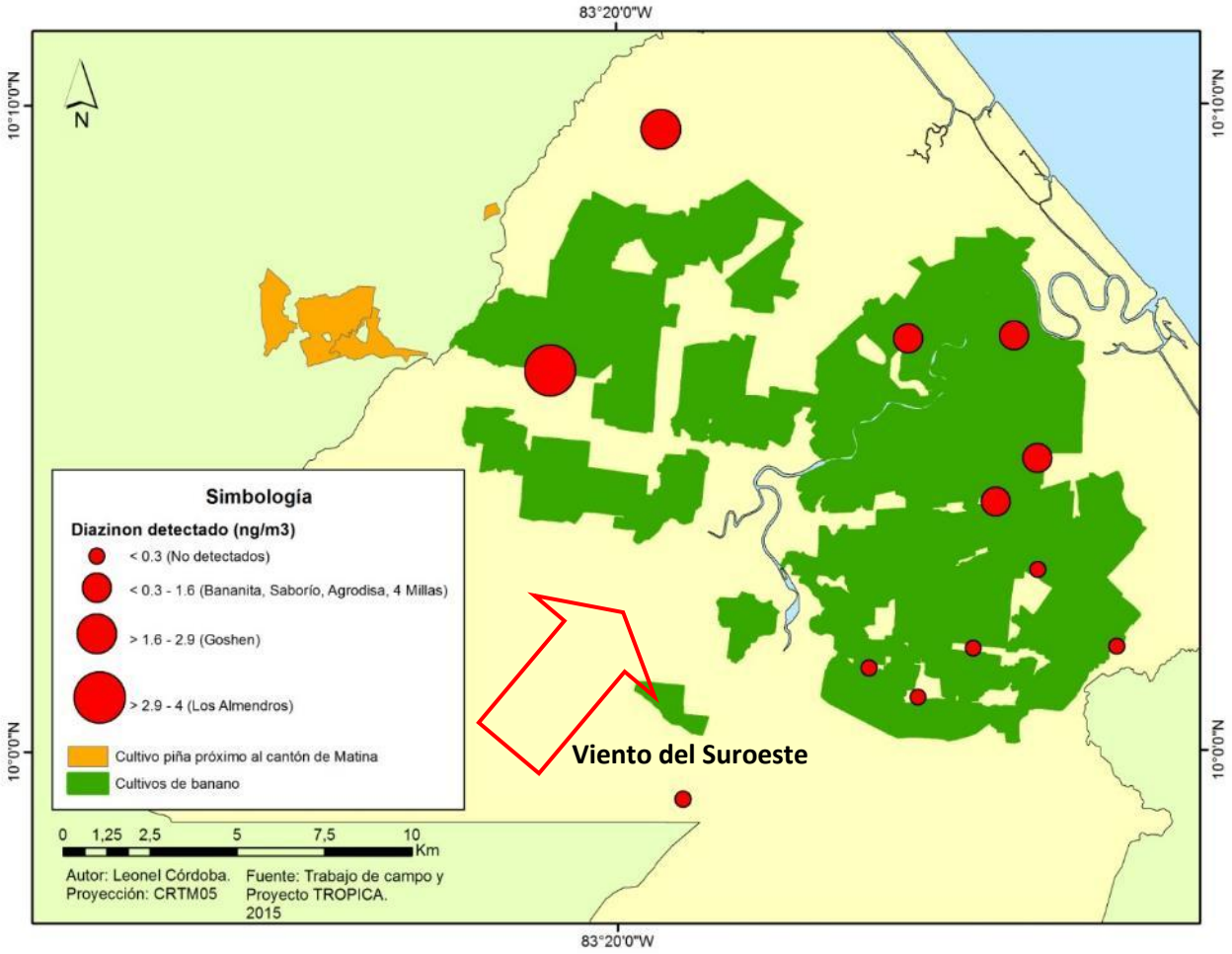



*Figura 6. Mapa de la distribución espacial de los centros educativos donde se detectó el insecticida diazinon, la concentración mediana (0,3 – 3,7 ng/m3) en los diferentes centros, cultivos de piña cercanos del cantón de Siquirres y la dirección del viento predominante durante todo el año.*

*Fuente: Elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2014.*

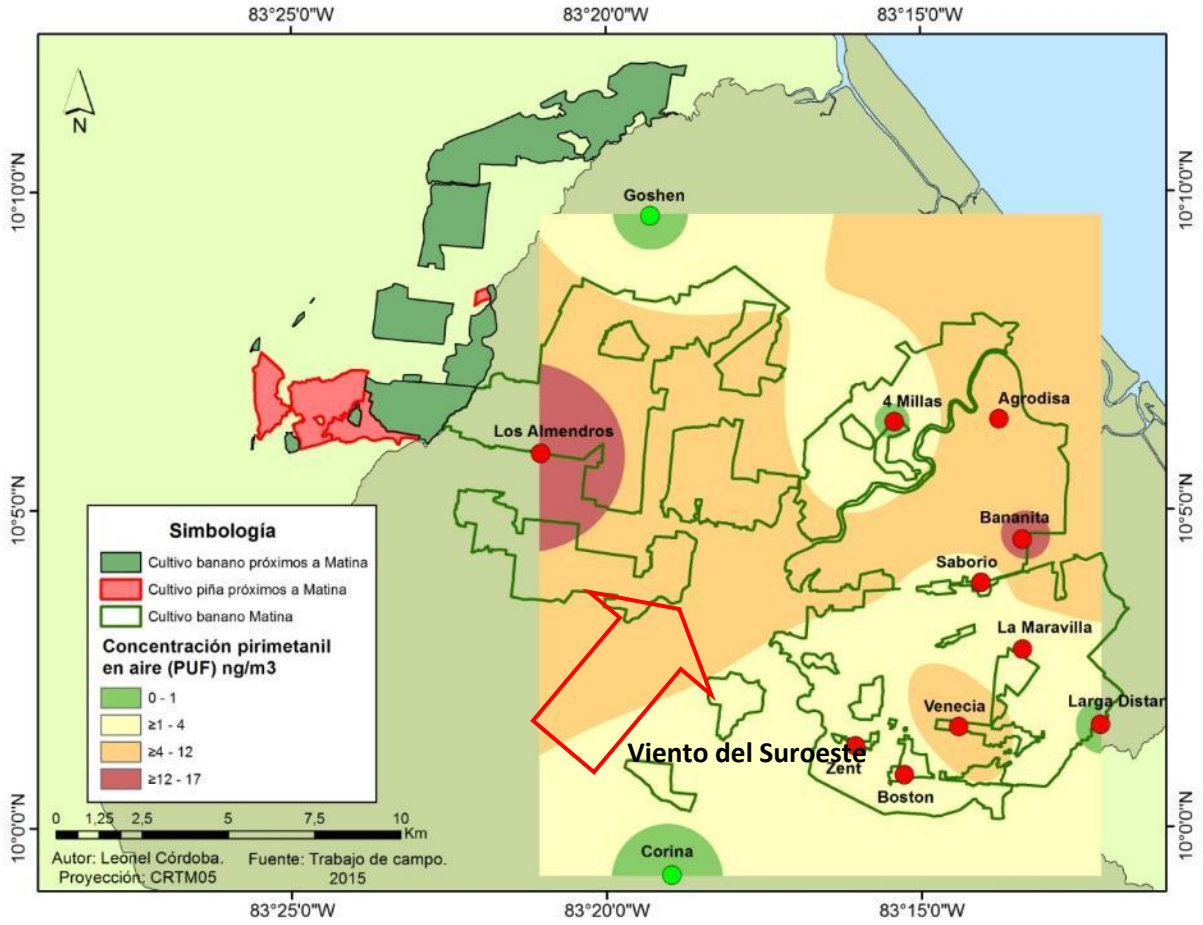



*Figura 7. Mapa de la distribución espacial de los centros educativos donde se detectó el fungicida pirimetanil, la concentración promedio (0,7 – 16,1 ng/m3) en los diferentes centros, cultivos de piña cercanos del cantón de Siquirres y la dirección del viento predominante durante todo el año.*

*Fuente: Elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2014.*

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que el aire exterior de los centros educativos cercanos a fincas agrícolas, en este caso principalmente de banano, se contaminan con varios de los plaguicidas usados en estos sitios.

Es preocupante encontrar en todos los muestreos el clorpirifos, ya que es un organofosforado cuya toxicidad aguda se clasifica como moderadamente tóxica (OMS, 2004b). Además, la exposición prenatal a clorpirifos se ha asociado con: 1) una disminución del crecimiento fetal, reflejado en el peso y la talla al nacer (Whyatt *et al*., 2004); 2) atrasos en el neurodesarrollo infantil medido a los tres y siete años de edad (Rauh *et al*. 2006; Rauh *et al*. 2011); (3) anomalías celebrales en niños de 6-11 años de edad (Rauh *et al*., 2012), y (4) hiperactividad y déficit de atención en niños varones (Fortenberry *et al*., 2014). El clorpirifos se utiliza en las plantaciones de banano mediante el uso de bolsas tratadas con clorpirifos; su empleo inicia desde que brota la primera flor de la planta que da paso al racimo de banano; la bolsa permanece cubriendo la fruta hasta el día de su corta, es decir, un periodo cercano a los nueve meses. Sin embargo, los resultados de las mediciones en aire en este estudio indican que existe una constante deriva hacia los centros educativos, incluso hacia los que están a más de 1,5 kilómetros de distancia, y que las concentraciones son, en promedio, seis veces mayores en el aire externo de centros educativos inmersos (<100 metros), en comparación con los no inmersos (>1,5 km).

Otro estudio realizado en Costa Rica en una zona bananera (van Wendel de Joode *et al.*, 2012) recolectó dos muestras de aire pasivo y tres de aire activo en un pueblo inmerso en fincas bananeras; en las cinco muestras se detectó clorpirifos, con concentraciones promedio de 3,1 ng/m$^3$ en las muestras activas y de 8,3 ng/m$^3$ en las pasivas. En Matina, para seis centros educativos las concentraciones promedio de clorpirifos medidas en las muestras pasivas, fueron entre dos y tres veces más altas que las concentraciones del estudio de van Wendel de Joode *et al*. (2012). Una razón de señalar para la diferencia entre los estudios, es la cantidad de periodos de muestreo; mientras que en el estudio de van Wendel de Joode *et al*. (2012) fue un solo periodo de muestreo, en el de Matina se hicieron cuatro periodos de muestreo.

Morgan *et al*. en 2005 analizaron en muestras de aire activo interno y externo en guarderías, la presencia de clorpirifos, y la mediana de aire interno (3 ng/m$^3$) fue mayor que el aire externo (0,3 ng/m$^3$). Comparado con este estudio, la concentración mediana en los centros educativos inmersos fue similar en el aire interno y 5 veces mayor que en el externo; en los centros educativos no inmersos la mediana fue tres veces menor respecto al aire interno y mayor que el aire externo reportado por Morgan *et al*.

## CONCLUSIONES

Se demuestra que el aire en los centros educativos está contaminado por plaguicidas utilizados en el cultivo de banano. Las distancias existentes entre los centros educativos y las plantaciones de banano es un factor importante en la cantidad de plaguicidas detectados en el aire y en el polvo. Aunque las distancias sean mayores, es posible encontrar plaguicidas que estén desplazándose a través del viento. Los datos generados dentro del contexto del estudio ayudan a comprender si el aire es una ruta de exposición a plaguicidas en poblaciones humanas cercanas a fincas bananeras.

Las corrientes globales del viento influyen en la distribución de contaminantes en una dirección, sin embargo, las corrientes locales del viento producen movimientos diferentes que distribuyen los contaminantes en otra dirección, como se ejemplifica al encontrar diazinon en las comunidades de Los Almendros y de Goshen.

Las distancias de las barreras naturales existentes en las escuelas parecen ser ineficientes para la contención de los plaguicidas aplicados en las bananeras, ya que se encuentra residuos de plaguicidas aplicados de forma manual y por medio de bolsas impregnadas en el aire y en el polvo de los centros educativos. La legislación nacional no abarca todas las diversas formas de aplicación de plaguicidas, ni de concentración de plaguicidas en el aire.

La herramienta SIG fue de gran utilidad al identificar las diferentes concentraciones de plaguicidas en el cantón, por ejemplo, la disminución de los niveles de diazinon en el aire conforme se aleja de las plantaciones de piña. Las diferentes técnicas de muestreo dieron valiosos resultados porque brindan un panorama de contaminación en el corto y largo plazos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barraza, D., Jansen, K., van Wendel, B., Wesseling, C. (2011). Pesticide use in banana and plantain production ad risk perception among local actors in Talamanca, Costa Rica. Environmental Research. 111(2011) 708-717
2. Barraza, D., Jansen, K., van Wendel, B., Wesseling, C. (2013) Social movmentes and risk perception. International Journal of Occupational and Environmental Health.
3. Bravo, V., de la Cruz Malavassi, E., Ledezma, G. H., & Muñoz, F. R. (2013). Uso de plaguicidas en cultivos agrícolas como herramienta para el monitoreo de peligros en salud. Uniciencia, 27(1), 351-376
4. Corporación Bananera Nacional (CORBANA). (2013). Zonas de producción 2012: http://www.corbana.co.cr/website/categories/mapa-zonas-de-produccion (Consultado en julio de 2013)
5. Fortenberry, G. Z., Meeker, J. D., Sánchez, B. N., Barr, D. B., Panuwet, P., Bellinger, D., ... & Tellez-Rojo, M. M. (2014). Urinary 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCPY) in pregnant women from Mexico City: Distribution, temporal variability, and relationship with child attention and hyperactivity. International journal of hygiene and environmental health, 217(2), 405-412.
6. INEC. (2011). Censo de población. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica.

7. Morgan, M. K., Sheldon, L. S., Croghan, C. W., Jones, P. A., Robertson, G. L., Chuang, J. C., & Lyu, C. W. (2005). Exposures of preschool children to chlorpyrifos and its degradation product 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol in their everyday environments. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 15(4), 297-309.
8. OMS (2004a). Guías para la calidad del aire. OPS/CEPIS/PUB/04.110. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud OPS, Lima, Perú.
9. OMS (2004b). The WHO recommended classification of pesticides by hazards and guidelines to classification. Geneva, Switzerland.
10. PNUD (2011). Atlas del desarrollo humano cantonal de Costa Rica. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
11. Rauh, V., Arunajadai, S., Horton, M., Perera, F., Hoepner, L., Barr, D. B., & Whyatt, R. (2011). Seven-Year Neurodevelopmental Scores and Prenatal Exposure to Chlorpyrifos, a Common Agricultural Pesticide. Environmental Health Perspectives, 119(8), 1196–1201. doi:10.1289/ehp.1003160
12. Rauh, V. A., Perera, F. P., Horton, M. K., Whyatt, R. M., Bansal, R., Hao, X. & Peterson, B. S. (2012). Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(20), 7871-7876.
13. Rauh, V. A., Garfinkel, R., Perera, F. P., Andrews, H. F., Hoepner, L., Barr, D. B., ... & Whyatt, R. W. (2006). Impact of prenatal chlorpyrifos exposure on neurodevelopment in the first 3 years of life among inner-city children. Pediatrics, 118(6), e1845-e1859.
14. van Wendel de Joode, B., Barraza, D., Ruepert, C., Mora, A. M., Córdoba, L., Öberg, M., & Lindh, C. H. (2012). Indigenous children living nearby plantations with chlorpyrifos-treated bags have elevated 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCPy) urinary concentrations. Environmental research.
15. Whyatt RM, Rauh V, Barr DB, Camann DE, Andrews HF, Garfinkel R, Hoepner LA, Diaz D, Dietrich J, Reyes A, Tang D, Kinney PL, Perera FP. (2004). Prenatal insecticide exposures and birth weight and length among an urban minority cohort. Environ Health Perspect. Jul;112(10):1125-32.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE RUIDO EN EL AREA URBANA DE CUENCA Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO 2014

**Martínez, Julia[a]; Delgado, Omar[b]**
**Universidad del Azuay, Ecuador**
**[a](jumartinez@uazuay.udu.ec)**
**[b](odelgado@uazuay.edu.ec)**

**RESUMEN**

Durante los años 2009, 2012 y 2014, la Universidad del Azuay conjuntamente con el GAD municipal de Cuenca a través de la Comisión de Gestión ambiental de Cuenca (CGA), levantan información del ruido en la ciudad, para evaluar el comportamiento de la emisiones sonoras en el tiempo.

El proceso parte del levantamiento de información en los sitios de monitoreo establecidos en el año 2012, sistematización de los datos, evaluación comparativa del comportamiento del ruido en la ciudad de Cuenca en los períodos 2009, 2010 y 2014 sobre la base legal ambiental vigente (TULSMA, 2014). Adicionalmente se representaron gráficamente los valores obtenidos en el año 2014, a través del mapa de ruido con la utilización del método estadístico "kriging ordinario" y el Método CadnA, que realiza una simulación del ruido con parámetros de densidad de tráfico.

Las emisiones en el año 2014 están sobre los límites máximos establecidos en el TULSMA, sin embargo con relación al año 2012 se presenta disminución, la cual se asocian a las campañas de concientización realizadas desde el GAD municipal, así como por las obras de infraestructura en construcción que ha limitado el movimiento vehicular por algunos sitios de la ciudad.

**Palabras claves:** Emisiones**,** ruido, mapa, TULSMA.

## INTRODUCCIÓN

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca (GAD) y la Universidad del Azuay (UDA), desde el año 2009 han venido investigando el comportamiento de las emisiones sonoras en la ciudad de Cuenca, es así que en el año 2010 se pudo concluir con el proyecto denominado: "Determinación del índice de calidad ambiental de la ciudad de Cuenca", uno de los indicadores utilizados fue el de las emisiones de ruido. Posteriormente en el año 2012 se elabora el mapa de ruido del área urbana de Cuenca y en año 2014 se levanta nuevamente información en los puntos de monitoreo establecidos anteriormente y se evalúa el comportamiento de las emisiones en la ciudad en los períodos: 2010, 2012 y 2014.

## OBJETIVOS

El objetivo general es evaluar las emisiones de ruido en el área urbana de Cuenca y elaborar el mapa de ruido 2014, sobre la base de la información levantada durante los años 2009, 2012 y 2014.
Los objetivos específicos:

a) Evaluación de las emisiones sonoras en la ciudad de Cuenca en tres períodos.
b) Registro de ruido ambiente 2014 en al menos 30 sitios de monitoreo permanente.
c) Generación del mapa de ruido 2014.

## METODOLOGÍA

El proceso seguido comprende las siguientes actividades:

1. Se parte de establecer como puntos de muestreo los treinta puntos que fueron determinados en el proyecto del año 2012.
2. Se realizan las mediciones correspondientes y se procede a la sistematización de la información.
3. Se efectúan análisis y comparación del comportamiento de las emisiones sonoras en los tres períodos: 2009, 2012 y 2014.
4. Sobre la base de la utilización de métodos estadísticos, se elabora el Modelamiento teórico del ruido en la ciudad de Cuenca, así como también a través del método CadnA, que realiza la simulación de ruido con parámetros de densidad de tráfico.

### Levantamiento de datos

#### *a.1 Puntos de muestreo*

Con el propósito de establecer un historial de datos que nos permita realizar comparaciones y evaluar el comportamiento del ruido en estos últimos años, se planteó que los sitios de monitoreo se mantengan.

Los puntos a muestrear, inicialmente se determinaron sobre la base del análisis de factores como son: el tráfico vehicular, características físicas de las vías, seguridad de la zona para mantener los equipos e instrumental necesario para el levantamiento de datos.

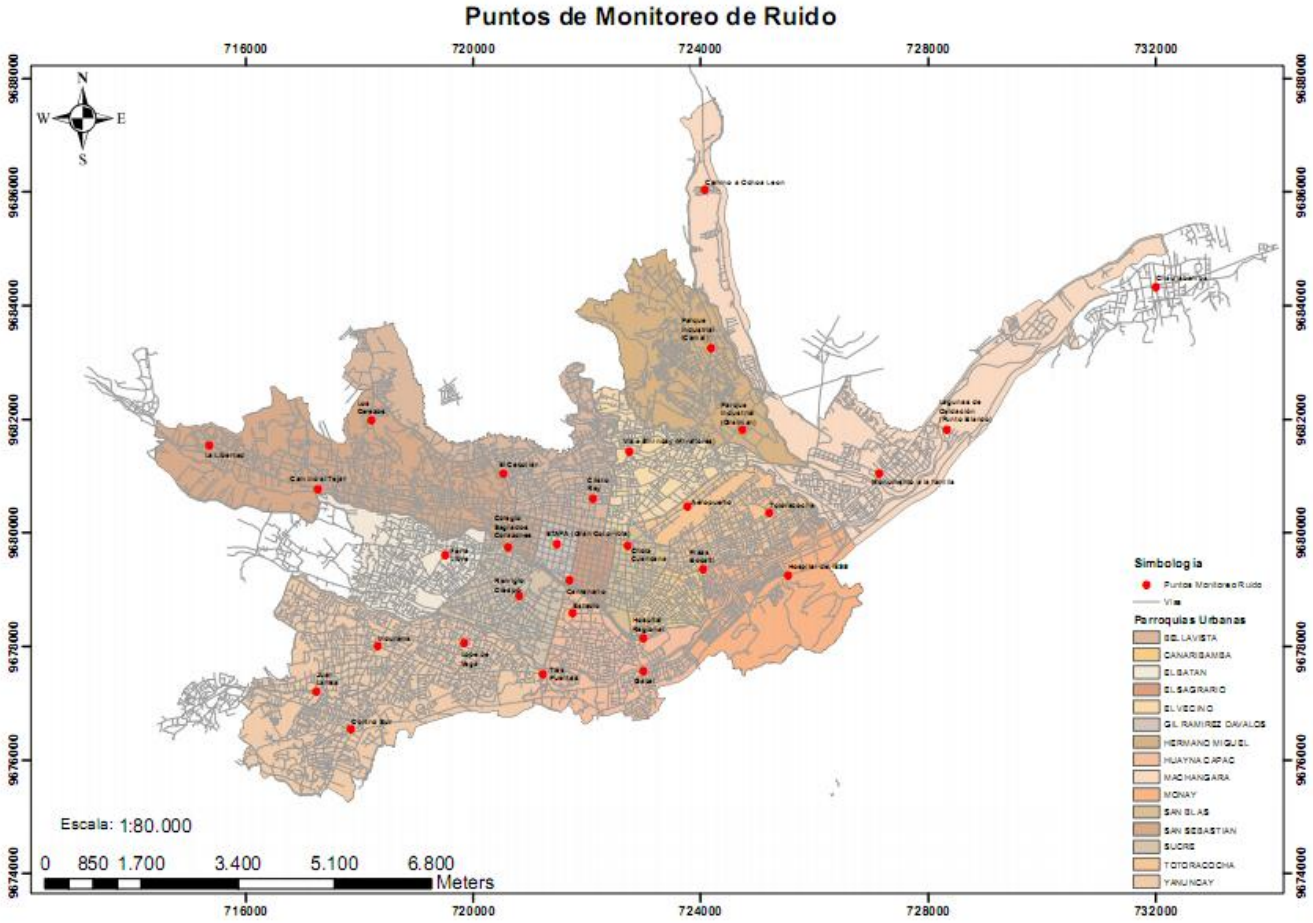



*Figura 1. Sitios de monitoreo 2014.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

*Tabla 1. Sitios de monitoreo 2014.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

| N° | Punto medido (sector) | Calle principal | Calle secundaria |
|---|---|---|---|
| R_01 | Estadio | Del Estadio | José Peralta |
| R_02 | Gapal | Av. 24 de mayo | Las Herrerías |
| R_03 | Aeropuerto | Av. España | Elia Liut |
| R_04 | Tres Puentes | Primero de Mayo | Fray Vicente Solano |
| R_05 | Frutilados (Remigio Crespo) | Remigio Crespo | Ricardo Muñoz |
| R_06 | Hospital regional | Av. 12 de Abril | Av. del Paraíso |
| R_07 | Challuabamba | Autopista Cuenca Azogues | Triángulo de Challuabamba |
| R_08 | Lagunas de oxigenación | Camino a Paccha | Ucubamba |
| R_09 | Monumento a la familia | Av. González Suarez | Panamericana Norte |
| R_10 | Graiman | Octavio Chacón | Cornelio Vintimilla |
| R_11 | Camal | Camino Ochoa León | |
| R_12 | Camino a Ochoa León | Camino a Ochoa León | |
| R_13 | La Libertad | Camino del Tejar | De la Ortiga |
| R_14 | Los Cerezos Alto | De los Cerezos | |
| R_15 | Camino al Tejar | Av. Ordoñez Lazo | Monseñor Leonidas Proaño |
| R_16 | Vía a Sinincay (Miraflores) | Julio Jaramillo | Vía a Sinincay |
| R_17 | El Cebollar | Av. del Chofer | Av. Abelardo J. Andrade |
| R_18 | Hospital del IESS | Circunvalación Norte | Monay -Paccha |
| R_19 | Plaza Bocatti | Paseo de los Cañaris | González Suarez |
| R_20 | Col. Sagrados Corazones | Paseo Tres de Noviembre | Simón Bolívar |
| R_21 | Feria libre | Av. de las Américas | Remigio Crespo |
| R_22 | Estación de servicio Triniti (Isabel La Católica) | Lope de Vega | Gaspar de Jovellanos |
| R-23 | Indurama | Av. de las Américas | Don Bosco |
| R_24 | Control Sur | Av. de las Américas | Circunvalación Sur |
| R_25 | ETAPA (Gran Colombia) | Tarqui | Gran Colombia |
| R_26 | Cristo Rey | Luis Cordero | Juan de Salinas |
| R_27 | Chola Cuencana | Av. Huayna Cápac, Av. España | Gaspar Sangurima |
| R_28 | Vía Baños | Juan Larrea Guerrero | Mariano Villalobos |
| R_29 | Bajada del Centenario | Calle Larga | Benigno Malo |
| R_30 | Totoracocha | Totoracocha | Av. el Cóndor |

***a.2.- Horario de muestreo***.- De igual manera que con la determinación de los sitios de muestreo, el horario establecido para realizar los monitoreos son los mismos que se utilizaron para el proyecto del Mapa de ruido del año 2012.

*Tabla 2. Horario establecido para los muestreos por día.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

| N° de muestreos por punto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Horario | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 |

Las mediciones se realizaron durante treinta días, considerando los cinco días de la semana, de lunes a viernes, en seis semanas, tomando un día por cada punto a levantar. El período de toma de datos fue de 15 minutos en cada estación durante el horario indicado.

***a.3 Equipo utilizado***.- El levantamiento de la información se realizó con el sonómetro de propiedad de la Universidad del Azuay el mismo que está compuesto de un Sonómetro Modelo SOUNDPRO SP-DL-2-1/3, Serie BIM020008, Marca QUEST TECHNOLOGIES.

**Evaluación del comportamiento sonoro de la ciudad de Cuenca**

Para la evaluación de la información sonora se procedió a compararla con los límites establecidos en la legislación nacional vigente al momento de realizar este proyecto, es decir con el Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente –TULSMA-2014.

***b.1 Zonificación según usos del suelo del TULSMA***

Como se ha indicado los sitios de muestreo (30) son los mismos que sirvieron para la evaluación realizada en el año 2012, por lo que se procedió a verificar los estándares especificados en la legislación nacional, en el Libro VI Anexo 5 del Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), encontrándose que éstos no han variado hasta diciembre de 2014, fecha de realización del presente proyecto. Las zonas contempladas y los límites permisibles son los siguientes:

*Tabla 3. Límites permisibles según el TULSMA.*
*Fuente: Libro VI, Anexo 5 del TULSMA - 2014.*

| Zona / | NPS eq (dB(A)) | |
|---|---|---|
| Uso del suelo | 06h00 - 20h00 | 20h00 – 06h00 |
| Zona hospitalaria y educativa | 45 | 35 |
| Zona residencial | 50 | 40 |
| Zona residencial mixta | 55 | 45 |
| Zona comercial | 60 | 50 |
| Zona comercial mixta | 65 | 55 |
| Zona industrial | 70 | 65 |

***b.2 Asignación de uso de suelo a los puntos de monitoreo***

Los usos de suelo asumidos fueron:

*Tabla 4. Zonificación de acuerdo al TULSMA.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

| N° | Punto medido (sector) | Tipo de uso |
|---|---|---|
| R_01 | Estadio | Comercial |
| R_02 | Gapal | Residencial Mixta |
| R_03 | Aeropuerto | Comercial |
| R_04 | Tres Puentes | Residencial Mixta |
| R_05 | Frutilados (Remigio Crespo) | Comercial Mixta |
| R_06 | Hospital regional | Hospitalaria y Educativa |
| R_07 | Challuabamba | Residencial |
| R_08 | Lagunas de oxigenación | Residencial |
| R_09 | Monumento a la familia | Residencial - Industrial |
| R_10 | Graiman | Industrial |
| R_11 | Camal | Industrial |
| R_12 | Camino a Ochoa León | Residencial |
| R_13 | La Libertad | Residencial Mixta |
| R_14 | Los Cerezos Alto | Industrial |
| R_15 | Camino al Tejar | Residencial Mixta |
| R_16 | Vía a Sinincay (Miraflores) | Residencial |
| R_17 | El Cebollar | Residencial Mixta |
| R_18 | Hospital del IESS | Hospitalaria y Educativa |
| R_19 | Plaza Bocatti | Residencial Mixta |
| R_20 | Col. Sagrados Corazones | Hospitalaria y Educativa |
| R_21 | Feria libre | Comercial Mixta |
| R_22 | Estación de servicio Triniti (Isabel La Católica) | Hospitalaria y Educativa |
| R-23 | Indurama | Residencial Mixta |
| R_24 | Control Sur | Residencial Mixta |
| R_25 | ETAPA (Gran Colombia) | Comercial |
| R_26 | Cristo Rey | Residencial |
| R_27 | Chola Cuencana | Comercial mixta |
| R_28 | Vía Baños | Residencial |
| R_29 | Bajada del Centenario | Comercial Mixta |
| R_30 | Totoracocha | Residencial |

De manera resumida, se han localizado cuatro puntos de monitoreo en zona hospitalaria y educativa, nueve puntos en zonas residenciales, siete puntos en zonas residenciales mixtas, tres en zonas comerciales, cuatro en zonas comerciales mixtas y tres en áreas industriales.

### *b.3 Comparación de datos levantados en los años 2009 – 2012 y 2014*

La Universidad del Azuay y el GAD Municipal de Cuenca, cuentan con información sonora de los años 2009, 2012 y 2014, lo que permitió la comparación del comportamiento de las mismas en la ciudad de Cuenca en los citados períodos, para los horarios y puntos coincidentes.

*Tabla 5. Análisis comparativo de emisiones sonoras (2014 – 2012 – 2009).*
*Fuente: Elaboración propia.*

| Cod_med | Sector | Tipo de uso | 2014 | | 2012 | | 2009 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 13h00 | 18h00 | 13h00 | 18h00 | 13h00 | 18h00 |
| R_01 | Estadio | Comercial | 68,1 | 68,4 | 73,2 | 72,7 | 69,1 | 69,4 |
| R_02 | Gapal | Residencial Mixta | 73,6 | 72,9 | 71,1 | 73 | 67,9 | 70,1 |
| R_03 | Aeropuerto | Comercial | 73,9 | 70,7 | 74,1 | 74,5 | 74,2 | 74,6 |
| R_04 | Tres Puentes | Residencial Mixta | 66,8 | 67,6 | 76,5 | 68 | 69,2 | 68,6 |
| R_05 | Frutilados | Comercial Mixta | 73,5 | 70,7 | 72,4 | 76 | 62,6 | 72,1 |
| R_06 | Hospital Regional | Hospitalaria – Educativa | 67,9 | 65,2 | 66,5 | 73,2 | 66,4 | 67,1 |
| R_08 | Lagunas de Oxidación | Residencial | 65,1 | 66,6 | 76,5 | 76,5 | 45,5 | 48,6 |
| R_10 | Graiman | Industrial | 76 | 72,6 | 73,2 | 72,9 | 73 | 76,8 |
| R_11 | Camal | Industrial | 67,4 | 67,4 | 69,9 | 61,8 | 57,1 | 58,5 |
| R_14 | Los Cerezos Alto | Industrial | 70,5 | 67,9 | 70,8 | 72,5 | 41 | 37,1 |
| R_19 | Plaza Bocatti | Residencial Mixta | 70,6 | 69,8 | 74,6 | 76,3 | 73,4 | 73,5 |
| R_20 | Col. Sagrados Corazones | Hospitalaria – Educativa | 74 | 79,4 | 75,3 | 77,3 | 64,6 | 65 |
| R_21 | Feria Libre | Comercial Mixta | 61,3 | 63,5 | 73,1 | 72,9 | 71,9 | 72,1 |
| R_22 | Estación de servicio Triniti | Hospitalaria - Educativa | 61,4 | 60 | 60,8 | 59,7 | 39,4 | 54 |
| R_23 | Indurama | Residencial Mixta | 72,1 | 73,5 | 74,3 | 77,2 | 76,3 | 76,5 |
| R_26 | Cristo Rey | Residencial | 69,7 | 72,6 | 67,4 | 65,3 | 53,8 | 52,2 |
| R_27 | Chola Cuencana | Comercial Mixta | 67,6 | 68,5 | 74 | 71,4 | 69,5 | 68,3 |
| R_28 | Vía Baños | Residencial | 57 | 53,3 | 57,6 | 55,9 | 49,1 | 50,1 |
| R_29 | Bajada Centenario | Comercial Mixta | 75,5 | 74,4 | 74,4 | 74,3 | 60,9 | 60,1 |
| R_30 | Totoracocha | Residencial | 65,6 | 70,3 | 64,1 | 66,8 | 62,9 | 64,2 |

## RESULTADOS

En el período 2009 al 2012 se observa que las emisiones sonoras en el horario de las 13h00 se incrementan en los 18 puntos de monitoreo lo que representa el 90%. Los incrementos más representativos son los que se dan en el punto R_14_Cerezos_Alto con 29,8 db, seguido del punto R_22_Triniti con 21,4 db y el sector R_26_Cristo_Rey con 13,6 db.

En el horario de las 18h00 el incremento se da en el 85% de los puntos monitoreados, con valores máximos de hasta 35,4 db en el punto R_14_Cerezos_Alto, seguido por 27,9 db en el R_08_Lagunas_Oxidación y 14,2 db en el R_30_Bajada_Centenario.

En el período 2012 al 2014 del análisis se puede observar que hay una disminución de las emisiones en varios puntos de monitoreo, en primer lugar se ha establecido que el 75% de los puntos muestreados disminuyen las emisiones correspondientes al horario de las 18h00. La disminución de valores se da hasta en 9,9 db en el R_08_Lagunas_Oxidación, el 8,9 db en el sector de los Tres Puentes.

En el horario de las 13h00 se da una disminución de emisiones sonoras en el 60% de los puntos muestreado, los valores que se toman varían hasta en 11,8 db en el R_21_Feria_Libre, seguido por 11,4db en el R_08_Lagunas_Oxidación.

De manera inversa se puede observar un incremento de emisiones en el 25% de los sitios muestreados en el horario de las 18h00, la mayor diferencia se da en el R_30_Totoracocha con 6,2db. En el horario de las 13h00 el 40% de los sitios de monitoreo se incrementan en valores que no son muy representativos, ya que la mayor diferencia es de 1,5 db.

A continuación se presenta de manera gráfica la comparación del comportamiento de las emisiones de ruido en los treinta puntos muestreados, clasificados según el tipo de zona y comparados con los límites máximos admisibles establecidos en el TULSMA.

*Tabla 6. Comparación datos – zona hospitalaria – educativa.*
*Fuente: Información generada en el proyecto CGA – UDA, 2009-2012-2014.*

| Cod_med | SECTOR | Año 2014 (Lavg) | | | | | | Año 2012 (Lavg) | | | | | | Año 2009 (Lavg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 8h00 | 13h00 | 18h00 | 22h30 |
| R_18 | Hospital del IESS | 70,5 | 70,6 | 67,2 | 71,5 | 68,9 | 66,8 | 74 | 71,9 | 94 | 72,7 | 72,2 | 74,8 | | | | |
| R_20 | Col. Sagrados Corazones | 74,7 | 73,8 | 74 | 74,4 | 79,4 | 68,1 | 78,2 | 75,2 | 75,3 | 73,1 | 77,3 | 77,3 | 64,50 | 64,60 | 65,00 | 57,20 |
| R_22 | Estación de servicio Triniti | 64,2 | 60 | 61,4 | 60,9 | 60 | 58,3 | 63,9 | 60,2 | 60,8 | 60,6 | 59,7 | 59,2 | 46,70 | 39,40 | 54,00 | 32,00 |

*Gráfico 1. Presión sonora – zona hospitalaria - educativa.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

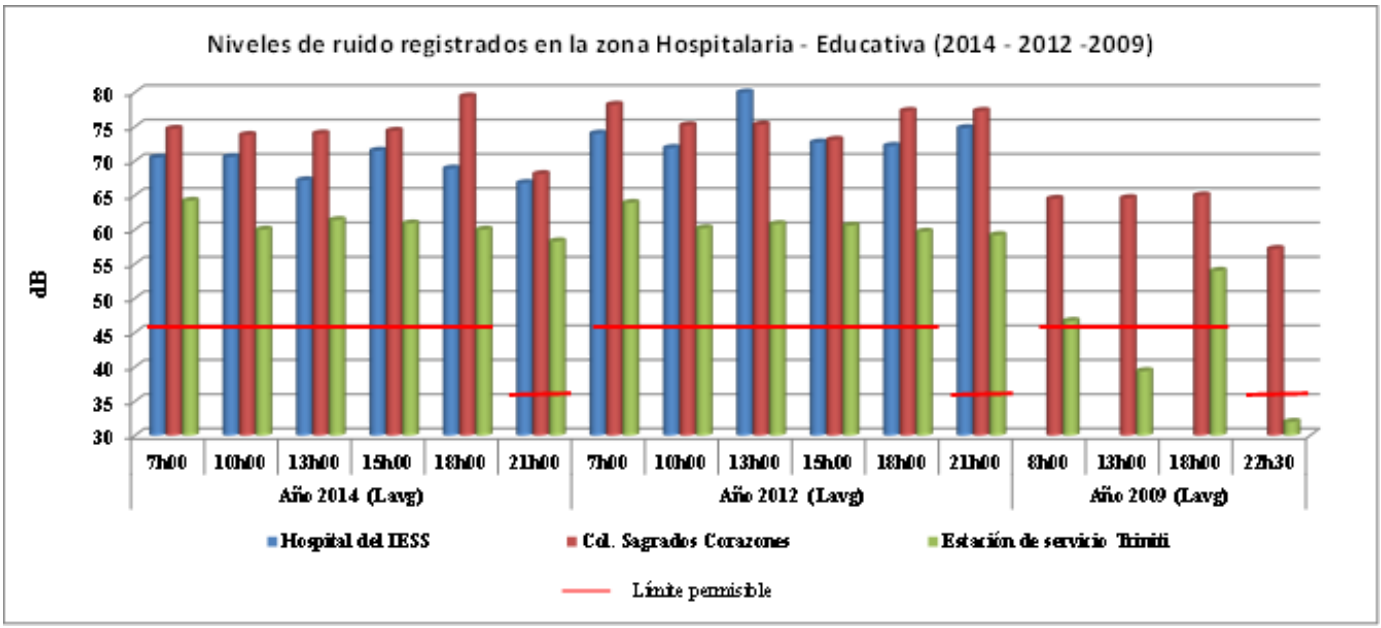


*Tabla 7. Comparación datos – zona residencial.*
*Fuente: Información generada en el proyecto CGA – UDA, 2009-2012-2014.*

| Cod_med | SECTOR | Año 2014 (Lavg) | | | | | | Año 2012 (Lavg) | | | | | | Año 2009 (Lavg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 8h00 | 13h00 | 18h00 | 22h30 |
| R_07 | Challuabamba | 72,6 | 72,8 | 71,1 | 71 | 72,6 | 72,4 | 77,4 | 72,6 | 75,3 | 75,1 | 72,9 | 70,6 | | | | |
| R_08 | Lagunas de Oxidación | 64,3 | 65,1 | 65,1 | 66,5 | 66,6 | 57 | 80,7 | 77,1 | 76,5 | 76,8 | 76,5 | 74,9 | 47,70 | 45,50 | 48,60 | 47,90 |
| R_09 | Monumento a la familia | 62,3 | 63,6 | 63,6 | 65,5 | 64,2 | 61,2 | 72,5 | 75,3 | 71 | 70,2 | 72,3 | 60,3 | | | | |
| R_12 | Camino a Ochoa León | 65,2 | 62,8 | 69 | 62,2 | 63,3 | 63,5 | 36,6 | 55,6 | 45,9 | 57,1 | 49,8 | 49,7 | | | | |
| R_16 | Vía a Sinincay (Miraflores) | 70,6 | 68,2 | 68,7 | 67,6 | 68,8 | 65,2 | 74,1 | 68,8 | 62,9 | 63,6 | 65,6 | 67,4 | | | | |
| R_17 | El Cebollar | 70,5 | 69,5 | 71 | 69 | 69,8 | 66,7 | 69,4 | 72,2 | 76,2 | 72,5 | 73,6 | 55,5 | | | | |
| R_26 | Cristo Rey | 70,5 | 71,2 | 69,7 | 68,4 | 72,6 | 67,4 | 67,4 | 67,3 | 67,4 | 61 | 65,3 | 56,5 | 51,60 | 53,80 | 52,20 | 49,10 |
| R_28 | Vía Baños | 54,5 | 55 | 57 | 62,2 | 53,3 | 49,2 | 63,8 | 64 | 57,6 | 65,9 | 55,9 | 48,1 | 46,70 | 49,10 | 50,10 | 48,80 |
| R_30 | Totoracocha | 66,1 | 65,7 | 65,6 | 64,8 | 70,3 | 60,9 | 65,6 | 65,6 | 64,1 | 67,9 | 66,8 | 64 | 66,40 | 62,90 | 64,20 | 54,20 |

*Gráfico 2. Presión sonora – zona residencial.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

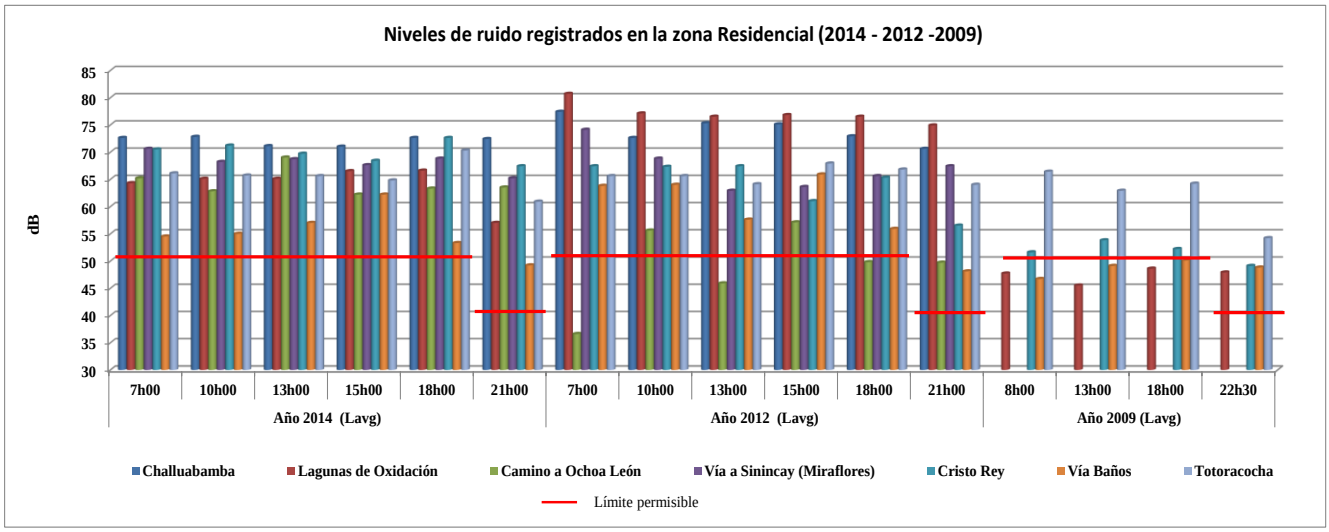


*Tabla 8. Comparación datos – zona residencial mixta.*
*Fuente: Información generada en el proyecto CGA – UDA, 2009-2012-2014.*

| Cod_med | SECTOR | Año 2014 (Lavg) | | | | | | Año 2012 (Lavg) | | | | | | Año 2009 (Lavg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 8h00 | 13h00 | 18h00 | 22h30 |
| R_02 | Gapal | 72,7 | 75,6 | 73,6 | 72,9 | 72,9 | 69,1 | 72,7 | 71,5 | 71,1 | 71,5 | 73 | 67,9 | 68,00 | 67,90 | 70,10 | 60,30 |
| R_04 | Tres Puentes | 67,9 | 68 | 66,8 | 67,5 | 67,6 | 64,3 | 74,3 | 74,8 | 76,5 | 76,3 | 68 | 70,7 | 68,20 | 69,20 | 68,60 | 60,70 |
| R_13 | La Libertad | 53,8 | 59,9 | 61,7 | 56,7 | 58,4 | 55,3 | 65,4 | 48,7 | 52 | 55,7 | 52,3 | 48 | | | | |
| R_15 | Camino al Tejar | 68 | 66,4 | 68 | 68,4 | 66,9 | 65,8 | 70,5 | 74,3 | 70,2 | 73,1 | 70,2 | 64,3 | | | | |
| R_19 | Plaza Bocatti | 69,6 | 67,8 | 70,6 | 70,1 | 69,8 | 67,1 | 74,3 | 73,9 | 74,6 | 73,5 | 76,3 | 74,7 | 73,50 | 73,40 | 73,50 | 70,10 |
| R_23 | Indurama | 74,6 | 74,8 | 72,1 | 72,1 | 73,5 | 71,5 | 74,6 | 76,9 | 74,3 | 78 | 77,2 | 74,2 | 76,00 | 76,30 | 76,50 | 71,10 |
| R_24 | Control Sur | 72,2 | 74 | 71,6 | 76,6 | 74,5 | 70,1 | 77 | 74,6 | 76,9 | 76,1 | 78,7 | 73,9 | | | | |

*Gráfico 3. Presión sonora – zona residencial mixta.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

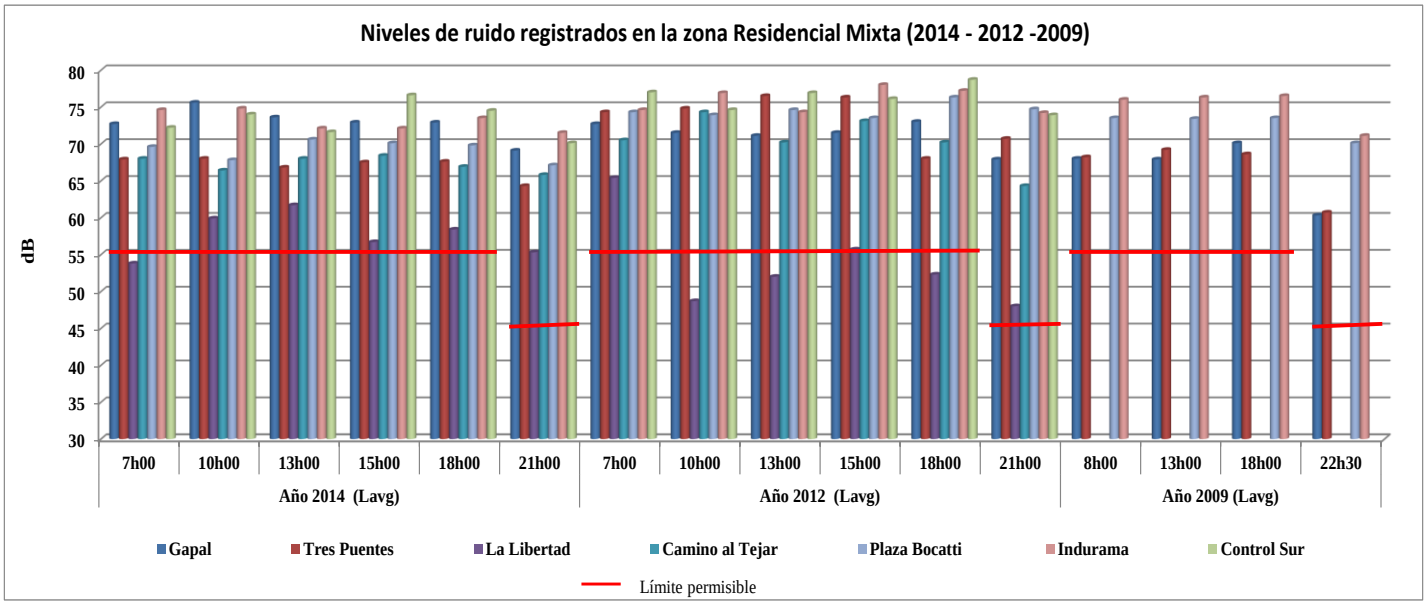


*Tabla 9. Comparación datos – zona comercial.*
*Fuente: Información generada en el proyecto CGA – UDA, 2009-2012-2014.*

| Cod_med | SECTOR | Año 2014 (Lavg) | | | | | | Año 2012 (Lavg) | | | | | | Año 2009 (Lavg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 8h00 | 13h00 | 18h00 | 22h30 |
| R_01 | Estadio | 70,4 | 69,6 | 68,1 | 69,8 | 68,4 | 66,6 | 72,5 | 73,2 | 73,2 | 72,6 | 72,7 | 67,2 | 70,90 | 69,10 | 69,40 | 61,80 |
| R_03 | Aeropuerto | 70,8 | 69,2 | 73,9 | 69,2 | 70,7 | 68,1 | 69 | 71,7 | 74,1 | 70,5 | 74,5 | 69,6 | 72,90 | 74,20 | 74,60 | 63,50 |
| R_25 | ETAPA (Gran Colombia) | 73,5 | 72,2 | 72,1 | 71 | 74,5 | 69,8 | 74,1 | 69,8 | 72,2 | 68,4 | 69,3 | 66,6 | | | | |

*Gráfico 4. Presión sonora – zona comercial.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

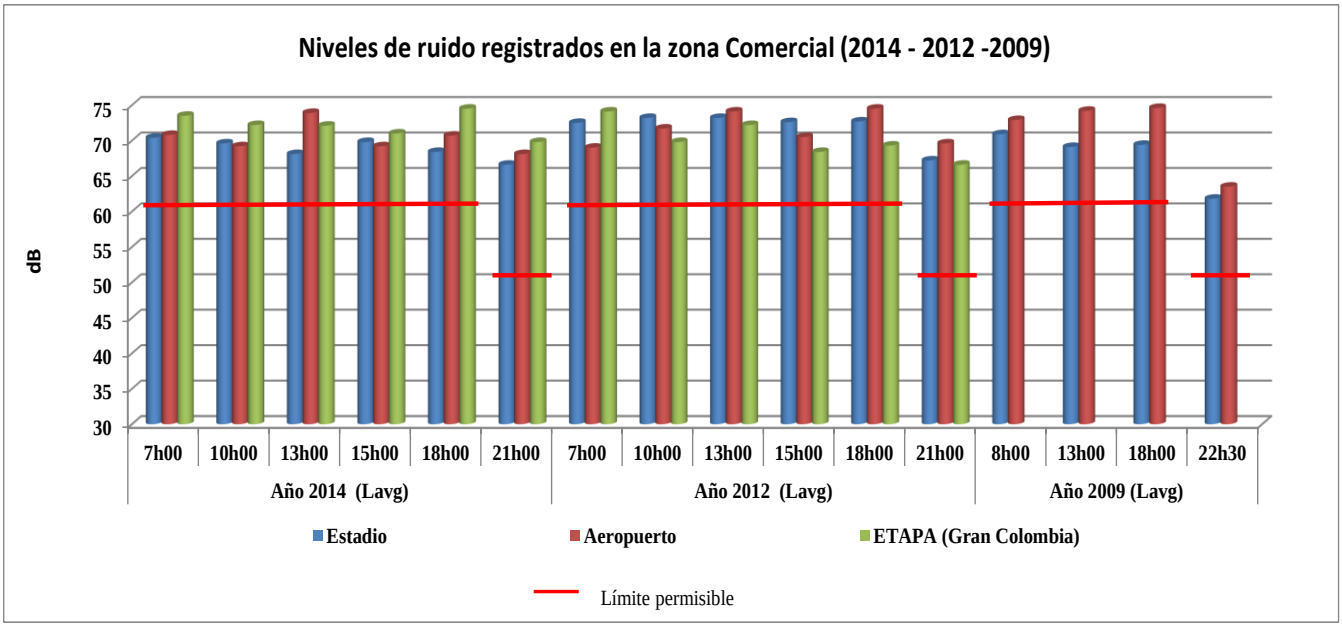


*Tabla 10. Comparación datos – zona comercial mixta.*
*Fuente: Información generada en el proyecto CGA – UDA, 2009-2012-2014.*

| Cod_med | SECTOR | Año 2014 (Lavg) | | | | | | Año 2012 (Lavg) | | | | | | Año 2009 (Lavg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 8h00 | 13h00 | 18h00 | 22h30 |
| R_05 | Frutilados | 72,8 | 73,1 | 73,5 | 72,2 | 70,7 | 72,9 | 71,9 | 72,2 | 72,4 | 72,3 | 76 | 70,6 | 67,60 | 62,60 | 72,10 | 66,10 |
| R_21 | Feria Libre | 62,4 | 63,2 | 61,3 | 62,6 | 63,5 | 66,4 | 74,5 | 74,6 | 73,1 | 72,3 | 72,9 | 71,4 | 71,10 | 71,90 | 72,10 | 66,00 |
| R_27 | Chola Cuencana | 66,8 | 67,3 | 67,6 | 68,8 | 68,5 | 69 | 73 | 78,7 | 74 | 74,3 | 71,4 | 67,6 | 69,60 | 69,50 | 68,30 | 62,40 |
| R_29 | Bajada Centenario | 76,2 | 73,1 | 75,5 | 74,6 | 74,4 | 71,2 | 75,2 | 74,2 | 74,4 | 73,5 | 74,3 | 66,1 | 60,10 | 60,90 | 60,10 | 61,00 |

*Gráfico 5. Presión sonora – zona comercial mixta.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

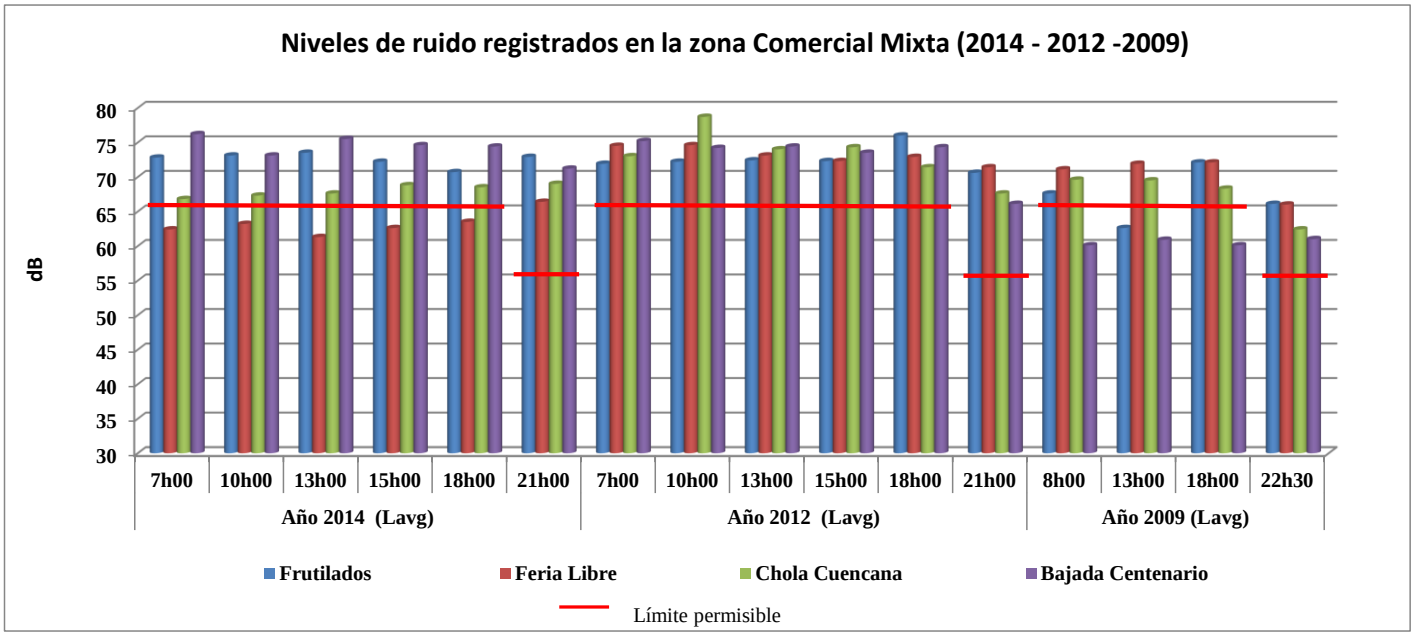
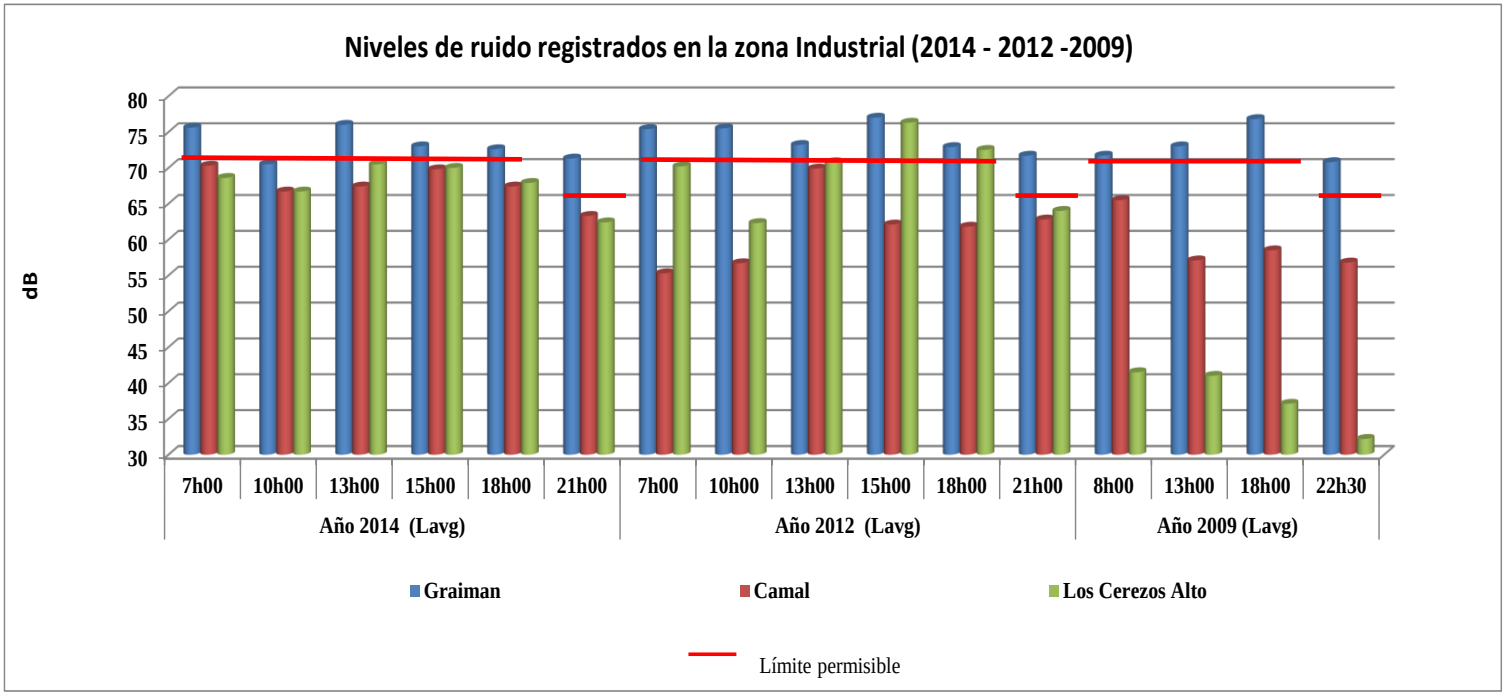


*Tabla 11. Comparación datos – zona industrial.*
*Fuente: Información generada en el proyecto CGA – UDA, 2009-2012-2014.*

| Cod_med | SECTOR | Año 2014 (Lavg) | | | | | | Año 2012 (Lavg) | | | | | | Año 2009 (Lavg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 | 8h00 | 13h00 | 18h00 | 22h30 |
| R_10 | Graiman | 75,6 | 70,5 | 76 | 73 | 72,6 | 71,3 | 75,4 | 75,5 | 73,2 | 77 | 72,9 | 71,7 | 71,70 | 73,00 | 76,80 | 70,80 |
| R_11 | Camal | 70,3 | 66,7 | 67,4 | 69,8 | 67,4 | 63,3 | 55,3 | 56,7 | 69,9 | 62,1 | 61,8 | 62,8 | 65,50 | 57,10 | 58,50 | 56,80 |
| R_14 | Los Cerezos Alto | 68,6 | 66,7 | 70,5 | 70 | 67,9 | 62,4 | 70,2 | 62,3 | 70,8 | 76,3 | 72,5 | 64 | 41,50 | 41,00 | 37,10 | 32,20 |

*Gráfico 5. Presión sonora – zona industrial.*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*



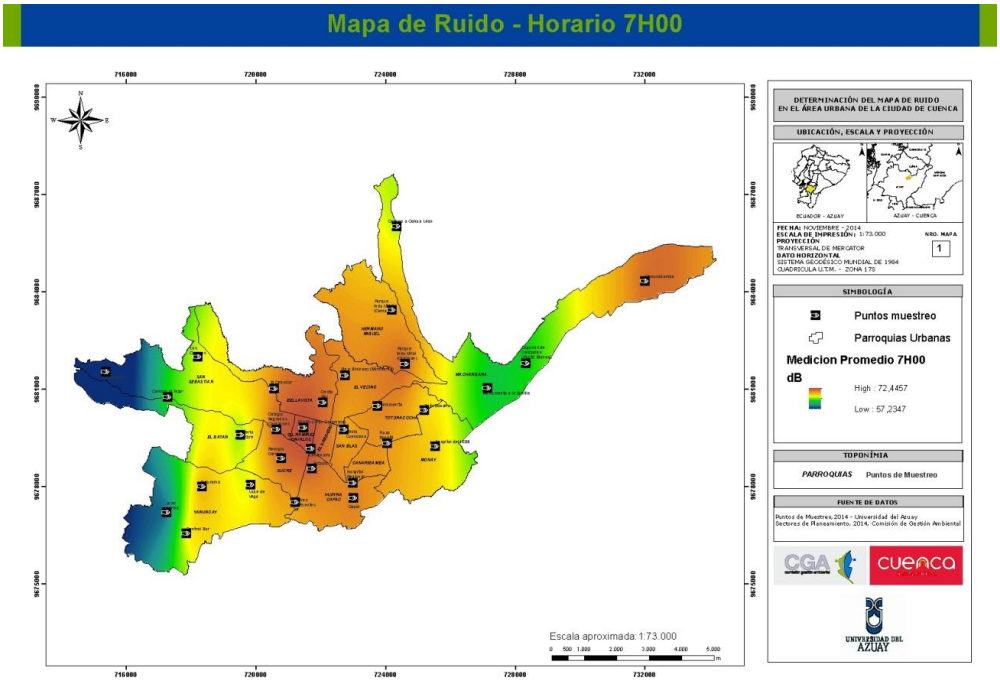

Elaborado: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014

## Procesamiento de datos – mapas de ruido

### *Modelamiento teórico del ruido en la ciudad de Cuenca*

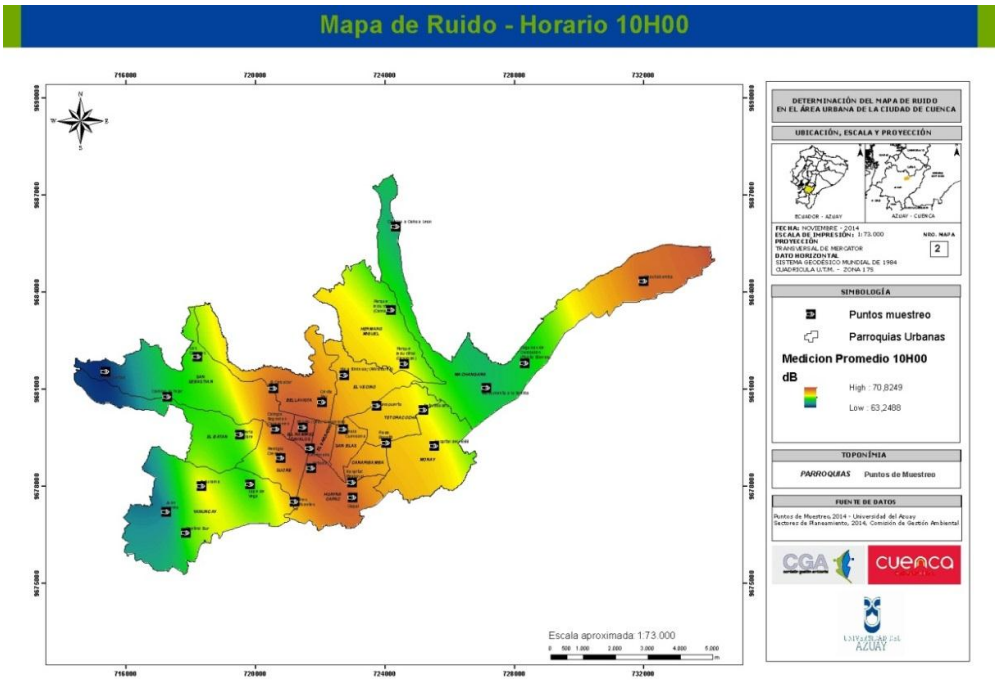
Sobre la base de la interpolación de los datos obtenidos, se realizó la representación del comportamiento de las emisiones de ruido en el territorio urbano de Cuenca a través del método denominado: Kriging ordinario. Es un método basado en auto correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador lineal insesgado que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos, asume que la media aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias, permite la transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error.

A continuación se describen los mapas de ruido para los distintos horarios de levantamiento de datos y son:



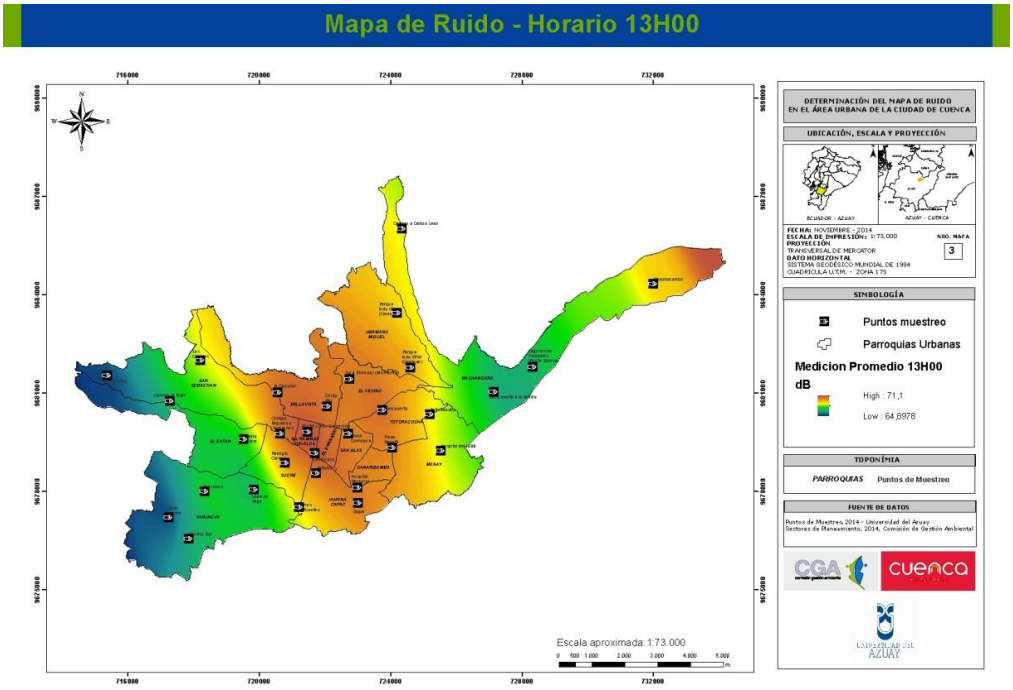

*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

De acuerdo al mapa de ruido generado, se observa que en la ciudad de Cuenca las emisiones sonoras varían desde los 57,23 db hasta los 72,44 db., para el horario de las 7h00.



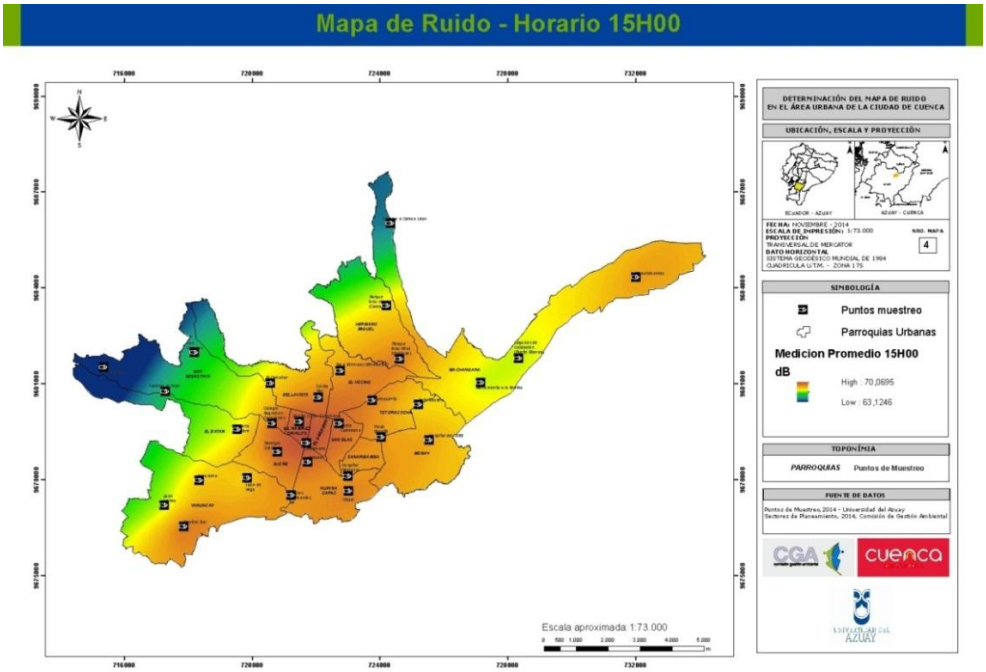

*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

En el horario de las 10h00 las emisiones varían entre las mínimas de 63,23 db y máximas de 70,82 db.



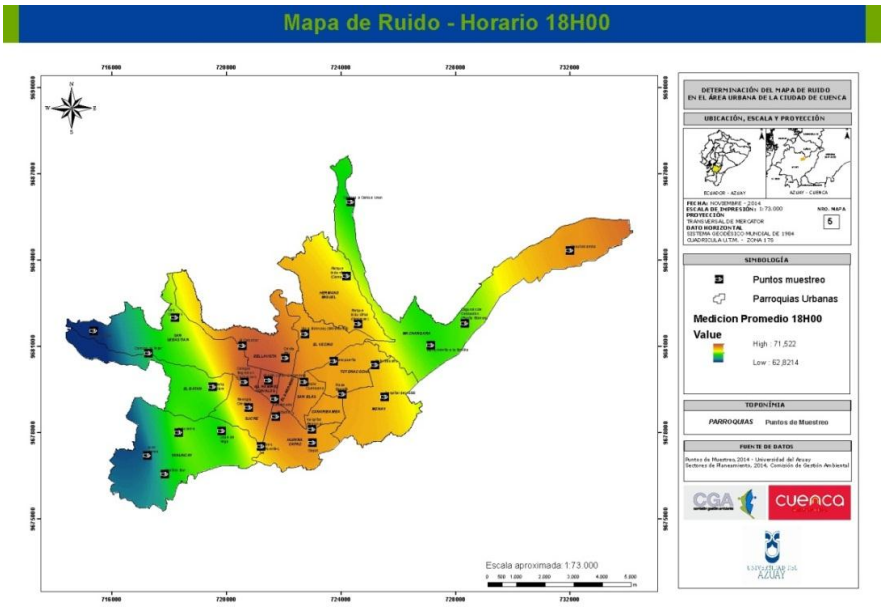

*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

En la ciudad de Cuenca, las emisiones a las 13h00 varían desde los 64,90 db y 71,1 db, y los mayores valores de ruido se concentran en el centro de la ciudad.



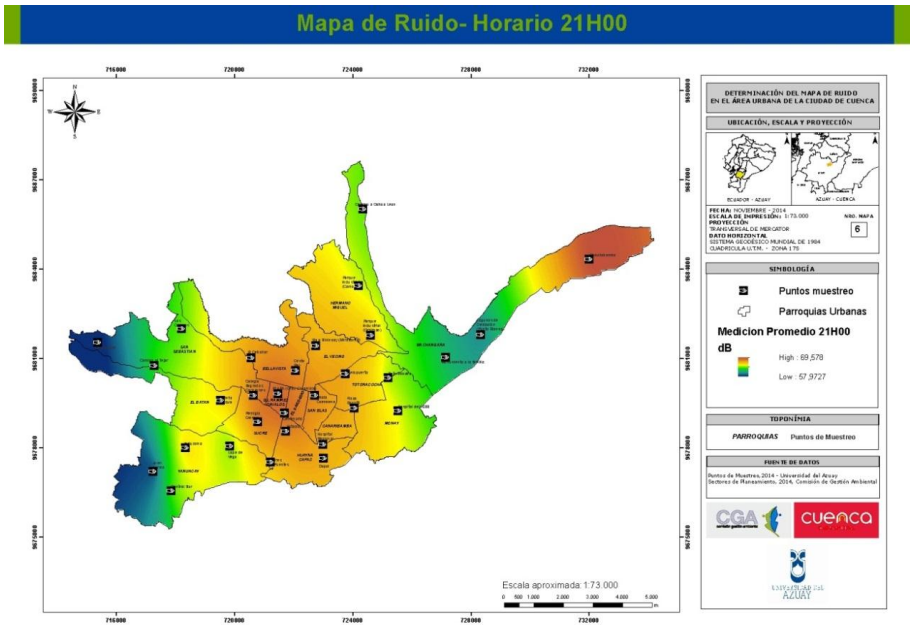

*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

El comportamiento del ruido a las 15h00 en la ciudad varía desde 63 db hasta los 70db. La distribución de las emisiones está a lo largo de la Av. de las Américas y la Circunvalación, los mayores valores se observa que coinciden con el centro histórico.




*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

Las emisiones en el horario de las 18h00 varía entre los 62 db y 71 db, a esta hora las zonas con mayores emisiones son las de Challuabamba y los puntos ubicados en el centro de la ciudad, incluye Gapal, Colegio Sagrados Corazones, calle Remigio Crespo, la bajada del puente Centenario.




*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

En el horario nocturno los límites sonoros disminuyen y oscilan entre los 57db y 69 db, los valores con emisiones más bajas están a las afueras de la ciudad como son los sectores de Baños, Sayausí, Machángara. Las emisiones altas se mantienen en el sector de la vía rápida en la zona de Challuabamba.

***Método CadnA.- Método de simulación de ruido con parámetros de densidad de tráfico***

Se basa en la utilización del software de modelización, cálculo y gestión del ruido ambiental. El propósito es poder contar con un mapa de ruido sobre la base del análisis de factores como son:

- Tráfico promedio diario
- Ancho de la calzada
- Tipo de capa de rodadura

Contando con la información de la densidad de tráfico facilitada por la Unidad de manejo de tránsito del Gobierno Autónomo Descentralizado municipal de Cuenca del Estudio de Actualización del Sistema Integrado de Transporte – 2007 y del levantamiento de información realizado por la Universidad del Azuay relacionada con las características de las vías, se ha podido generar el mapa de ruido con este método, el mismo que se describe a continuación:

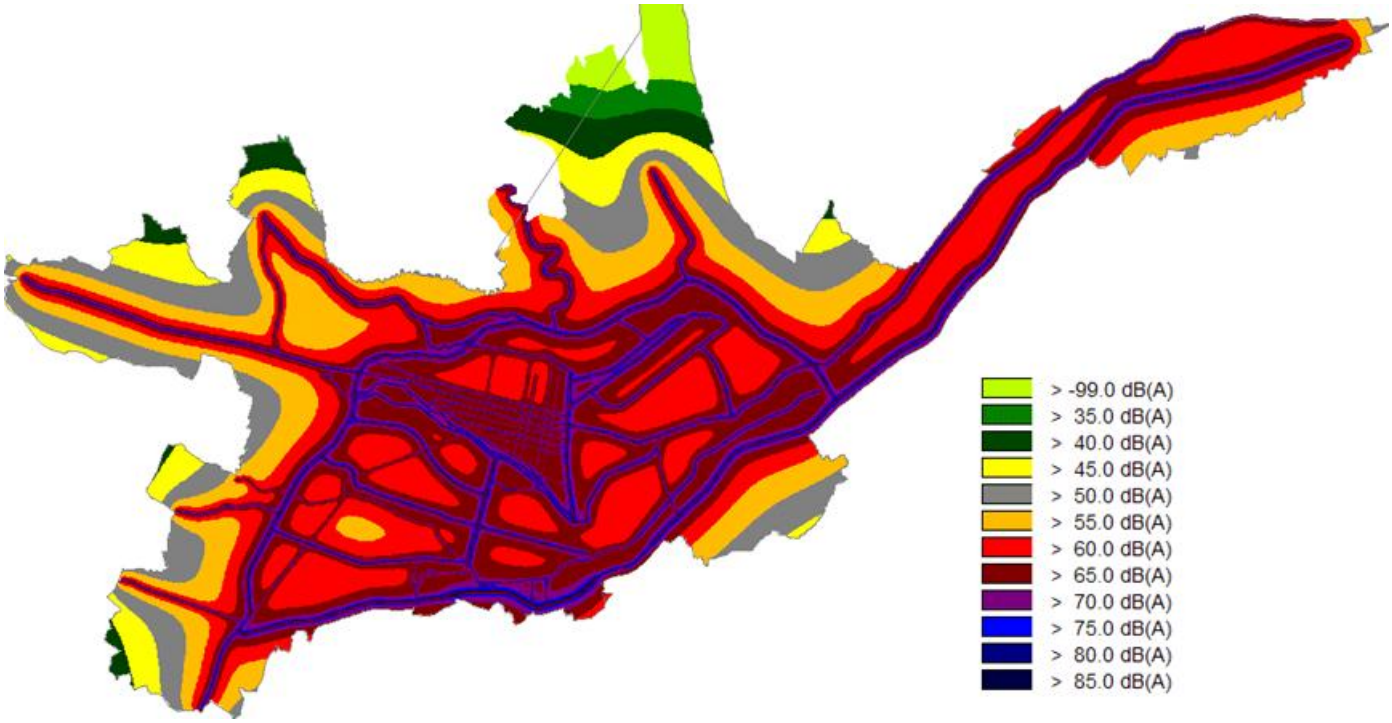



*Figura 2. Mapa de ruido generado por el método CadnA*
*Fuente: Equipo técnico UDA – IERSE – 2014.*

Como se puede observar en el mapa las máximas emisiones de ruido se presentan en las vías de alto tráfico como son la Av. de las Américas, la autopista Cuenca – Azogues, las calles del centro histórico de Cuenca, estas emisiones son hasta de 75 db.

Las emisiones sonoras en la ciudad se concentran en las vías, en tanto que en las áreas en donde se asientan las infraestructuras la emisión de ruido disminuye a valores de hasta 60 db.

## CONCLUSIONES

El 83% de las mediciones realizadas en el año 2014 están sobre la normativa nacional. Para los horarios de las 7h00, 10h00 y 18h00, de los treinta puntos analizados, 3 valores están bajo la norma, lo que representa el 10%, en tanto que el 90% restante está sobre los límites establecidos en el TULSMA. Para los horarios: 13h00, 15h00 y 21h00, dos valores (6,67%) están bajo la normativa en tanto que el 93,33% no cumplen la legislación.

Para la zona hospitalaria – educativa todos los puntos de muestreo en los seis horarios analizados están incumpliendo la normativa ambiental. Para la zona residencial, los nueve puntos evaluados en todos los horarios están sobre la normativa, en la zona residencial mixta, un punto a las 7h00 (R_13_La_Libertad) está bajo el límite del TULSMA. En la zona comercial, los tres puntos evaluados no cumplen los límites de la norma ambiental. En la zona comercial mixta se tomaron cuatro puntos de muestreo, de los cuales el punto R_21_Ferial_Libre presenta niveles bajo la norma en los horarios de las 7h00, 10h00, 13h00, 15h00 y 18h00.

Se evaluaron en la zona industrial tres puntos que representaron 18 mediciones en los seis horarios. En esta zona los dos puntos R_11_Camal y R_14_Cerezos_Alto, presentan emisiones bajo la norma.

En el período 2009 al 2012 las emisiones sonoras en el horario de las 13h00 se incrementan en los 18 puntos de monitoreo que representa 90%. Los incrementos más representativos son los del punto R_14_Cerezos_Alto con 29,8 db, seguido del R_22_Triniti con 21,4 db y el R_26_Cristo_Rey con 13,6 db.

A las 18h00 el incremento se da en el 85% de los puntos monitoreados, con valores máximos de 35,4 db en el punto R_14_Cerezos_Alto, seguido por 27,9 db en el R_08_Lagunas_Oxidación y 14,2 db en el R_30_Bajada_Centenario.

En el período 2012 al 2014 del análisis se puede observar que hay una disminución de las emisiones en varios puntos de monitoreo, en primer lugar se ha establecido que el 75% de los puntos muestreados disminuyen las emisiones correspondientes al horario de las 18h00. La disminución de valores se da hasta en 9,9 db en el R_08_Lagunas_Oxidación, el 8,9 db en el sector de los Tres Puentes. En el horario de las 13h00 se da una disminución de emisiones sonoras en el 60% de los puntos muestreado, los valores que se toman varían hasta en 11,8 db en el R_21_Feria_Libre, seguido por 11,4db en el R_08_Lagunas_Oxidación

Se puede observar un incremento de emisiones en el 25% de los sitios muestreados en el horario de las 18h00, la mayor diferencia se da en el R_30_Totoracocha con 6,2db. En el horario de las 13h00 el 40% de los sitios de monitoreo se incrementan en valores que no son muy representativos, ya que la mayor diferencia es de 1,5 db.

## AGRADECIMIENTO

Especial reconocimiento a la Ing. Priscila Samaniego e Ing. Juan Maita de la UDA y al equipo técnico de la Comisión de gestión ambiental (CGA), que formaron parte del equipo técnico que elaboró el presente proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Costa, S. B. (2011). Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise: a case study in the city of Sorocaba, Sao Paulo, Brazil. Environmental monitoring and assessment, 172, págs. 329–337.
2. Costa, S. B., & Lourenço, R. W. (2011). Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise: a case study in the city of Sorocaba, Sao Paulo, Brazil. Environmental monitoring and assessment, 172, págs. 329–337.
3. Comisión de Gestión Ambiental; (2009). Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año base 2007.
4. Ibarluzea Maurolagoitia, J., Larrañaga Padilla, I., & Aspuru Soloaga, I. (2004). Percepción del ruido por la población residente en el entorno de la bahía de Pasaia. Salud Ambiental, 61-69.
5. Krauss, F. (2003). Metodología para la evaluación del ruido por tráfico vehicular en zonas urbanas. Universidad Santiago de Chile. Santiago: Universidad Santiago de Chile.
6. Ministerio del Ambiente. (2003). Libro VI Anexo 5 De la Calidad Ambiental. En Texto Unificado de Legislación Ambiental (pág. 13). Quito.
7. OCDE. (1995). Reducción del ruido en el entorno de las carreteras. OCDE, Francia. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras.
8. Organización Mundial de la Salud. (2012). OMS. Recuperado el 29 de 06 de 2012, de http://www.who.int/es/
9. Platzer, L., Iñiguez, R., Cevo, J., & Ayala, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. Revista de Otorrinolaringología (67), 122-128.
10. Sanz, Benjamín García, and Francisco Javier Garrido García. Fundación" La Caixa". (2003). La contaminación acústica en nuestras ciudades. Cataluña, España.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# SELECCIÓN DE SITIOS CANDIDATOS PARA NUEVOS SERVICIOS DE SALUD PÚBLICA, UTILIZANDO EVALUACIÓN MULTICRÍTERIO

**Santana Castañeda, Giovanna[1]; Aguilar Martínez, Adrían Guillermo[2]; Santana Juárez, Marcela Virginia[1]**

[1]Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México
[1]gsantanac@uaemex.mx, mvsantana7@hotmail.com
[2]Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México
[2]adrian@servidor.unam.mx

**RESUMEN**

El logro de la localización óptima para las actividades humanas sobre el territorio es una tarea de gran importancia que tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de la población. La planificación territorial confiere a los servicios de salud un papel importante como instrumento de desarrollo urbano y regional. Las actividades económicas y el bienestar social mejoran cuando existe un sistema de servicios adecuadamente ubicados.

La localización y accesibilidad, juegan un rol fundamental en la calidad de los servicios ofrecidos a través de los diversos equipamientos urbanos, (en este caso, los servicios sobre los que se enfocan son servicios públicos de salud de la Secretaria de salud), así como factores físico-geográficos, socio-económicos y normativos; todos ellos evaluados y seleccionados para, con ayuda de las técnicas de evaluación Multicríterio, obtener un modelo de los sitios candidatos en donde se obtienen los mayores beneficios.

Este estudio es realizado para la Zona Metropolitana de Toluca, México, con una extensión de 2,255 $km^2$, una población de 1, 936,126 de habitantes, y una oferta de 165 unidades médicas de la secretaria de salud (SSA).

## FUNDAMENTO

Daskin (1995) declaró de forma breve que el éxito o fracaso de los servicios privados y públicos depende de las localizaciones elegidas para esos servicios. Más aún, en muchas circunstancias las localizaciones resultan ser bastante críticas. Por ejemplo, en la asistencia a personas que sufran ataques de corazón, el mal emplazamiento de las ambulancias provocará un incremento en el tiempo promedio de respuesta, con el incremento asociado en la probabilidad de fallecimiento (Handler y Mirchandani, 1979; Daskin, 1995).

Los análisis multicríterio y los modelos de decisión multiobjetivo ofrecen la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de todas las facetas de los problemas de planificación, particularmente debido a que varios efectos intangibles, como los sociales y las repercusiones ambientales pueden ser considerados cabalmente (Nijkamp y Van Delft, 1977). El problema en general de la evaluación multicríterio es seleccionar la alternativa que "mejor" satisfaga las preferencias del decisor.

Todo ello permite tener puntos concretos para el análisis y discusión sobre la eficiencia de los servicios de salud que están a cargo de la SSA y tener la posibilidad de incorporar otras variables que podrían ser importantes en el estudio de la salud de la población, como las enfermedades y los niveles de inequidad que impactan sobre todo en las localidades rurales.

## OBJETIVO

Considerando fundamentos teóricos sobre geografía de la salud y utilizando técnicas de evaluación multicríterio, determinar los sitios candidatos para localizar nuevos servicios de salud de la SSA con los que se obtengan mayores beneficios a la población.

## MATERIAL Y MÉTODO

La evaluación multicríterio es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de las tomas de decisiones como lo menciona Barredo desde 1996. La toma de decisiones multicríterio debe ser atendida como un "mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios" como lo dice Colson y de Bruin en 1989.

Los datos que se dividieron en tres grupos: socio-económicas, esta se subdivide en determinantes estructurales (Población total (Demanda), Grado promedio de escolaridad, Porcentaje de derechohabiencia a servicios de salud, Porcentaje de población desocupada, Porcentaje de población con limitaciones en la

actividad, Índice de dependencia demográfica, Viviendas particulares habitadas con piso de tierra y Viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje) y determinantes intermedios (Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador, Mortalidad y Morbilidad); físico-geográficos (Accesibilidad a vías de transporte y Pendiente) y restricciones (Cuerpos de agua, Bosque y Unidades de consulta externa existentes).

Para obtener los pesos de cada uno de los factores se utilizó el método de las ponderaciones analíticas de Saaty.

## RESULTADOS

La realización de la EMC nos ha mostrado que existen unidades espaciales en las que la oferta, en este caso, las unidades de consulta externa, no cubren el total de la demanda.

Con relación al resultado, la gran parte de los sitios candidatos con mayor aptitud están en la región centro, en el municipio de Toluca, debido en gran medida a la gran cantidad de población, sin embargo existe otros lugares con aptitudes altas a lo largo de la Zona Metropolitana de Toluca.

**Palabras clave**: Evaluación multicriterio, servicios de salud pública y sitios candidatos.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# DETERMINACIÓN DE DESIGUALES GRADOS DE EXPOSICIÓN POTENCIAL A CONTAMINACIÓN MINERA EN LA LOCALIDAD DE ANDACOLLO, CHILE

**Fuenzalida Díaz, Manuel[a]; Cobs Muñoz[b], Víctor; Jiménez Castro, Fabián[c]**
**Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado**
**[a](mfuenzal@uahurtado.cl)**
**[b](vcobs@labtys.cl)**
**[c](contacto@labtys.cl)**

## RESUMEN

Desde la perspectiva de la justicia ambiental, la presente comunicación busca dilucidar desiguales grados de exposición potencial a contaminantes en la población de la comuna de Andacollo; un asentamiento urbano con vocación minera histórica en el centro-norte de Chile. La premisa general de partida señala que los contaminantes asociados a las actividades humanas, cuando se extienden por el territorio no afectan de forma homogénea a las diferentes categorías sociales. Para determinar el grado de desigualdad en cuestión, se propone un análisis espacial multivariante en base a tres variables principales: (1) factor socioeconómico, (2) densidad poblacional y, (3) proximidad a sitios de actividad minera y sus residuos. Como resultado se establecen jerarquías de riesgo, donde aquellos grupos sociales más vulnerables enfrentan una doble carga frente a un contexto de contaminación generalizado en la localidad. Estos resultados aportan en aclarar las realidades territoriales y patrones de justicia ambiental.

**Palabras clave**: Justicia ambiental, análisis espacial, desigualdad espacial, sistemas de información geográfica, minería.

## INTRODUCCIÓN

A través de la historia de nuestra sociedad, los minerales han supuesto un rol importante en la evolución de la misma, constituyéndose la minería como una actividad económica preponderante globalmente, rol que se mantiene en las diferentes economías y sociedades del siglo XXI. Sin embargo, vivimos hoy la paradoja de constatar que la aceleración del crecimiento económico va de la mano con la desaceleración del desarrollo: mientras mejoran los índices macroeconómicos, vemos deteriorar los indicadores que miden evoluciones cualitativas entre sectores, territorios y personas (Boisier, 1997 en Guimarães, 2001). Según el concepto de justicia ambiental de Harner et al. (2002) citado por Henríquez et al. (2009), los costos y amenidades ambientales deben ser equitativamente distribuidas en la sociedad, junto a ello se puede señalar que, la contaminación asociada con actividades humanas no se manifiestan de forma homogénea en el territorio. Por factores socioeconómicos los sistemas ambientales son "repartidos o diversificados", lo que genera la situación de que a cada segmento social le corresponde finalmente un tipo y calidad ambiental distinta, generalmente en beneficio de los sectores más ricos y en desmedro de los más pobres (Ídem).

Desde al ámbito académico y últimamente desde lo político, han surgido voces que manifiestan la importancia de hacer visibles esas diferencias, en especial, cuando son injustas y evitables (juicio ético), pues estaríamos en presencia de inequidad (Fuenzalida, 2013). Las acciones humanas tienen sus repercusiones a diferentes escalas, tanto espaciales como temporales, donde existen poblaciones sometidas a mayores riesgos ambientales que otras y son generalmente excluidas del proceso de toma de decisiones (Sarokin y Schulkin, 1994 en Moreno, 2010). De acuerdo a ello, se dará cuenta de ¿quién? y ¿dónde? asumen externalidades ambientales relativas a la minería, industrial y artesanal histórica, buscando en esta investigación elucidar las asimetrías y diferentes grados de exposición potencial a residuos mineros que atentan contra la salud de la población de la localidad de Andacollo; un asentamiento urbano con vocación minera histórica ubicada en el norte-centro de Chile.

Se revisan de forma concisa en la sección posterior los materiales utilizados y métodos aplicados, para terminar con la manifestación e interpretación de resultados y discusiones de la investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se busca determinar desiguales grados de exposición potencial a residuos mineros, a través de un análisis espacial multivariado, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Se utilizarán tres variables principales, (1) factor socioeconómico de la población, (2) densidad de población por manzana censal y, (3) proximidad de la población a puntos de acumulación de residuos y actividad minera en la localidad de Andacollo, Región de Coquimbo, Chile (ver Figura 1).

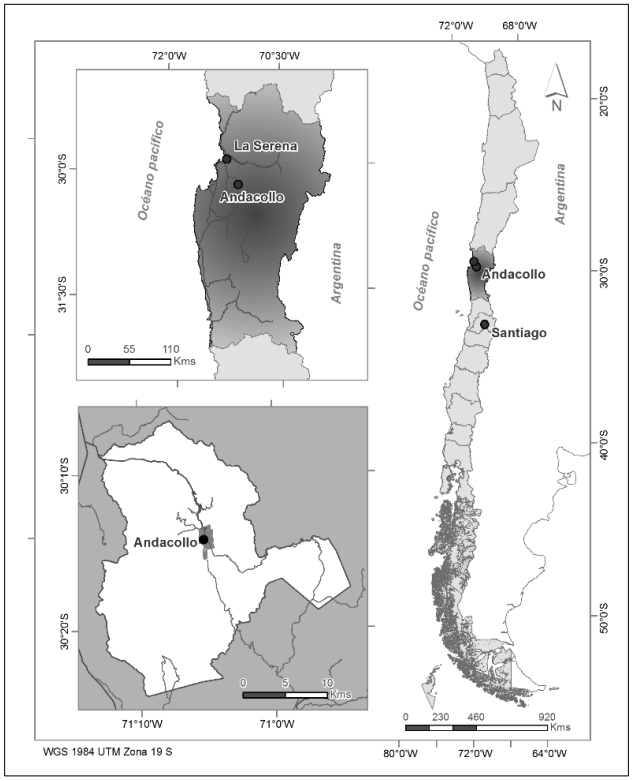



*Figura 1. Localización de la comuna de Andacollo.*
*Fuente: Elaboración de los autores en base a información INE, 2012.*

Según la OMS (2000), el ingreso económico y la posición social son los factores determinantes de la salud más importantes (Canadá Health-OPS, 2000 en Lip y Rocabado, 2005). De esta forma, se construye la variable de factor socioeconómico de la población en torno a tres subvariables que dentro de su estructura o disposición fuesen relativamente estables a lo largo del tiempo y, que a su vez, no fueran mayormente afectadas por las distintas dinámicas que se dan a escala local. Extraídas de la base de datos del Censo de vivienda y población del año 2002, están son: (1.1) años de estudio del jefe de hogar (mayor vulnerabilidad con menos de 10 años de estudio, que es el promedio nacional), (1.2) lugar o región de residencia (sobre el 90% de no cambio de residencia supone mayor vulnerabilidad) y, (1.3) viviendas con conexión a alcantarillado (la mayor vulnerabilidad aparece en la medida que se encuentren viviendas sin conexión). Con estas subvariables se intenta recoger información sobre herramientas intelectuales de la población, residencia en el lugar de estudio y el nivel de desventaja social a partir de la infraestructura, atributos abordados por la OPS (2011) como personas, tiempo y lugar (ver

*Tabla 1*).

*Tabla 1. Criterios de subvariables de vulnerabilidad social.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| *Vulnerabilidad social* | *Criterios* | |
|---|---|---|
| Subvariable | 0 (situación favorable) | 1 (situación desfavorable) |
| (1.1) Años de estudio | ≥ 10 años | < 10 años |
| (1.2) Residencia | < 90% | ≥ 90% |
| (1.3) Saneamiento | = 100% | < 100% |

En términos de (2) densidad de población, se reporta como un factor crítico en la transmisión de enfermedades propagadas por vía respiratoria y por contacto personal (OPS, 1982). A una menor escala (vivienda) se puede evidenciar el hacinamiento como uno de los principales factores de contagios de enfermedades, principalmente las de carácter respiratorio. En el presente caso de estudio, a mayor densidad poblacional en un contexto de riesgo para la salud, desencadena mayor grado de prioridad en torno a políticas públicas sanitarias, sociales y ambientales, pues en un espacio determinado hay mayor número de personas afectadas. En consecuencia, en una reclasificación de tres quiebres por cuantiles, aquél que contiene a la población con una densidad poblacional igual o mayor a 2/3 del total por manzana censal, supone una mayor cantidad de población por metro cuadrado susceptible a un riesgo potencial y por ende, mayor desigualdad frente a las condiciones del ambiente.

Tal como señala Tobler (1970) citado por Waller y Gotway (2004) en su ley de autocorrelación espacial, todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes. Se adopta esta aseveración para evidenciar que bajo el contexto de zona saturada en el que se encuentra la comuna de Andacollo, existe una diferenciación en cuanto las externalidades negativas a las que está expuesta su población urbana, en cuanto a que la población que se encuentra más cercana a las fuentes residuales y de emisión de contaminantes se visualiza como más vulnerable y con ello, presentan mayor desigualdad. Dado que no existe una metodología clara y concreta para realizar análisis de (3) proximidad en relación a la distancia existe a las fuentes emisoras de contaminantes, se establecen rangos de distancias lineales (*buffers*) de 100, 250, 500 y 1.000 metros respecto a las (3.1) faenas mineras y a los (3.2) depósitos de material residual de la minería hacia las manzanas censales, con el fin de dilucidar cercanía de la población sobre dichos eventos espaciales. Se aproxima el valor en metros a la menor proximidad dentro de cada unidad territorial de análisis. Al contar con las variables construidas y depuradas, se trabaja en un ámbito *booleano* con el fin de llevar la información espacial a clases con similares significados respecto al

objetivo de la presente investigación, y dar con un mapa final de desigualdad a partir de una aritmética de mapas de las variables antes descritas.

## RESULTADOS

### Vulnerabilidad social

Las subvariables (1.1) años de estudio, (1.2) residencia y, (1.3) saneamiento que componen esta variable se comportan en su mayoría de forma desfavorable, salvo saneamiento, que numéricamente la situación favorable está por sobre el 50%, lo cual no deja de ser preocupante en un contexto donde casi la mitad de las viviendas no poseen conexión a alcantarillado (ver Tabla 2 y Figura 2).

*Tabla 2. Resultados de las subvariables de Vulnerabilidad social según situación favorable o desfavorable. Fuente: Elaboración propia.*

| *Vulnerabilidad social* | *Resultados* | |
|---|---|---|
| Subvariable | 0 (situación favorable) | 1 (situación desfavorable) |
| (1.1) Años de estudio | 861 personas (9.3%) | 8.417 personas (90.7%) |
| (1.2) Residencia | 2.414 personas (26%) | 6.864 personas (74%) |
| (1.3) Saneamiento | 4.871 personas (52.5%) | 4.407 personas (47.4%) |




*Figura 2. Cartografías resultado de subvariables años de estudio (a), lugar de residencia (b) y saneamiento (c)*
*Fuente: Elaboración propia.*

El resultado de la variable en sumatoria de las subvariables antes señaladas, muestra que en una alta vulnerabilidad hay 934 hogares, con 1.634 mujeres y 1.595 hombres. En la clase de vulnerabilidad social media alta, se presentan 1.217 hogares con 2.222 mujeres y 2.118 hombres, mientras que en las clases media baja y baja, corresponden en total 505 hogares con 851 mujeres y 891 hombres (ver Tabla 3).

*Tabla 3. Desglose de la variable vulnerabilidad social, según mujeres, hombres y hogares por clase de vulnerabilidad.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| Vulnerabilidad social | | | |
|---|---|---|---|
| Clasificación | Mujeres | Hombres | Hogares |
| Baja | 112 | 114 | 64 |
| Media baja | 739 | 777 | 441 |
| Media alta | 2.222 | 2.118 | 1.217 |
| Alta | 1.634 | 1.595 | 934 |

En general, hombres y mujeres se presentan de forma relativamente homogénea en las diferentes clasificaciones de vulnerabilidad social, sin embargo, donde existe mayor presencia es en la clase media alta y alta, con un total de 7.569 personas en 2.151 hogares, situación que espacialmente representada en la cartografía correspondiente (ver Figura 3).

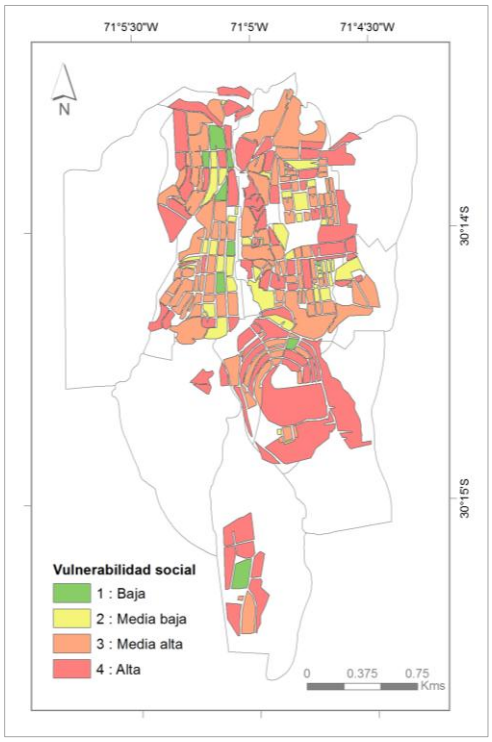



*Figura 3. Mapa resultado de la variable de vulnerabilidad social por clasificaciones.*
*Fuente: Elaboración propia.*

**Densidad poblacional**

En términos de densidad poblacional alta, se presentan 1.046 hogares con 1.933 mujeres y 1.893 hombres. En la clasificación de densidad media, hay 1.071 hogares, 1.858 mujeres y 1.790 hombres, mientras que solo el 20% de los hogares responden a una densidad demográfica baja, con 889 mujeres y 915 hombres (ver Tabla 4) La dinámica señalada, se puede apreciar de forma puntual respecto a la densidad alta concentrada en el sector este, de igual forma un sector de menor tamaño al suroeste de Andacollo y manzanas censales aisladas al sur (ver Figura 4).

*Tabla 4. Desglose de la variable densidad poblacional, según mujeres, hombres y hogares por clase de vulnerabilidad.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| Densidad poblacional | | | |
|---|---|---|---|
| Clasificación | Mujeres | Hombres | Hogares |
| Baja | 889 | 915 | 534 |
| Media | 1.858 | 1.79 | 1.071 |
| Alta | 1.933 | 1.893 | 1.046 |

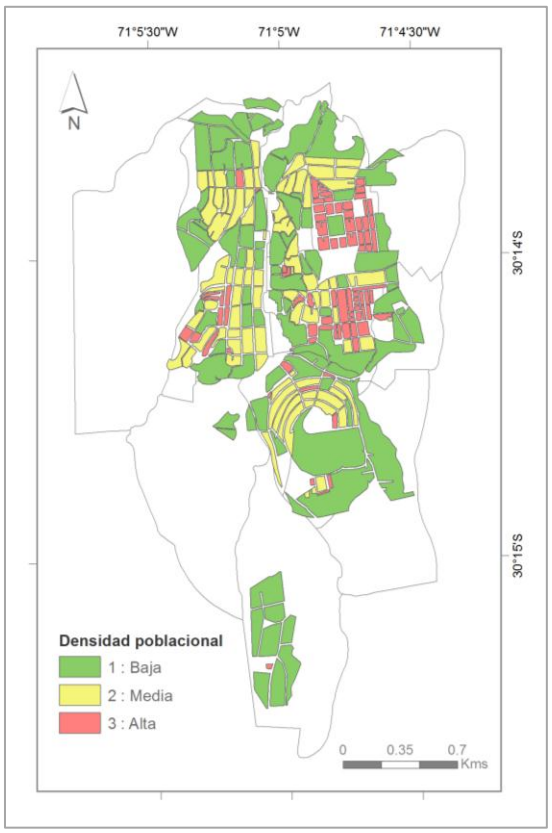



*Figura 4. Mapa resultado de la variable de densidad poblacional por clasificaciones.*
*Fuente: Elaboración propia.*

**Proximidad a puntos de riesgo potencial**

La población que se encuentra muy cerca a las faenas mineras (Alta proximidad) según el análisis realizado corresponde a 2.032 personas, lo que representa un 22% del total de la población. A una proximidad media alta se encuentra un 31% de la población, mientras que en una proximidad media baja y baja, se concentra el 48% de la población. En cuanto a la distancia de la población a los residuos minerales (depósitos históricos) insertos en la ciudad, en una proximidad alta y media alta se encuentran 1.682 y 2.759 personas respectivamente. Por otro lado, al menos el 50% de la población de encuentra a una proximidad media baja y baja de los residuos señalados (ver Tabla 5; Figura 5). Cabe destacar la norma instaurada en Alcalá, España con respecto a la restricción para localización o ubicación de industrias de actividades peligrosas, nocivas, molestas entre otras, donde exista población a menos de 2.000 metros.

Según los resultados de la variable de proximidad a faenas y residuos, la población altamente cercana a dichos puntos de riesgo son 1.881 personas en 575 hogares. En una proximidad media alta se encuentran 660 hogares con 1.119 mujeres y 1.055 hombres, mientras que en una cercanía media baja y baja, hay 1.415 hogares en total con 5.223 personas (ver Tabla 6).

El sector más cercano a puntos de riesgo potencial de contaminación se encuentran al oeste y norte de Andacollo, de igual forma, un punto de alta proximidad se encuentra al sur de la ciudad.

*Tabla 5. Resultados de las subvariables de Proximidad a faenas mineras y residuos minerales según clasificación. Fuente: Elaboración propia.*

| *Proximidad a faenas y residuos* | *Resultados por clasificación* | | | |
|---|---|---|---|---|
| Subvariable | 1 (Baja) | 2 (Media baja) | 3 (Media alta) | 4 (Alta) |
| (3.1) Faenas mineras | 350 personas (3.8%) | 4.032 personas (43.5%) | 2.864 personas (30.9%) | 2.032 personas (21.9%) |
| (3.2) Residuos minerales | 724 personas (7.8%) | 4.113 personas (44.3%) | 2.759 personas (29.7%) | 1.682 personas (18.1%) |

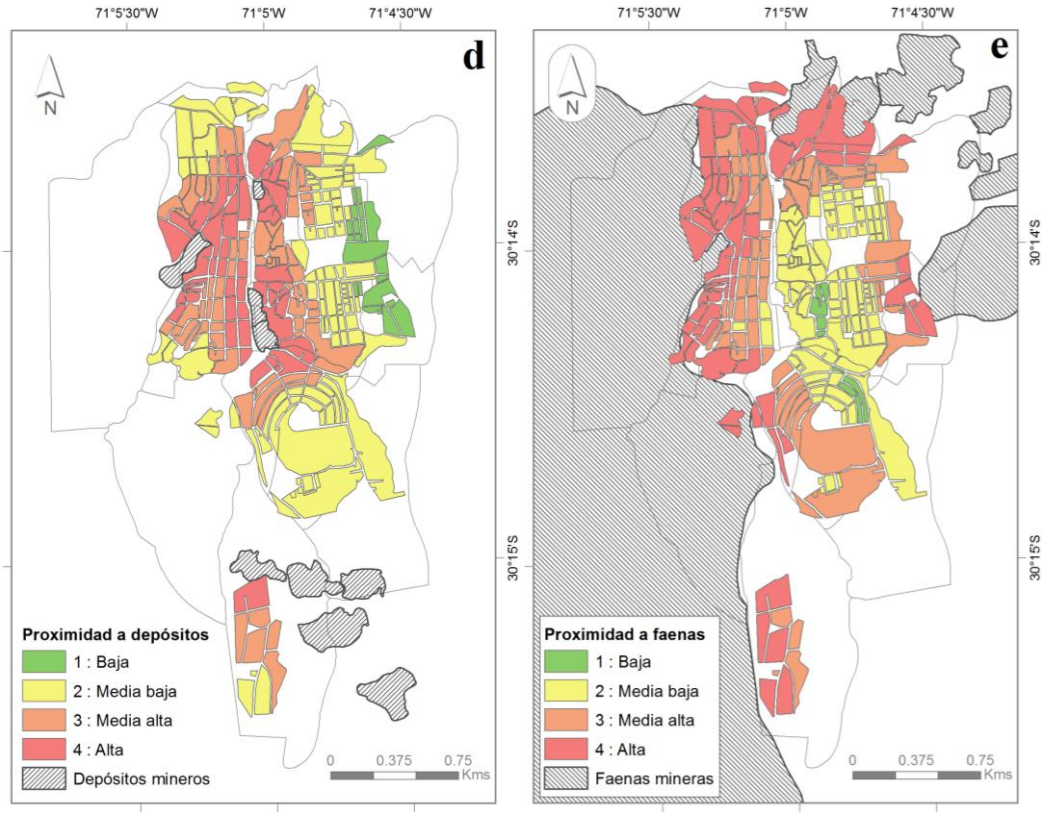



*Figura 5. Cartografías resultado de subvariables proximidad a depósitos (d) y proximidad a faenas (e). Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 6. Desglose de la variable proximidad a faenas y residuos, según mujeres, hombres y hogares por clasificación de proximidad.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| Proximidad a faenas y residuos | | | |
|---|---|---|---|
| Clasificación | Mujeres | Hombres | Hogares |
| Baja | 505 | 526 | 260 |
| Media baja | 2.119 | 2.073 | 1.155 |
| Media alta | 1.119 | 1.055 | 660 |
| Alta | 937 | 944 | 575 |

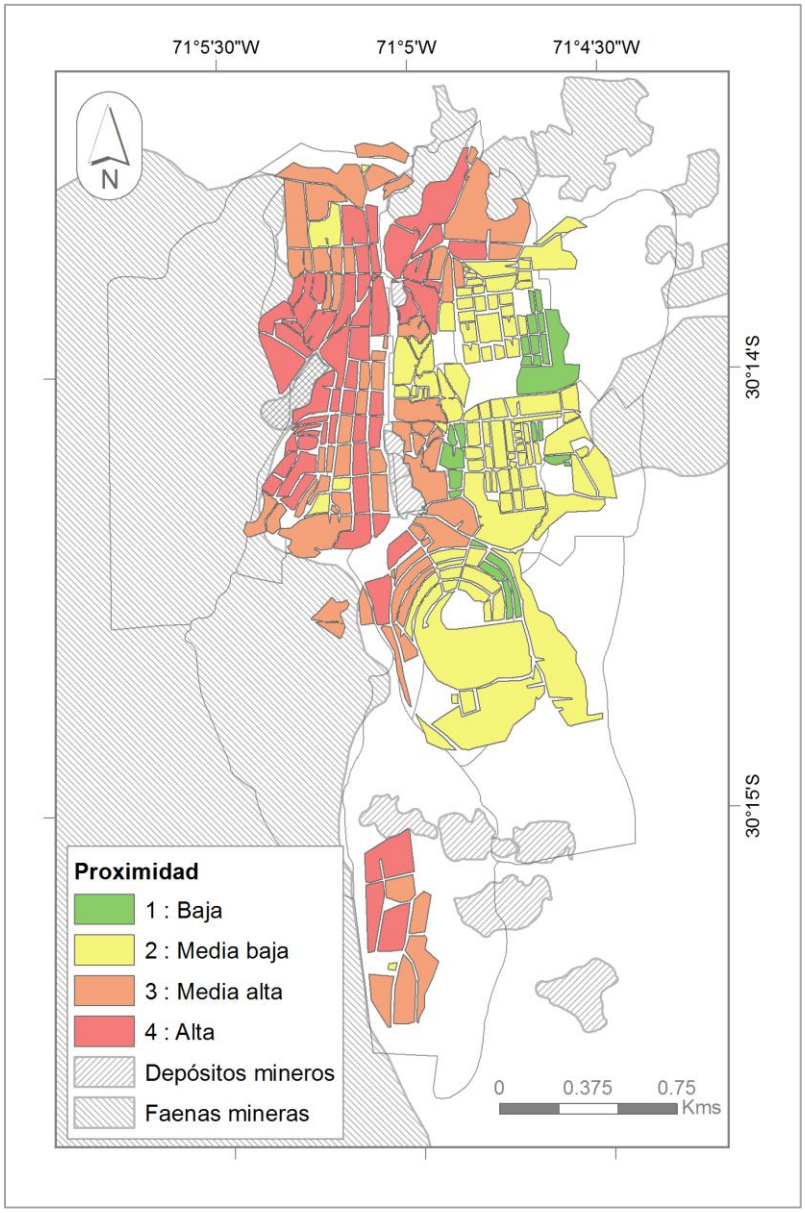



*Figura 6. Mapa resultado de la variable de proximidad a faenas y residuos según diferentes clasificaciones. Fuente: Elaboración propia.*

**Grados de riesgo potencial (resultado final)**

La sumatoria de las variables construidas reclasificada en cuatro clases, muestran casi un 60% de hogares con un alto riesgo potencial, siendo estos los que presentan mayor desigualdad frente al total de la población, asumiendo una doble carga frente al contexto generalizado de contaminación ambiental de la ciudad. Con un 31% se concentran los hogares con un grado de riesgo medio alto, mientras que en las clases medio bajo y bajo, se encuentra el 9% de los hogares de Andacollo (ver Tabla 7).

*Tabla 7. Desglose del resultado final de grado de riesgo potencial, según mujeres, hombres y hogares por clasificación de riesgo. Fuente: Elaboración propia.*

| Grado de riesgo | | | |
|---|---|---|---|
| Clasificación | Mujeres | Hombres | Hogares |
| Bajo | 107 | 103 | 59 |
| Medio bajo | 261 | 294 | 178 |
| Medio alto | 1463 | 1417 | 832 |
| Alto | 2849 | 2784 | 1582 |

En la representación espacial del riesgo se puede observar fuertemente la clasificación alto y medio alto en la totalidad del territorio de la ciudad, sin embargo se aprecian ciertos puntos esporádicos de grado de riesgo medio bajo y bajo (ver Figura 7).

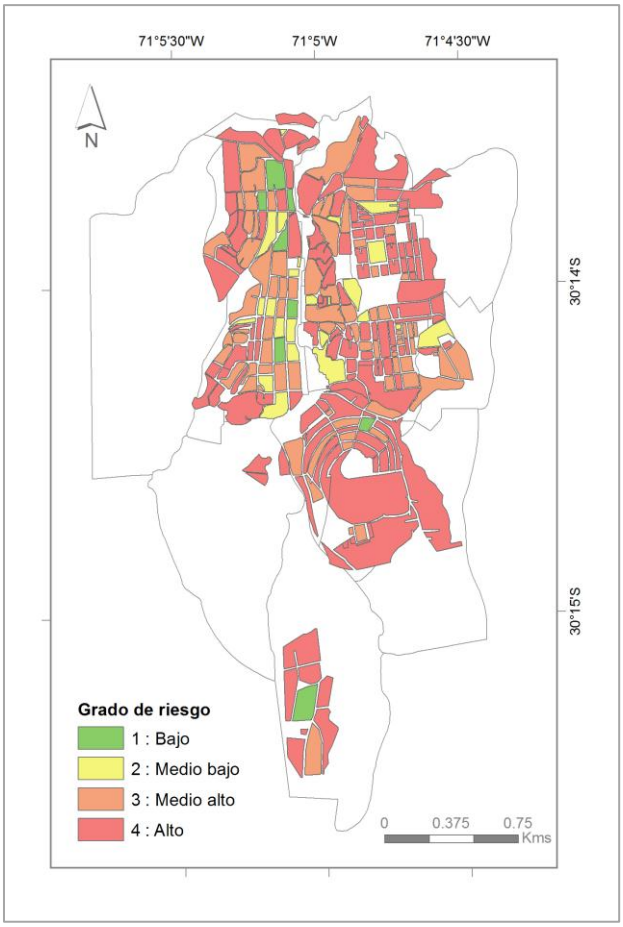



*Figura 7. Mapa de resultado final de grado de riesgo según diferentes clasificaciones. Fuente: Elaboración propia.*

El grupo etáreo que soporta mayor externalidades ambientales es aquél que contempla a las personas entre 30 y 69 años, las cuales configuran principalmente a la población económicamente activa. Seguido son los niños entre 0 y 14 años quienes se encuentran en alta desventaja frente al contexto de riesgo potencial a enfermar por el contexto de contaminación ambiental (ver Gráfico 1).

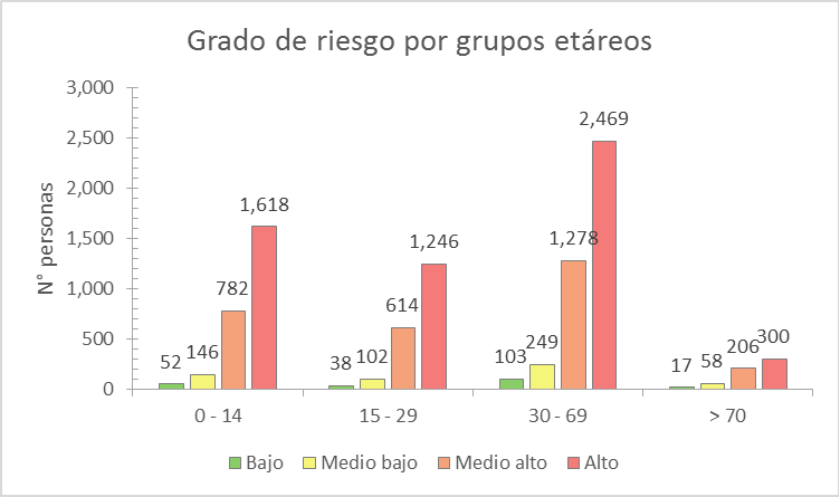



*Gráfico 1. Número de personas en grados de riesgo por grupos etáreos.*
*Fuente: Elaboración propia.*

Por otro lado, según los resultados del análisis realizado, son los grupos socioeconómicos más desaventajados (D y E) los que presentan mayor desigualdad frente a un riesgo potencial de enfermar por contaminación (ver Gráfico 2).

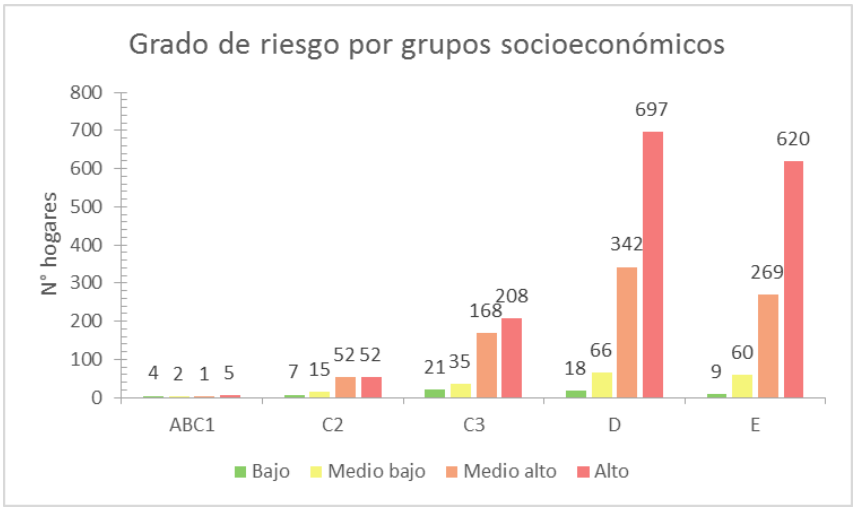



*Gráfico 2. Número de hogares en grados de riesgo según grupos socioeconómicos.*
*Fuente: Elaboración propia.*

## DISCUSIÓN

Cabe destacar que los proyectos mineros industriales poseen la característica de ser a largo plazo, lo que constituye cambios sostenidos en su contexto territorial en promedio 35 años de actividad. Durante este tiempo, se generan diversos impactos ambientales que varían según las dimensiones de las minas, las cuales pueden ir desde pequeñas operaciones con menos de 100 toneladas al día de producción, hasta minas gigantes que son capaces de producir cientos de miles de toneladas, o bien, si son subterráneas o de superficie. Estos impactos son generalmente agresivos, los cuales los ecosistemas no son capaces de asimilar, desencadenando un deterioro que afecta en diversas formas a los seres vivos que comparten el entorno donde se producen estas actividades (Montes de Oca-Pérez & Rosario-Ferrer, 2014).

En un contexto de creciente globalización comercial y de creciente movilidad de capital en tiempo real, pareciera que el crecimiento depende cada vez más de factores exógenos. En consecuencia se ha llegado a sugerir que la globalización, por medio de la revolución científica y tecnológica lleva a una desterritorialización industrial, al devaluar la importancia del territorio en un modo de producción industrial que llega casi a la virtualidad (Guimarães, 2001). Resultado de dichas dinámicas, se debe señalar que es en gran medida la población más desaventajada la que asume dicha desconexión entre la actividad, el crecimiento y las externalidades negativas, evidenciado en la comunicación presentada.

Naredo (2011) citado por Gil & Reyes (2015), señala que la acción humana y las decisiones económicas relacionadas con la producción no ocurren en sistemas cerrados ni siquiera semicerrados, sino dentro de un sistema de relaciones y estructuras dinámicas en interacción abierta continua entre sí. Los resultados presentados en el caso de estudio de Andacollo, aportan una aproximación a dilucidar desigualdades en la población en la asimilación de externalidades negativas producidas por la actividad minera, tanto industrial como artesanal histórica. Según lo señalado, los resultados aquí presentados deben interpretarse de forma objetiva teniendo en cuenta el nivel de abstracción de la realidad, mermado por el acceso a la información y el carácter preliminar de la investigación en curso.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado en el marco del proyecto FONDECYT Nº 11121354, financiado por el Programa Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Chile.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Almeida, D. G., Lacaba, R. G., & Torrens, R. B. 2003. La conservación del patrimonio geológico y minero como medio para alcanzar el desarrollo sostenible. Minería y Geología, 19(3/4), 121–128.
2. Fuenzalida, M. 2013. Aproximación a la asociación entre exposición de MP10 y estado de salud de la población en la zona centro-sur de Chile" [Conferencia] XIV Encuentro de Geógrafos de América Latina. Lima, Perú. [s.n.].
3. Gil, M. de los Á., Reyes, H. 2015. Gestión integral del agua desde un enfoque social hacia una economía ecológica. Revista de Ciencias Sociales Y Humanidades. 24(47), 158 –174.
4. Guimarães, R. 2001. Fundamentos territoriales y biorregionales de la planificación. En: CEPAL. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, No. 39. CEPAL. Santiago de Chile. 1 – 83.
5. Henríquez, C., Arenas, F., Romero, H., Azócar, G. 2009. Justicia socio-ambiental y sostenibilidad en el crecimiento de las ciudades medias de Chillán y Los Ángeles (Chile). En: Las ciudades medias o intermedias en un mundo globalizado. Bellet, C., Beltrão, M. (Editoras). Cátedra UNESCO. 389 – 441.
6. Lazãr, M., & Dumitrescu, I. (2009). Mining in the context of sustainable development. *Revista Minelor*, *15*(10), 12–16.
7. Lip, C., Rocabado, F. 2005. Determinantes sociales de la salud en Perú. Cuadernos de promoción de la salud. Ministerio de Salud; Universidad Norbert Wiener; Organización Paramericana de la Salud. Lima, Perú. N° 17. 84 p.
8. Montes de Oca-Pérez, A., Rosario-Ferrer, Y. (2014). Ontología de evaluación de impacto ambiental para proyectos mineros. Environmental Impact Assessment Ontology for Mining Projects. 30(1), 104–117.
9. Moreno, A. 2010. Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en planificación y análisis de políticas territoriales. Scripta Nova. XIV(316) – 33 p.
10. Organización Panamericana de la Salud. 1982. Vigilancia Epidemiológica con Posterioridad a los Desastres Naturales. Washington, DC.
11. Organización Panamericana de la Salud. 2011. Módulos de principios de epidemiología para el control de enfermedades (MOPECE). 2da versión revisada. Brasilia, Brasil. 49 p.
12. Waller, L., Gotway, C. 2004. Applied Spatial Statistics for Public Health Data. Wiley Series in Probability and Statistics. Hoboken, NJ.




# EJE 4

# Infraestructura de Datos Espaciales

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# PROTOTIPO DE INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES (IDE) EN EL ÁMBITO MUNICIPAL: CASO DE LA MUNICIPALIDAD DE HEREDIA

**Moraga Peralta, Julio César[a]; Mondragón Alemán, Kimberly Johanna[b]**
**Universidad Nacional Autónoma de Costa Rica**
**[a](julio.moraga.peralta@una.cr)**
**[b](kimberly.mondragon.aleman@una.cr)**

## ANTECEDENTES

La municipalidad de Heredia gestiona datos espaciales para la administración de su cantón. Adolece de un SIG que integre los estándares nacionales que conduzca al desarrollo de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) institucional y a su vez retroalimente la creación de la IDE nacional.

### El problema

¿Cómo integrar los datos municipales en los estándares nacionales para crear una IDE institucional en la municipalidad de Heredia?

### Objetivo General

Analizar las características de los geodatos de la municipalidad de Heredia, a través de su posición geográfica, geometría, atributos y temporalidad, para proponer un prototipo que permita catalogarlos y documentarlos bajos estándares nacionales, que oriente a las instituciones nacionales a la consolidación de una Infraestructura de Datos Espaciales

**Objetivos Específicos**

Analizar las estructuras de los datos espaciales de la municipalidad, a través de las variables e indicadores espaciales almacenados en un Sistema de Información Geográfica, para proponer formas de catalogación y documentación a través de estándares nacionales y su posterior incorporación en una IDE.

Incorporar al catálogo nacional de objetos las diferentes variables e indicadores espaciales existentes en la municipalidad, a través de su posición geográfica, entidad geométrica, para normar en el ámbito nacional la información territorial municipal.

Proponer el prototipo de datos geográficos catalogados y documentados para su validación por parte del Instituto Geográfico Nacional (IGN), tendiente a la creación de una IDE en la Municipalidad de Heredia.

**Estrategia metodológica**

Se implementaran los estándares nacionales definidos por el IGN, para establecer un mecanismo que guie la producción, manipulación, intercambio y uso de la información geográfica de la municipalidad.

Se aplicarán las normas, estándares y catálogos nacionales para definir un marco consistente para el intercambio de información cartográfica de calidad y estandarizada.

Posteriormente se presentará ante las instancias pertinentes con el objetivo que sea validada y asumida por todas aquellas que transfieran información geográfica.

Indicadores para construir el prototipo

- Propuesta de zonificación de usos de la tierra
- Propuesta de vialidad.
- Índices de Fragilidad Ambiental
- Patentes comerciales
- Unidades Residenciales
- Cementerios

Variable analizada: Plan Regulador

“Un Plan Regulador es "un instrumento de planificación local que define en un conjunto de planos, mapas, reglamentos y cualquier otro documento, gráfico o suplemento, la política de desarrollo y los planes para

distribución de la población, usos de la tierra, vías de circulación, servicios públicos, facilidades comunales y construcción, conservación y rehabilitación de áreas urbanas". Artículo 1. Ley de Planificación Urbana.

Productos obtenidos

- Listado de variables e indicadores espaciales para catalogar y documentar.
- Propuesta de un catálogo de objetos para cada variable e indicador.
- Cantidad de variables e indicadores incorporadas al catálogo de objetos nacional.
- Manual descriptivo de catalogación de datos espaciales municipales, según categorías especificadas por el Instituto Geográfico
- Modelo metodológico para la catalogación de datos geográficos municipales.

**CONCLUSIONES**

Se incorporaron las diferentes variables al catálogo nacional de objetos, lo cual se realizó siguiendo los estándares del IGN, además se incorporan nuevos objetos a catálogo nacional.

Integración de nuevos objetos al catálogo nacional, los cuales deber ser revisados y analizados con autoridades de IGN para su validación e integración al catálogo oficial.

El uso de las plantillas suministradas por el IGN apoyó significativamente la creación de los metadatos.
Se aprovechó la infraestructura que posee la municipalidad para la creación de los geoservicos y de eta forma poder colocar al servicio de los usuarios la información municipal

**Palabras clave**: Infraestructura de Datos Espaciales, Instituto Geográfico Nacional, Plan Regulador, Sistemas de Información Geográfica, Catálogo Nacional de Objetos.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# DEMOCRATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA MEDIANTE INFRAESTRUCTURAS DE DATOS ESPACIALES

**Martín, Horacio[a]; Linares, Santiago[b]; Suarez, Marcos; Magliocchetti, Agustín; Sajewicz, Brian; Gil, Guillermo; Ortmann; Mauro**
[a]Facultad Regional Trenque Lauquen (UTN) / [b]CIG-IGEHCS (CONICET-UNCPBA)
[a](inghoraciomartin@gmail.com)
[b](slinares@fch.unicen.edu.ar)

**RESUMEN**
Tradicionalmente, la necesidad de información geográfica ha requerido de una gran cantidad de recursos humanos y económicos para su captura, almacenamiento, tratamiento, análisis y visualización. Sin embargo, durante las últimas décadas, las innovaciones tecnológicas y transformaciones sociales están promoviendo un cambio de ese paradigma, en donde, la colaboración, el acceso remoto a la información y la liberación progresiva de los datos generados mediante financiamiento público, son los elementos más representativos de ello.
A modo de contribución a esta tendencia, se documenta en este trabajo, el desarrollo y funcionalidades de una Infraestructura de Datos Espaciales para la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), orientada tanto al almacenamiento, estandarización y visualización de la cartografía digital producida por los proyectos de investigación, como así también, como un medio para la transferencia de los datos geográficos generados durante ese proceso, tanto a la comunidad académica en general, como a la sociedad en su conjunto, contribuyendo de esta manera a un proceso global de socialización y democratización de la información científica.

**Palabras claves:** IDE; Geodatos; Cartografía digital; Divulgación científica; Argentina.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han constituido durante los últimos veinte años en una de las más importantes herramientas de trabajo en todas aquellas actividades que tienen como insumo el manejo de la información relacionada con diversos niveles de agregación espacial o territorial. Durante este proceso evolutivo en las últimas décadas han surgido diferentes vertientes de desarrollo asociado a los SIG, una de ellas son las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Una IDE es un sistema informático que combina las potencialidades de los SIG y la accesibilidad y disponibilidad de la web; suele ser definida como un Sistema de Información Geográfica distribuido. Está integrada por datos y atributos geográficos, metadatos, tecnologías de red y servicios interoperables orientados a la búsqueda, visualización, valoración y descarga de geodatos (Abarca y Bernabé Poveda 2008; Guasp Ginger 2012; Iniesto y Nuñez 2014; Granell *et al*. 2006; Caloni y Miraglia 2015).

A fin de garantizar la interoperabilidad del sistema, los recursos deben cumplir una serie de condiciones (normas, especificaciones, protocolos, interfaces, etcétera) que permitan que un usuario, utilizando un simple navegador, pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades. Por tanto, una IDE implica también un conjunto de políticas, estándares, organizaciones y recursos tecnológicos que faciliten la producción, obtención, uso y acceso a la información georreferenciada.

Sin embargo, una IDE es mucho más que un simple conjunto de información o bases de datos accesibles. Una IDE almacena y administra datos y atributos geográficos lo suficientemente bien documentados para lograr su aplicabilidad y confiabilidad, posibilita un medio sencillo de búsqueda, visualización y evaluación a través de catálogos y servidores de mapas, entre otros servicios potenciales.

Desde el punto de vista tecnológico hay tres componentes fundamentales de toda IDE. Los datos, los metadatos (describen el contenido, la calidad, la condición y otras características de los datos), y los servicios. Estos últimos son las funcionalidades accesibles mediante un navegador de Internet que una IDE ofrece al usuario para aplicar sobre los datos geográficos, se organizan en servicios de visualización de mapas, de descarga, de contribución y de consulta, entre los más generalizados. Sin duda otro elemento importante es la organización de la misma, su marco institucional, sus políticas, que dependen del objetivo con el que sea creada y las lógicas de funcionamiento establecidas.

En cuanto a los usuarios de una IDE, éstos utilizan los servicios que proporciona para solucionar sus problemas, demandan información y a la vez generan nuevos datos que pasan a engrosar las bases disponibles a compartir. Puede ser un ciudadano individual, un organismo público, una empresa privada, una

universidad, una asociación o cualquier actor social; depende de la política de uso y accesibilidad con la que sea creada la IDE. El usuario es el actor más importante de una IDE.

En síntesis, la creación de una IDE cubre dos aspectos fundamentales: el uso de manera fácil y eficaz de datos espaciales y la oportunidad de reutilizar la información geográfica generada en un proyecto para otro objetivo diferente. De este modo, el objetivo principal de una IDE es asegurar la cooperación para hacer accesible la información espacial, promoviendo su uso generalizado y garantizando la integración e interoperabilidad entre datos y herramientas SIG.

**La democratización de la información científica de la Facultad de Ciencias Humanas (UNCPBA)**

La Universidad, como cada una de las facultades y núcleos de actividades científico-tecnológicas que la conforman, en tanto institución pública creadora de conocimientos, posee la obligación no sólo de responder a las demandas sociales emergentes a partir de las temáticas que aborda, sino también de poner al servicio de la comunidad los resultados de tales abordajes. En tal sentido, debe sentirse interpelada por la forma en la que se difunde hacia afuera de las instituciones universitarias la información que genera. La potencialidad de las IDE como una plataforma para difundir los resultados y datos generados en las investigaciones permite imaginar y concretar una manera simple y amigable de llegar a la sociedad en su conjunto, aportando a un proceso de socialización y democratización de la información científica.

Por otro lado, se percibe una demanda creciente de información geográfica por parte de diferentes docentes-investigadores, pertenecientes y ajenos a la Facultad de Ciencias Humanas y a la UNCPBA, y se considera importante establecer algún tipo de mecanismo que registre, regule y facilite la distribución y el acceso a este tipo de datos.

La creación de información espacial es inherente en alguna dimensión a cada una de las disciplinas existentes, ya sea como insumo o como materialización del trabajo de investigación. Se trata de recursos de costosa producción y difícil acceso, debido a formatos incompatibles, modelos divergentes, políticas de distribución restringidas o falta de conocimiento. Una IDE corporativa, aún inexistente en la UNCPBA, permitiría armonizar las múltiples bases de datos espaciales ya generadas y ponerlas al servicio de nuevos proyectos, reutilizándolas, optimizando esfuerzos y disminuyendo costos, al menos hacia el interior de la comunidad universitaria.

Se parte de la convicción de que una iniciativa de esta envergadura, con el respaldo institucional continuado y decidido que merece, redundará sin lugar a dudas en importantes beneficios relacionados con la obtención

de una mayor disponibilidad de información espacial, un mejor conocimiento de los trabajos ya realizados y una optimización de los esfuerzos puestos en la creación de geodatos, como fruto de la cooperación y compartición de recursos como base para la potenciación del uso de una información que está íntimamente relacionada con la mayor parte de la actividad humana. La utilización de una IDE por parte de la ciudadanía en su conjunto, permitirá extender el conocimiento generado en instituciones y organismos públicos y el uso de la información geográfica en gran variedad de situaciones.

En el presente trabajo quedará plasmada la experiencia de desarrollo de la IDE de la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, elaborada por el Centro de Investigaciones Geográficas en conjunto con personal de la Facultad Regional de Trenque Lauquen - Universidad Tecnológica Nacional.

Las tareas surgen en el marco de un Acuerdo de Cooperación Científico - Técnico entre la FCH (UNCPBA) y la FRTL (UTN), con el fin de lograr la implementación de una Infraestructura de Datos Espaciales para la FCH - UNCPBA, y el Proyecto de Fortalecimiento de Redes VII, donde participan la FRTL UTN, FCH UNCPBA y la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Castilla - La Mancha, España, donde se persigue "posibilitar la formación y el intercambio académico entre los integrantes del grupo GIDSIG, para estudiar y efectivizar la implementación de SIG en Organismos Públicos Nacionales de las ciudades a las que pertenecen la FRTL UTN y la FCH UNCPBA, y sus zonas de influencia, afianzando la transferencia de las tecnologías desarrolladas por el equipo de investigación GIDSIG".

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño y documentación del modelo de clases, nos hemos propuesto utilizar la extensión del Lenguaje Unificado de Modelado (UML) (Kumbaugh *et al*. 2000; Conallen 2002) para aplicaciones web denominada WAE (Web Application Extensions) (Gamma 2003). UML tiene definido un mecanismo de extensión que permite incluir nuevos atributos, diferente semántica y restricciones adicionales. WAE es el conjunto de extensión de UML formado por valores etiquetados, estereotipos y restricciones que posibilitan modelar las peculiaridades de una aplicación web.

La arquitectura de software sigue el patrón MVC (modelo – vista – controlador) (Gamma 2003) que separa la información con la que trabaja la aplicación, es decir, su lógica de negocio (el modelo), de la presentación al usuario (la vista), siendo el controlador el responsable de procesar las interacciones entre ambos. Esto facilita el desarrollo y mantenimiento de las aplicaciones.

Para alcanzar los requerimientos demandados, se debieron seleccionar las tecnologías y herramientas de software que se emplearon en el proyecto. Los criterios que se tomaron con este fin fundamentalmente fueron su robustez, estabilidad, seguridad y alto rendimiento en el manejo de información geoespacial. Se optó por utilizar exclusivamente software libre.

Se escogieron las siguientes tecnologías:

- software de base: sistema operativo Linux, servidor HTTP Apache;
- base de datos: sistema de base de datos PostgreSQL con extensión PostGIS, administrador de bases de datos pgAdmin; lenguaje de consulta SQL.
- programación en servidor: lenguaje PHP, con el framework Mapscript, entorno de desarrollo NetBeans, servidor de mapas MapServer;
- programación en cliente y diseño web: lenguaje JavaScript, con tecnología Ajax, frameworks OpenLayers, JQuery y ExtJS;
- procesamiento de datos geoespaciales: aplicación Quantum GIS.

Para alojar el sistema se configuró un servidor web. Como sistema operativo se eligió la distribución de Linux OsGeo que tiene incorporadas la mayoría de las herramientas y utilitarios a emplear.

**RESULTADOS**

La IDE desarrollada comprende funcionalidades que permiten la visualización de información geoespacial y consultas sobre la misma, tanto por selección gráfica sobre las capas, como por la estipulación de filtros por valores alfanuméricos según criterios preestablecidos. Además provee la visualización de mapas online y descarga de archivos en formato shapefile o mediante un Servicio de Mapas Web (WMS) de nuestro servidor. Este servicio permite acceder a los mapas almacenados en la IDE FCH vía HTTP a través de una URL (http://190.0.236.21/) que permitirá utilizar las capas solicitadas y crear mapas compuestos en programas de escritorios combinando coberturas propias con las obtenidas de la IDE.

Al ingresar a la IDE desarrollada se desplegará una ventana emergente donde se dan a conocer las políticas de edición, uso y metadatos conforme a las normas y estándares Internacionales definidas por la OGC, como así también son explícitamente indicadas las condiciones de acceso y utilización del sitio web, propiedad intelectual, calidad de la información y protección de datos personales (figura 1).

La IDE FCH va a tomar el Perfil de Metadatos de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (PMIDERA) con el fin de asegurar la interoperabilidad de la información generada y la disminución de fuentes de error durante la carga de datos. Se utilizará un paquete de descriptores compuesto por 28 elementos, utilizado por el PMIDERA, basados en el núcleo de la norma ISO 19115:2003. Estos elementos no poseen un orden jerárquico en particular, sin embargo debe respetarse su condición de primer orden (obligatorio), de segundo orden (condicionales, de acuerdo a un determinado criterio) o tercer orden (opcionales).

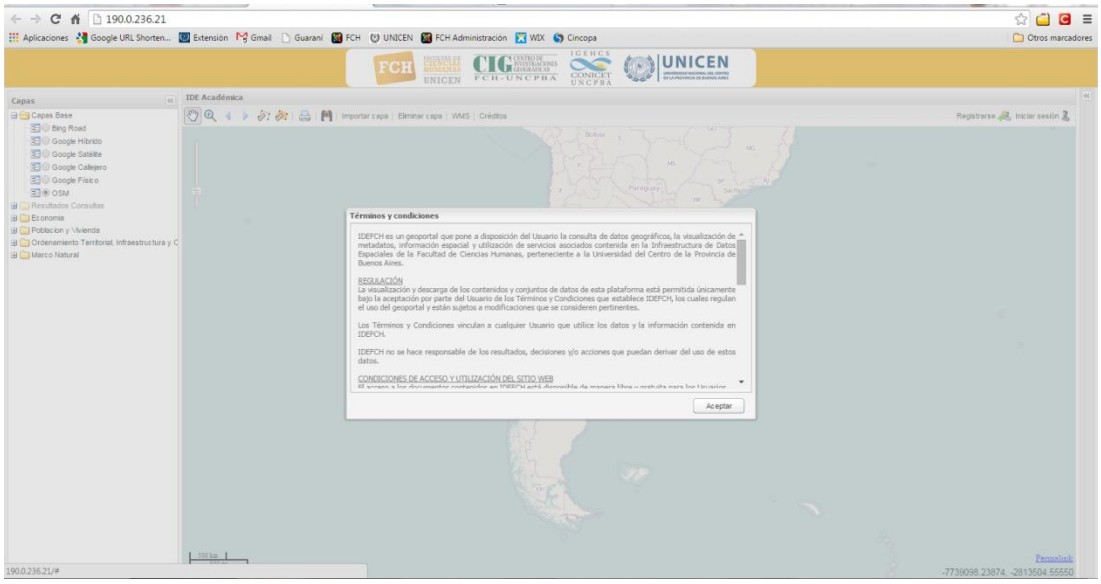



*Figura 1. Términos y condiciones IDE-FCH-UNCPBA*
*Fuente: Elaboración propia.*

Se ha desarrollado una gestión de usuarios que permite tres niveles de autenticación: usuario administrador, usuarios registrados y usuarios no registrados. Los usuarios se registran accediendo al ícono correspondiente y luego deberán completar un formulario que el sistema almacena y responde enviándole un email con una clave de acceso, a partir de la cuál tendrán la posibilidad de disponer de las opciones de exportación de archivos desde la IDE.

Para alojar el sistema se configuró un servidor web. Como sistema operativo se eligió la distribución de Linux OsGeo que tiene incorporadas la mayoría de las herramientas y utilitarios a emplear. Se instalaron y configuraron el servidor de base de datos PostgreSQL y el complemento PostGIS. Posteriormente se incorporaron a la base de datos las capas provistas por los investigadores, empleando como herramientas un plug-in del propio PostGIS y la aplicación Quantum GIS.

La visualización en formato web de las distintas capas de mapas se logra a través del servidor web Apache y del servidor de mapas MapServer.

Las funcionalidades integradas son:

- visualización de la escala;
- herramientas para seleccionar las capas a visualizar;
- mapa de referencia contextual para ubicarse dentro del marco de visualización global;
- posición del puntero en el sistema de coordenadas geográficas;
- controles de navegación del mapa: desplazamiento y zoom;
- herramientas para poder calcular áreas y distancias;
- herramientas para la visualización de información alfanumérica vinculada a elementos del mapa (pop-ups)
- herramienta para la búsqueda de elementos georreferenciados.

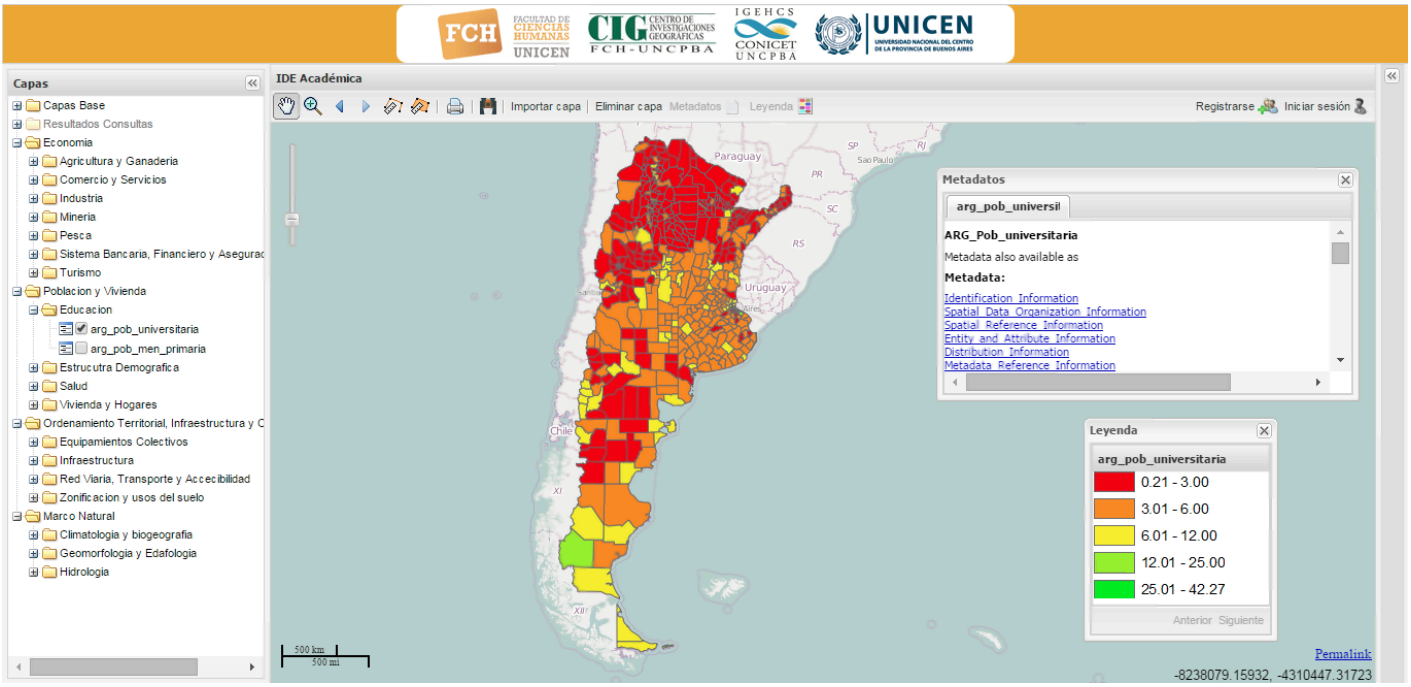



*Figura 2. Interfaz IDE-FCH-UNCPBA*
*Fuente: Elaboración propia.*

En la misma se puede apreciar el nombre de la aplicación y los logos de la institución para la cual se ha desarrollado. Por debajo y sobre la izquierda se despliega una tabla de contenidos que permite seleccionar las capas cargadas a la IDE, agrupadas en un árbol según una categorización consensuada entre los investigadores proveedores de información:

- Economía
  - Agricultura y ganadería
  - Minería
  - Pesca
  - Industria
  - Comercio y Servicios
  - Sistema bancario, financiero y aseguradoras
  - Turismo
- Población y Viviendas
  - Estructura demográfica
  - Salud
  - Educación
  - Vivienda y Hogares
  - Asentamientos humanos
- Ordenamiento territorial, infraestructura y comunicación
  - Zonificación y usos del suelo, planeamiento catastral
  - Equipamientos colectivos
  - Redes de comunicación, transporte y accesibilidad
  - Infraestructura de servicios
  - Divisiones administrativas
- Marco ambiental
  - Climatología y Meteorología
  - Biogeografía
  - Geomorfología y Edafología
  - Elevación
  - Hidrología

Dentro de las novedades de esta herramienta, se puede señalar la posibilidad de importación y exportación de geodatos en forma remota a partir de los datos obtenidos de diversas fuentes en formato shapefile (figura 3). Estas funcionalidades darán agilidad tanto a incorporar los aportes originados desde los distintos núcleos de investigación que produzcan información georeferenciada, como así también permitirán descargar y editar de la cartografía digital suministrada por la IDE a los miembros de la comunidad académica en especial y al resto de los organismos de la sociedad en general que lo requieran.

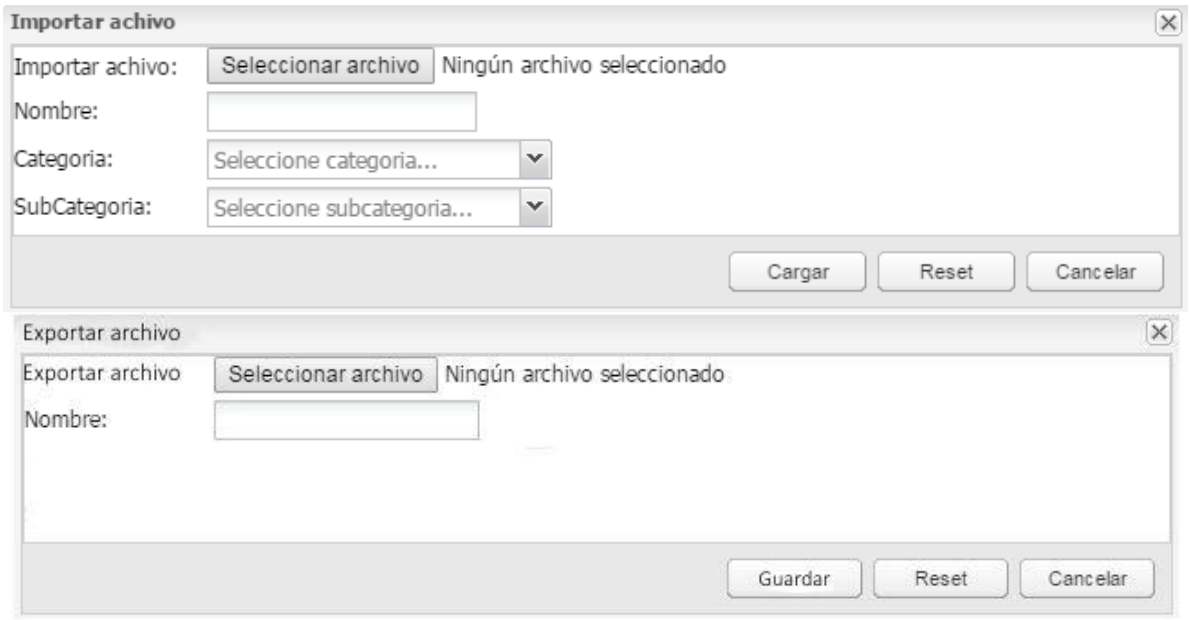



*Figura 3. Importación y exportación de geodatos IDE-FCH-UNCPBA*
*Fuente: Elaboración propia.*

Como así también las funciones de consulta también resultan ser una novedad, disponibles a través del icono mediante el cual se despliega un panel de consultas y permite seleccionar las entidades por uno o varios criterios alfanuméricos. Esta acción ocasionará que se expanda el panel de consultas ubicado a la derecha del mapa, el cual permite identificar la capa sobre la cual se ejecutará la consulta, el color que identificará el resultado y los campos y criterios empleados para la selección (ver figura 4).




*Figura 4. Panel de consultas IDE-FCH-UNCPBA*
*Fuente: Elaboración propia.*

## DISCUSIÓN

Debido a que se trata de una herramienta en fase de iniciación, no es posible realizar aún una discusión y contrastación empírica de los objetivos perseguidos en esta propuesta, aunque se propone efectuar una evaluación de la misma mediante un instrumento de "medición" que será el propio sistema a través de cuestionarios impartidos a los usuarios registrados y evaluaciones estadísticas de los usos que le den a la IDE al cabo de un lapso establecido.

No obstante, a la luz de las experiencias existentes, confiamos en la potencialidad de las IDE como una plataforma para difundir los resultados y datos generados en las investigaciones llegando a la comunidad académica y a la sociedad en su conjunto, aportando a un proceso de socialización y democratización de la información científica.

## CONCLUSIONES

El proyecto ha dado lugar a un fluido intercambio de conocimientos entre las dos facultades correspondientes a distintas universidades, fortalecido por la financiación que otorga el programa Redes Interuniversitarias de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación.

La IDE desarrollada se encuentra operativa, funcionando en un servidor de la Facultad Regional Trenque Lauquen (UTN) aunque vinculada en las páginas principales de la Facultad de Ciencias Humanas de la UNCPBA, el Centro de Investigaciones Geográficas y el Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales UNCPBA-CONICET. En la actualidad se están diseñando otros módulos que permitirán ampliar sus funcionalidades y servicios.

A modo de cierre del presente trabajo, queremos hacer dos reflexiones a las que se arriban luego de la experiencia de desarrollo e incipiente la implementación de la Infraestructura de Datos Espaciales en la Facultad de Ciencias Humanas - UNCPBA.

En primer lugar, destacar los potenciales usos de la IDE, tales como la transferencia de información local almacenada a usuarios que hagan un uso productivo de la misma a partir de la creciente demanda de Información Geográfica. Estos usuarios pueden incluir desde alumnos, becarios o docentes que requieran información para proyectos personales o de investigación, hasta organismos públicos a nivel local para el cálculo por ejemplo de muestras estratificadas por barrios, programas sanitarios o cualquier actividad que requiera datos geográficos como insumo.

En segundo lugar, la contribución al concepto de democratización de la información, donde este tipo de tecnologías implementado en establecimientos educativos públicos se perfila como una solución geotecnológica a las necesidades sociales. Esto implica poner al servicio de la comunidad los resultados obtenidos de las investigaciones financiadas con fondos públicos, promover la generalización de su uso y garantizar la integración e interoperabilidad entre las diversas herramientas y datos provenientes de un Sistema de Información Geográfica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Abarca, O. y Bernabé Poveda, M. 2008. Propuesta de un modelo conceptual para el desarrollo de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) orientada a la gestión de estaciones experimentales. **GeoFocus** (Informes y comentarios) nº 8, p. 1-22.
2. Caloni, N. y Miraglia, M. 2015. Creación de una infraestructura de datos espaciales para el conurbano bonaerense. En: Miraglia, M.; Caloni, N. y Buzai, G. (Org.). **Sistemas de información geográfica en la investigación científica actual**. Universidad Nacional de General Sarmiento, Los Polvorines, p. 247-262.
3. Capdevila i Subirana, J. 2004. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Definición y desarrollo actual en España. En: **Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-170-61.htm. Universidad de Barcelona. España.
4. Conallen J. 2002. **Building Web Applications with UML**. Second Edition, Addison-Wesley.
5. Gamma E.; Heln, R. y Vlissides, J. 2003. **Patrones de Diseño. Elementos de software orientado a objetos reutilizable**, Addison-Wesley.
6. Granell, C. et al. 2006. Contribución de una IDE a la e-Ciencia: Proyecto AWARE. En: Gould, M. y Graneel, C. (eds), **Avances en las infraestructuras de datos espaciales**. Publicacions de la Universitat Jaume I, p 73-83.
7. Guasp Giner, L. 2012. Las Infraestructuras de Información Geográfica Científica: conceptualización y análisis de casos existentes. En: **Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales**, Madrid, España.
8. IGN 2012. **Datos Básicos y Fundamentales IDERA**. Definiciones, descripción, ejemplos. Disponible en http://www.idera.gob.ar/portal/sites/default/files/catalogo_objetos_idera.pdf
9. Iniesto, M. y Nuñez, A. 2014. **Introducción a las Infraestructuras de Datos Espaciales. Centro Nacional de Información Geográfica**, Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, Gobierno de España, Madrid, España.
10. Kumbaugh, J.; Jacobson, I. y Booch, G. 2000. **El Lenguaje Unificado de Modelado: Manual de Referencia**, Pearson Educación S. A.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES INTELIGENTES EN LA MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTE

**Pacheco, Diego[a]; Samaniego, Priscila[b]**
**Instituto De Estudios De Régimen Seccional Del Ecuador (IERSE) - Universidad del Azuay**
**[a](dpacheco@uazuay.edu.ec)**
**[b](psamaniego@uazuay.edu.ec)**

**RESUMEN**

La tecnología móvil ha permitido que los usuarios sean un ente activo en la creación y uso de información geográfica. Los datos ya no son exclusivos para los técnicos ni se requiere de equipos altamente costosos para su captura.

Existen alternativas para el monitoreo de ruido mediante dispositivos móviles "Smartphone" con sistema operativo Android como: NoiseTube, SoundLevelMeter y Android-spl-meter, que han permitido a los ciudadanos capturar datos de ruido y su geolocalización. Estas aplicaciones por lo general publican la información en un formato vectorial o plataformas propias pero sin posibilidad de consultarlos en tiempo real.

El aplicativo móvil resultado de este proyecto envía la información capturada en tiempo real, el servidor realiza el almacenamiento y procesamiento de datos. La publicación en internet se realiza a través de servicios Web Map Service (WMS) en la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de la Universidad del Azuay y un visor de mapas.

**Palabras claves:** Ruido, smartphone, IDE, WMS, Android.

## INTRODUCCIÓN

El ruido se ha convertido en uno de los factores ambientales que incide y agrava las condiciones de vida y salud de la población. Una exposición prolongada al ruido ambiental pueden provocar trastornos del sueño, discapacidades auditivas, problemas cardiovasculares e incluso inestabilidad mental (Goines, Hagler, & others, 2007). Este fenómeno va de la mano con el desarrollo de la sociedad y como respuesta a los cambios producidos por tendencias sociales como el crecimiento, densificación, concentración de la población (Sanz & García, 2003) y principalmente se atribuye al tráfico vehicular (González, 2013). En el cantón Cuenca el incremento anual del parque automotor hasta el año 2012 registró 95.337 vehículos y un porcentaje promedio interanual de incremento del 6,72%, de acuerdo al informe de calidad de aire del cantón Cuenca (EMOV, 2012). Para el año 2014 el promedio interanual del parque automotor aumenta a un 10%.

*Tabla 1. Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular*
*Fuente: EMOV 2012*

| Año | # vehículos | % incremento anual |
|---|---|---|
| 2010 | 83706 | - |
| 2011 | 89840 | 7.32% |
| 2012 | 95337 | 6.11% |

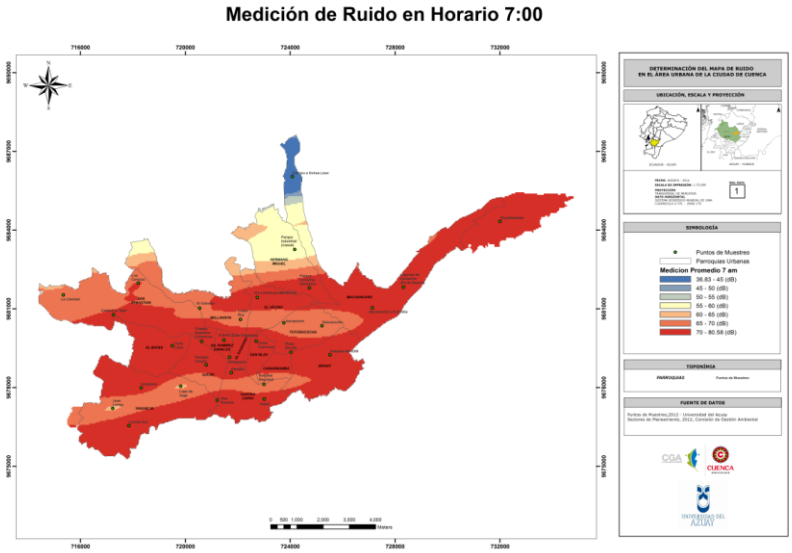
Para conocer el comportamiento de este fenómeno dentro del área urbana de Cuenca en el año 2009 se realizan las primeras mediciones de ruido ambiente con un sonómetro 3M Pro Quest sobre 23 sitios de muestreo en 4 horarios diferentes. Este proceso se realizó en el marco del estudio del Índice de Calidad Ambiental Urbana de la ciudad de Cuenca (ICAUC) mediante un convenio entre la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) y la Universidad del Azuay (UDA). Como resultado de estas mediciones se generó los primeros mapas de ruido en la ciudad empleando el método de interpolación *Inverse distance weighting* (IDW) a los datos recolectados.

En el año 2012 a través de convenios institucionales se vuelve a realizar la medición de ruido en 30 sitios de muestreo, en 6 horarios que corresponden a las horas pico de entrada y salida de la población en el centro de la ciudad. A continuación se muestra una tabla de ejemplo de los datos procesados a partir de las mediciones realizadas:

*Tabla 2. Niveles de ruido en 3 zonas con 6 horarios diferentes*
*Fuente: Mapa de ruido del área urbana de Cuenca (CGA - UDA - IERSE 2012)*

| | | | | Mediciones Lavg (dB) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Código | Sector | Calle 1 | Calle 2 | 7h00 | 10h00 | 13h00 | 15h00 | 18h00 | 21h00 |
| R_01 | Estadio | Del Estadio | José Peralta | 72,5 | 73,2 | 73,2 | 72,6 | 72,7 | 67,2 |
| R_03 | Aeropuerto | Av. España | Elia Liut | 69 | 71,7 | 74,1 | 70,5 | 74,5 | 69,6 |
| R_25 | Cenáculo | Tarqui | Gran Colombia | 74,1 | 69,8 | 72,2 | 68,4 | 69,3 | 66,6 |

El siguiente mapa visualiza la distribución espacial de ruido con los datos levantados en el horario 7H00 am.




*Mapa 1. Distribución espacial de ruido en horario 7H00 año 2012*
*Fuente: Mapa de ruido del área urbana de Cuenca – CGA – UDA-IERSE – 2012*

Estas mediciones han permitido ver el incremento de los valores de ruido a lo largo del tiempo en diferentes zonas de la ciudad y debido a ello se generaron campañas de concientización además de la necesidad de monitorear este fenómeno con mayor frecuencia.

Dentro del cantón Cuenca la red primaria de vías soporta una movilización de entre 5.000 a 20.000 vehículos por día siendo la zona del centro histórico la mayor fuente de recepción de estos viajes (Cuenca, 2015) por lo cual se la selecciona como área de estudio donde se realizarán las mediciones. En esta zona de la ciudad se concentra gran cantidad de personas por motivos laborales, turísticos, educativos, etc.

Con la tecnología convencional de medición sería complicado tener una resolución espacio-temporal apropiada para el análisis de este fenómeno o establecer una red de sensores que trabajen en varias zonas de la ciudad; por ello se decide evaluar la tecnología de dispositivos móviles como alternativa para la medición de ruido teniendo como ventaja el bajo costo del equipo además de su conectividad con internet que permite enviar datos en tiempo real.

La tecnología puede proporcionar un vínculo directo entre los datos y la ciudadanía generando mecanismos de monitoreo participativo. Los teléfonos celulares inteligentes o Smartphone permiten formar redes de sensores interactivos a través del público, proporcionándoles sistemas para recopilar, analizar y compartir los conocimientos locales (Tripathi, Iftode, Nahrstedt, & Nixon, 2005).Se ha potenciado su uso no sólo como teléfonos sino también como dispositivos de acceso a internet, navegadores GPS y sensores que interactúan con su entorno a través de la medición de variables como ruido, velocidad o movimiento (Ganti, Ye, & Lei, 2011). Uno de los sistemas operativos más utilizados en los dispositivos móviles inteligentes es Android (Gandhewar & Sheikh, 2010).

En la actualidad se reconoce la existencia de nuevas tendencias que están guiando el desarrollo de las infraestructuras de datos espaciales. En este caso estas nuevas tendencias van dirigidas a las tecnologías móviles, con capacidad de transmitir y visualizar datos en tiempo real y que promueve la participación de la ciudadanía en la generación de información geoespacial (Ballari, Vilches, Perez, Pacheco, & Fernández, 2014).

El objetivo de este trabajo es desarrollar un aplicativo móvil basado en el sistema operativo Android, que permita el envío de las mediciones de ruido en tiempo real, el procesamiento de los datos y publicación en una infraestructura de datos espaciales las realizará el servidor de la IDE de la Universidad del Azuay. Otro reto involucra el analizar la forma de presentar los datos para que puedan ser entendidos por personal técnico y no técnico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En los repositorios de Google podemos encontrar la aplicación Android SPL Meter (https://code.google.com/p/android-spl-meter/) que consiste en una aplicación para medir ruido. Este código se puede descargar y utilizar de forma libre. Al mismo se agregó un módulo para obtener la geolocalización (Tamada Hyderabad, 2012), otro módulo para el envío de datos a través de internet (“Send and receive data on UDP Socket java android,” 2013) y para finalizar un módulo que almacena la información en la memoria del móvil hasta tener disponible una conexión de internet.

A través de Eclipse y el *Software Development Kit* (SDK) de Android se pudo crear un nuevo proyecto con los códigos existentes y proceder a agregar la nueva funcionalidad. Para este proyecto utilizamos un dispositivo Samsung Galaxy S3 como móvil que cuenta con conexión a internet y al sistema de posicionamiento global GPS. A través de internet se envía los datos a través del protocolo UDP[1]. El aplicativo en el servidor (desarrollado en C++) lee un puerto específico y almacenan los datos en la base de datos Postgres/Postgis generando un repositorio de datos donde se guarda la medición y su ubicación geográfica. Se seleccionó el protocolo UDP ya que reduce la comunicación con el servidor o que es lo mismo reduce la cantidad de megabytes (MB) necesarios para la comunicación abaratando los costos de conexión.




*Figura 1. Proceso de comunicación móvil/servidor*
*Fuente: Autor*

Para que el software del servidor pueda interpretar y decodificar la información recibida se estableció un formato de trama o mensaje que tiene las siguientes características:

MI,MP,LAT,LON,FH,NM,IMEI,PG,ALT,VEL,MC,US

[1] User Datagram Protocol (UDP) es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas (Encapsulado de capa 4 Modelo OSI). Permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión. (Fuente: Wikipedia)

Dónde:
**MI:** Medición instantánea.- Es el dato de ruido al momento de la toma
**MP:** Medición promedio.- El dato de ruido en promedio de toda la medición hasta el momento del envío.
**LAT:** Coordenada de latitud en WGS84 obtenida del GPS
**LON:** Coordenada de longitud en WGS84 obtenida del GPS
**FH:** Fecha y hora del GPS obtenido del GPS
**NM:** Número de muestra obtenida. Parámetro que permite determinar cuántas muestras deben ocurrir para enviar el dato al servidor.
**IMEI:** Código identificador único de dispositivos móviles.
**PG:** Precisión obtenida del GPS
**ALT:** Altitud obtenida del GPS
**VEL:** Velocidad obtenida del GPS
**MC:** Modelo de celular
**US:** Nombre de usuarios configurado

A través de funciones programadas en la base de datos podemos decodificar y almacenar la información adecuadamente.

Estos parámetros deben estar separados por el carácter "," ya que a través de este será decodificado las secciones en la base de datos. Los mismos nos permitirán analizar los datos en función del tipo de celular usado, filtrar las mediciones cuando la falta de precisión de la misma sea exagerada, y a través de la velocidad determinar si el equipo y la medición se realizaron en movimiento o de forma estática.

Los datos se publicarán en tiempo real en el servidor a través de la IDE de la Universidad del Azuay en el servicio WMS http://gis.uazuay.edu.ec:8080/geoserver/ruido/wms. Para buscar analizar estos datos usando la geoestadística se utilizó el software R para realizar el proceso de lectura de datos, interpolar los datos con el algoritmo *Kriging* y de esta forma estimar la afección del ruido en la ciudad de Cuenca con los datos obtenidos de las mediciones realizadas con un móvil.

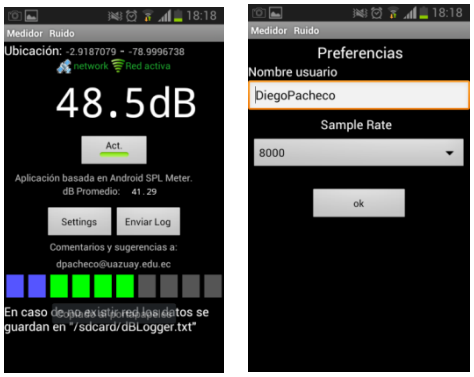
Para el desarrollo de este script se tuvo de utilizar paquetes extra de R entre los cuales tenemos: *RPostgreSQL* para lograr la conexión con la base de datos, *rgeos* para convertir los datos en geometrías geolocalizadas, *sp* el cual tiene clases y métodos para trabajar con datos espaciales, *rgdal* para manejar los sistemas de coordenadas de los datos, *automap* el cual tiene programado el comando *autoKrige* que nos permitió ejecutar la interpolación.

Usando las librerías de Openlayers se generó un visor de mapas donde se puede ver la información recolectada del día e históricamente sobre la información de Openstreetmap. Además se puede consultar la los datos de cada punto almacenado en el servidor, las mediciones realizadas con un sonómetro certificado en los años 2009 y 2012, los ráster resultado de la interpolación. Habilitando el protocolo Web Processing Service (WPS) de Geoserver se puede generar una capa de calor donde puedo observar la intensidad de puntos recolectados a lo largo de la ciudad.

## RESULTADOS

El aplicativo resultante nos permite obtener el dato de ruido y la posición donde fueron capturados. En ambientes interiores se puede usar la localización a través de redes inalámbricas y en el exterior se puede usar directamente el GPS.

Cada usuario está en la posibilidad de configurar un alias para su móvil y de esta forma pueda ser identificado entre los colaboradores del proyecto. En caso de no disponer de una conexión a internet los datos se almacenan localmente y pueden enviarse al servidor a través del protocolo FTP.




(a) (b)

*Figura 2. (a)Interfaz principal de medición de ruido y (b) Preferencias de usuario*

Dentro del visor de mapas podemos observar la capa de puntos con las mediciones efectuadas. En el mismo tenemos la posibilidad de consultar la información de cada uno de ellos.

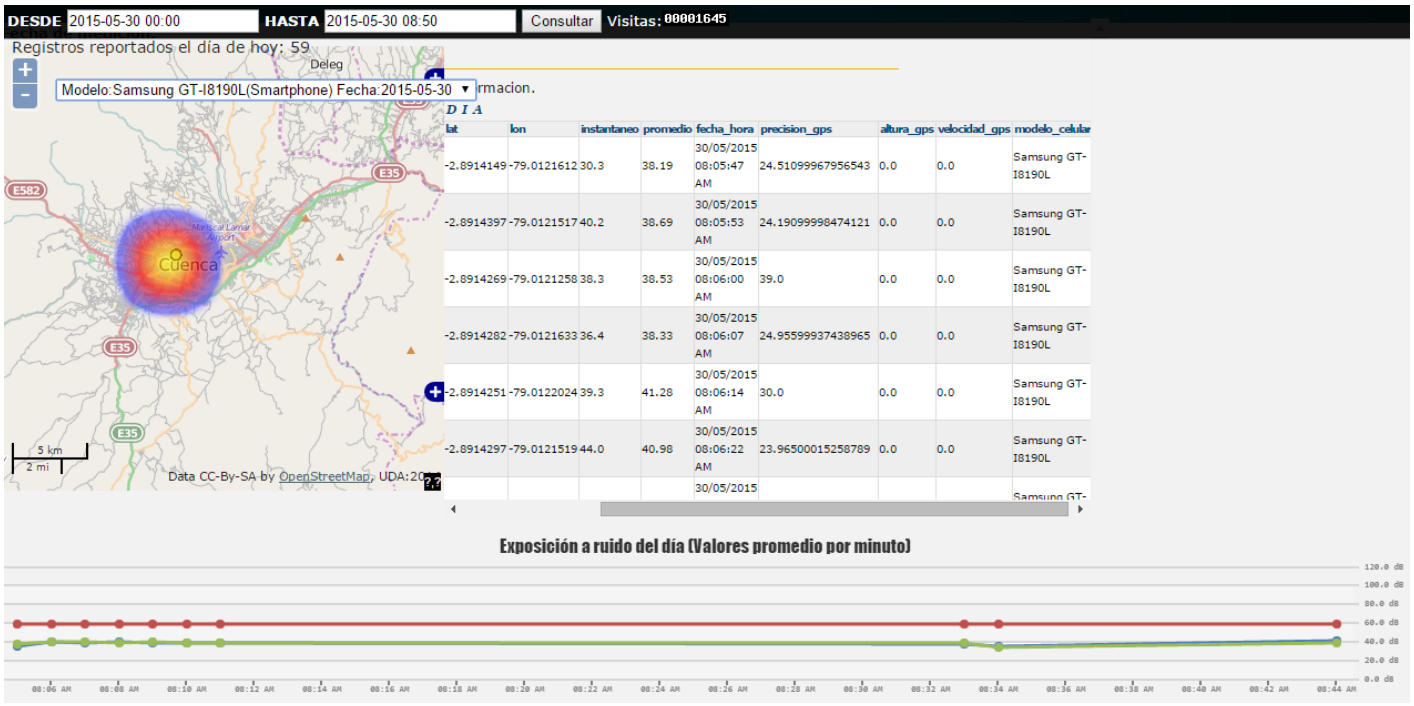



*Figura 3. Visualización de los puntos capturados con el móvil en aplicativo de OpenLayers.*

Adicionalmente el resultado del comado autoKrige de R con todos los datos existentes presenta la siguiente visualización:

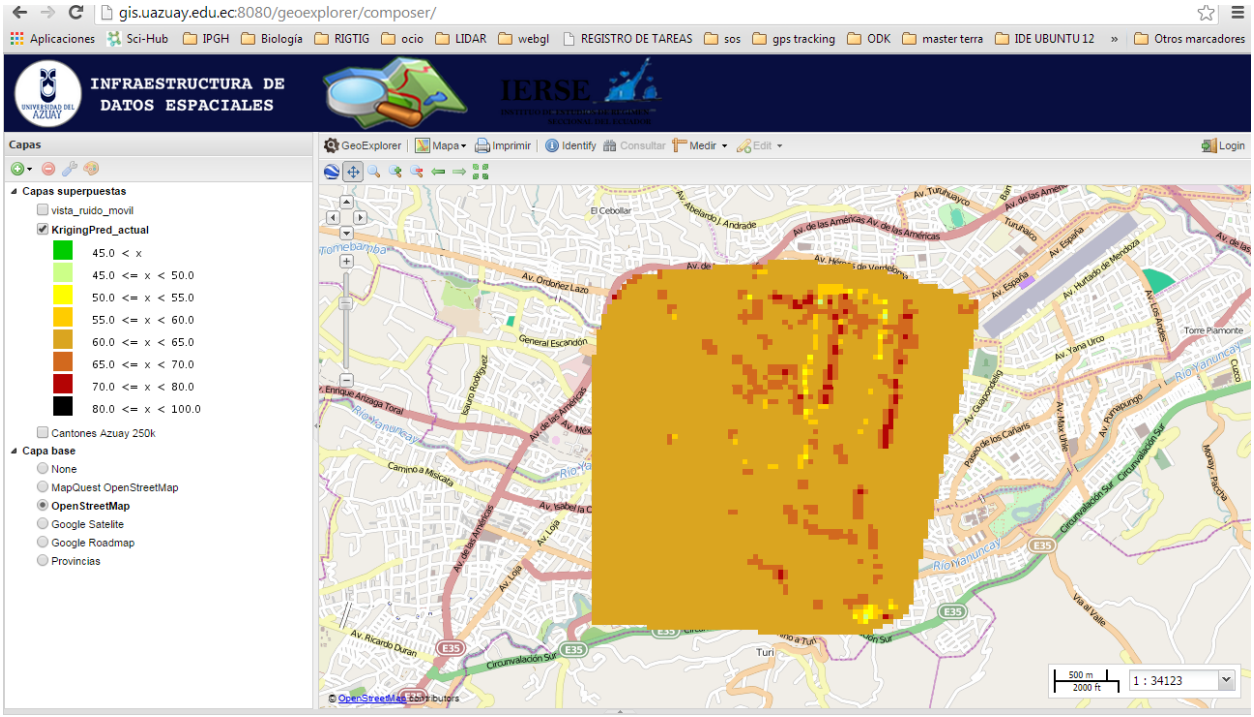



*Figura 3. Resultado ejecución AutoKrige de R para interpolar datos de ruido.*

Para obtener más información de este proyecto ingresar al sitio web gis.uazuay.edu.ec.

## DISCUSION

Al momento de obtener datos de la ciudadanía y sensores no profesionales se comienza a cuestionar la calidad de los mismos. En este proyecto no se ha profundizado este tema y se abre la pauta a estudiar de forma exclusiva este tema.

Al procesar datos de ruido tomados en diferentes fechas bajo diferentes condiciones se cuestiona el análisis realizado en conjunto por lo cual se puede dividir en grupos según la fecha de captura, de preferencia datos del mismo día o datos capturados por el mismo modelo de móvil.

## CONCLUSIONES

Hemos comprobado la factibilidad de recolectar datos de diferentes sensores de un móvil y la interacción de los mismos con la infraestructura de datos espaciales que cada vez apuntan a permitir la participación del usuario y el manejo de datos en tiempo real.

Los chip GPS de los Smartphone suelen obtener datos de menor precisión motivo por el cual va a existir una distorsión de la ubicación espacial. Al tomar el dato de precisión gps del móvil y almacenarlo en la base de datos podemos filtrar la información que posea un desplazamiento exagerado. En contraparte al usar la localización a través de redes inalámbricas se puede mejorar la precisión a pesar de estar en ambientes internos.

Se puede automatizar el análisis espacial a través de R y R Studio. Para la construcción de script de procesos y a través de las tareas programadas de Windows y R Command se pueden ejecutar automáticamente con la regularidad que se requiera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ballari, D., Vilches, L., Perez, D., Pacheco, D., & Fernández, V. (2014). Tendencias en infraestructuras de datos espaciales en el contexto latinoamericano, 177–184. Retrieved from http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21364
2. Cuenca, G. M. de. (2015). *Plan de Movilidad y espacios públicos*. Cuenca.
3. EMOV. (2012). *Calidad de Aire*. Cuenca.
4. Gandhewar, N., & Sheikh, R. (2010). Google Android: An emerging software platform for mobile devices. *International Journal on Computer Science and Engineering*, *1*(1), 12–17.

5. Ganti, R. K., Ye, F., & Lei, H. (2011). Mobile crowdsensing: Current state and future challenges. *Communications Magazine, IEEE*, *49*(11), 32–39.
6. Goines, L., Hagler, L., & others. (2007). Noise pollution: A modern plague. *SOUTHERN MEDICAL JOURNAL-BIRMINGHAM ALABAMA-*, *100*(3), 287.
7. González, J. R. Q. (2013). Tendencias actuales en el estudio y análisis del ruido producido por el tráfico rodado en las ciudades. *Intekhnia*, *7*(2).
8. Sanz, B. G., & García, F. J. G. (2003). *La contaminación acústica en nuestras ciudades*. Fundación" La Caixa."
9. Send and receive data on UDP Socket java android. (2013). Retrieved from http://stackoverflow.com/questions/19540715/send-and-receive-data-on-udp-socket-java-android
10. Tamada Hyderabad, R. (2012). Android GPS, Location Manager Tutorial. Retrieved from http://www.androidhive.info/2012/07/android-gps-location-manager-tutorial/
11. Tripathi, A., Iftode, L., Nahrstedt, K., & Nixon, P. (2005). Pervasive and Mobile Computing. *University of Minnesota, Minneapolis*, *1*(2).

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# VISOR WEB DEL ESTADO COMUNITARIO-TERRITORIAL DE LOS Y LAS HABITANTES AFECTADOS POR EL INCENDIO DE VALPARAÍSO 2014, A TRAVÉS DEL PROYECTO PROTOTIPO DE ATLAS SOCIODEMOGRÁFICO DE VALPARAÍSO

**Larraguibel, Cristián[a]; Salinas Felipe[b]; Calderón, Daniela[c]; Jorquera, Romina[d]; Vegas, Catalina[e]**
**Pontificia Universidad Católica de Valparaíso**
**[a](Instituto de Geografía - cristian.larraguibel.g@gmail.com)**
**[b](Instituto de Geografía - felipe.salinas.n@gmail.com)**
**[c](Escuela de Trabajo Social - daniela.dacd@gmail.com)**
**[d](Escuela de Trabajo Social - romina.jorquera.cartes@gmail.com)**
**[e](Escuela de Trabajo Social - cata.vegas@gmail.com)**

**RESUMEN**
Debido a la emergencia dada por el incendio ocurrido en la ciudad de Valparaíso en el mes de abril del año 2014, se generó un instrumento de caracterización territorial de enfoque comunitario de ciertos sectores de la zona afectada delimitados a través de las unidades vecinales, cuyo fin fue informar la situación suscitada y sus consecuencias en las comunidades afectadas. El instrumento en este caso es un prototipo de atlas con enfoque a temas comunitarios y ambientales, que demuestren las condiciones materiales de las comunidades post incendio, y sus estados de riesgo ante futuras situaciones de emergencia, crisis, desastre y/o catástrofe.

**Palabras claves:** Valparaíso, Comunitario, Atlas, Incendio, Emergencia.

## INTRODUCCIÓN

El gran incendio en la ciudad de Valparaíso (Chile), acontecido los días 12, 13 y 14 de Abril del 2014, afectó a 9 cerros de los 42 que tiene la ciudad, dejando 148 hectáreas quemadas de la zona urbana de un total de 1.042 hectáreas, junto con un número de 2.910 viviendas afectadas[1].

Lo anterior, se suma a diversas situaciones de emergencia y desastre que ha enfrentado el territorio chileno. Ejemplo de estos fenómenos en el país son los terremotos de Valparaíso de 1906, Chillán 1939, en la zona sur del país en 1960, o el terremoto en la zona central del país en 1985, en la que se vieron afectadas 195.000 viviendas, un saldo de 178 personas fallecidas y 2.000 personas heridas[2], o el terremoto en el norte del país el año 2005, con 6.018 personas damnificadas, 9 fallecidos, 1.691 viviendas con daños y 544 destruidas[3]. Otro ejemplo son los fenómenos de remoción en masa, que en 1991en Antofagasta, dejó un saldo de 91 muertos, 700 viviendas destruidas y 4.000 viviendas con daños[4].

Algo preocupante de las situaciones citadas, y que se ha dejado evidenciar notoriamente en el incendio de Valparaíso, es el déficit que presenta el país para dar respuestas oportunas y articuladas a los diferentes organismos y actores implicados en cada situación y contexto de emergencia y/o desastre. Este déficit es reconocido por la Política Nacional de Gestión de Desastres (2014), en la que plantea que el desafío del país es establecer "*una cultura preventiva en la población ante desastres*". Para afrontar este desafío, reconoce las debilidades del país ante esta materia, e indica áreas de fortalecimiento tales como: *Fortalecimiento institucional, Fortalecimiento de sistemas de monitoreo y alerta temprana, Fomento de cultura de la prevención y el auto-aseguramiento, Fortalecimiento de la preparación ante los desastres para lograr una respuesta eficaz,* y *Reducción factores subyacentes del riesgo*.

Y es que estas áreas de fortalecimiento van dirigidas a deficiencias que se registraron precisamente tras el incendio de Valparaíso: *Hábitos debilitados de organización y solidaridad en marcos de participación ciudadana entre y dentro del sector público, sector privado y sociedad civil para afrontar sucesos de emergencia*; *La falta o poca disponibilidad de información ambiental y social de los territorios a escala local, que sea comprensible y accesible por todas y todos los y las habitantes; Ausencia de planes concretos para prevenir situaciones de emergencia; La discontinuidad de trabajo entre el capital humano avanzado de centros de I+D regionales y las instituciones gubernamentales a nivel regional y nacional; Debilitamiento del tejido social y trabajo comunitario en algunos sectores afectados por el incendio por parte de las*

[1] Plan de Inversiones. Reconstrucción y rehabilitación urbana. (2014). Gobierno de Chile: 5.
[2] Bordas, A. (2006). Políticas públicas para enfrentar los desastres naturales en Chile. Universidad de Chile, Santiago de Chile: 13-15.
[3] Bordas, A. (2006). Políticas públicas para enfrentar los desastres naturales en Chile. Universidad de Chile, Santiago de Chile: 82
[4] Bordas, A. (2006). Políticas públicas para enfrentar los desastres naturales en Chile. Universidad de Chile, Santiago de Chile: 15-16.

*organizaciones sociales y comunitarias, en medio de procesos de exclusión de grupos y fuerzas vivas no reconocidas por las autoridades en el territorio; Falta de políticas locales de participación e inclusión de los distintos actores que desarrollan actividades para el mejoramiento de la calidad de vida y prevención de factores de riesgo ambiental y social; Ausencia de protocolos estratégicos para tomar acciones con mayor eficiencia una vez acontecida la emergencia*[5].

Bajo tal contexto, se requiere consolidar los sistemas integrados de información que den cuenta de lo que existía en los territorios previo a los desastres o emergencias, la magnitud de los mismos y la situación posterior, con el fin de entregar una respuesta eficiente a los afectados, sean directos e indirectos, por las situaciones de desastres y/o emergencia. En este sentido, los sistemas de información deben ser fidedignos y de actualización continua, que permitan la desagregación de datos territoriales a diversas escalas que consideren tanto las características físicas y ambientales del territorio, como la distribución y dinámica de la población que habita o se relaciona con el territorio afectado, teniendo por consiguiente, una agrupación y focalización del conjunto de necesidades que configuran demandas hacia los organismos públicos a nivel de barrio, ciudad, región y país. Para ello, se debe reconocer los actores presentes en el territorio: organizaciones sociales, organismos públicos, organismos de la sociedad civil, políticas y programas; con el fin que, desde allí, se analice la dinámica de relaciones existente entre los actores de la ciudad para el enfrentamiento de la emergencia.

Por tanto, uno de los objetivos generales de esta investigación es elaborar un dispositivo que facilite la sistematización de información sociocomunitaria y territorial, preferentemente un atlas con visor web, teniendo como caso de estudio una sección del área afectada en Valparaíso. La selección de esta área se da por lo reciente del suceso, como también por el historial de Valparaíso al poseer diversos tipos de riesgos tales como incendios, terremotos, maremotos y deslizamientos[6].

Por otro lado se requerirá de un catastro georreferenciado de actores presentes en el territorio y sus redes de influencia, la identificación de organizaciones sociales presentes en el territorio y roles, identificación y descripción de conflictos registrados por organizaciones sociales y comunidades de los sectores de la zona afectada post contexto de emergencia, junto con las reconfiguraciones de las relaciones sociales en los barrios afectados, además de identificar cambios ambientales en la zona que puedan a futuro, producir las condiciones similares que gatillen en una situación de emergencia como la evidenciada tras el incendio.

[5] Observaciones resultado del proyecto "Prototipo de Atlas Sociodemográfico para Valparaíso". Código: 037.698-44, Fondos Concursables Proyectos de Innovación Grupal de Profesores. Dirección de Innovación y Emprendimiento, Vicerrectoria de Investigación y Estudios Avanzados, PUCV.

[6] Arenas, F., Lagos, M., Hidalgo, R. (2010). Los riesgos naturales en la planificación territorial. Centro de Políticas Públicas. Temas de la Agenda Pública. 5. (39). Santiago de Chile, ISSN 0718-9745.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogen tres unidades vecinales dentro del área afectada para desarrollar el prototipo de atlas (unidad vecinal n°18 "Las Quintas", n° 62 "Los Mejoreros", n° 156 "El Vergel Alto"). Se produce información espacial que caracterice los territorios en temas ambientales, sociodemográficos, comunitarios y urbanos. Comenzando por la configuración ambiental y urbana, se extraen datos de un vuelo LiDAR del 14 de Abril, para generar un modelo digital de terreno (MDT) y un modelo digital de superficie (MDS) de las tres unidades vecinales en estudio, para delimitar las estructuras que no se vieron afectadas por el incendio. Junto con esto se aplica el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), para monitorear la calidad de la vegetación en base a su respuesta espectral, con el fin de determinar durante los meses previos al incendio, si se presentaban las condiciones naturales óptimas para su activación. Por otra parte, se aplica el NDVI en dos momentos más, que son a los días y meses después del incendio, para identificar la capacidad de recuperación de la vegetación en la zona.

En cuanto a los aspectos sociodemográficos y comunitarios se recopiló la información de bases de datos espaciales almacenadas por diversas instituciones académicas e institucionales, además de la captura de datos georreferenciados en terreno. Se desarrolló observación participante, que logró capturar información de la dinámica relacional cotidiana, identificando organizaciones presentes (territoriales y funcionales), además de conversaciones incidentales que lograron establecer el rapport con agentes clave. Complementando lo anterior, se desarrollaron entrevistas semi-abiertas, que permitieron caracterizar el capital social presente en cada unidad vecinal desde las voces de sus habitantes.

## RESULTADOS

En cuanto a los aspectos ambientales y urbanos, por parte del procesamiento de imágenes LiDAR que se complementó con la utilización de una imagen satelital GeoEye, permitió definir las estructuras sólidas existentes antes y después del incendio, diferenciando incluso con la vegetación, agua y suelo desnudo, obteniendo la distinción de aquellas estructuras de material ligero existentes previo al incendio pero de las cuales no quedó rastro en el terreno, junto a aquellas estructuras que no se vieron afectadas por el incendio, tal como se identifica en la figura 1 y 2.

Por parte de la aplicación del método de NDVI, al momento de procesar las imágenes los días antes del incendio, se detectaron valores de NDVI superiores a 0.6, lo que se considera como vegetación sana y vigorosa. Durante Abril del mismo año, 2 días luego del incendio, los valores del índice para la zona afectada se presentaban en el rango del 0 y -1, comportándose como cuerpos de agua con un alto nivel de absorción de energía. Esto se explica, principalmente, a la cristalización del suelo producto de las altas temperaturas

alcanzadas, sobretodo en el punto de origen del incendio donde los valores bordearon el -1. Sin embargo, 2 meses después del incendio, en el mes de Junio, el área afectada marca valores del índice que fluctúan entre 0.4 y 0.6, e incluso en algunas zonas sobre el 0.6, lo que demuestra la rápida regeneración de la cubierta vegetal que se puede visualizar en la figura 3. Sin embargo, esta rápida regeneración no consiste del todo en vegetación arbórea, más bien, corresponde a vegetación herbácea y matorrales.




*Figura 1. Modelo Digital de Superficie (MDS) de la unidad vecinal Las Quintas.*
*Fuente: Elaboración propia a través de datos LiDAR.*



*Figura 2. Unidad vecinal Mejoreros, antes (derecha) y después (izquierda) del incendio.*
*Fuente: Elaboración propia. Comparación en base a imagen satelital GeoEye e imagen LiDAR.*

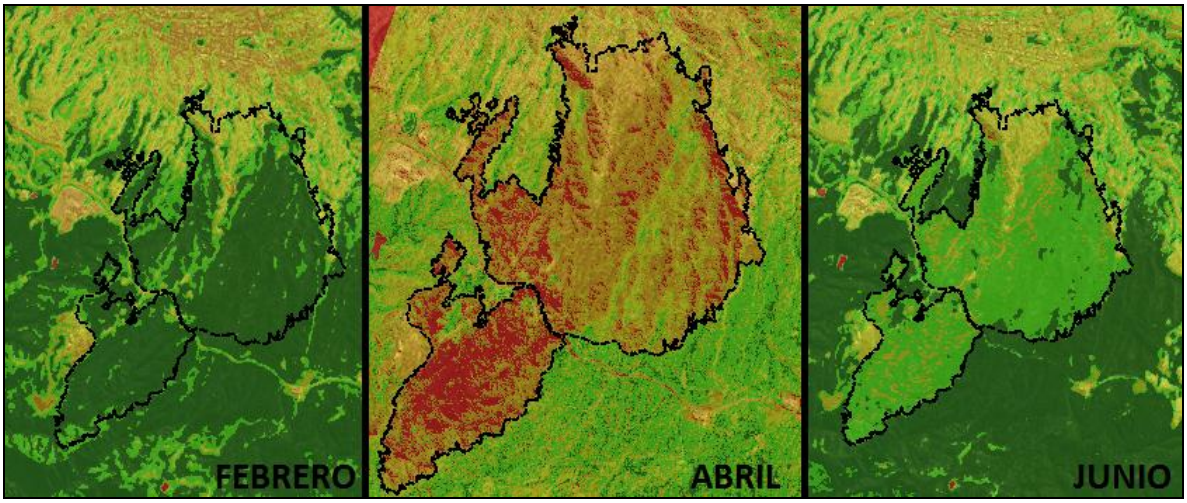



*Figura 3. Comportamiento de la vegetación previo, durante y posterior a la catástrofe en base a la aplicación del índice espectral de vegetación diferencial normalizado (NDVI).*
*Fuente: Elaboración propia.*

A nivel social, los principales conflictos, problemáticas, dificultades y deficiencias post-incendio, se han agrupado en cinco categorías: deficiencias de registro de familias damnificadas; dificultades en distribución de aportes materiales y distribución de servicios; consecuencias psicoemocionales; conflictos relacionales y; dificultades en implementación de respuestas habitacionales. Para afrontar las situaciones mencionadas, en los territorios destaca la reactivación espontánea del tejido social, la aparición de nuevas organizaciones comunitarias y el fortalecimiento de los Centros Culturales y las tradicionales Juntas de Vecinos, quienes aportan con espacios de encuentro y discusión frente a lo acontecido.

Paralelamente, la vinculación con las entidades públicas comunales y nacionales es percibida de manera dual, coexistiendo por un lado el reconocimiento de su importancia en la gestión de recursos y por otro lado, la crítica a dicha gestión, denunciando procesos lentos y extremadamente burocráticos; muestra de la escasez de aprendizajes anclados en materia de emergencias.

La información en extenso se ha presentado por medios virtuales, a los que se pueden ingresar a través de la página web del instituto de geografía. En esta página, existe un visor de mapas básico, en el que se identifican elementos del espacio mediante diversos mapas temáticos. Este tipo de visualización, se complementa con la evolución de los diversos fenómenos según mapas temporales (antes/después del incendio) y descripciones de las situaciones y contextos comunitarios pre-post incendio a través de mapas relaciones, diagramas, figuras e imágenes.

## DISCUSIÓN

A través del atlas propuesto, se ha logrado integrar distintas variables que explican el antes y después de la situación territorial en cuanto al incendio. Se detecta que las autoridades han avanzado paulatinamente, hacia esfuerzos técnicos y políticos coordinados, para atender a la población y sus necesidades emergentes, integrando, por ejemplo en módulos de emergencia a distintos niveles de gestión pública. No obstante, se observa que dichos esfuerzos se reducen a la atención de la contingencia, es decir de manera paliativa, en vez de generar alianzas sostenidas para la co-construcción de una cultura preventiva de catástrofes de esta índole, que cuente además con la protagónica participación de los actores sociales presentes en el territorio.

En este sentido, la cultura reactiva ante situaciones de emergencia y/o desastres producidos por fenómenos naturales o antrópicos que afecten a la población, indica que el tener presente el conocimiento del espacio geográfico, puede evitar que surjan las condiciones ideales que generen riesgo hacia la población. Así

mismo, el concentrar toda la información territorial que facilite la acción colectiva, incluso bajo un marco reactivo, da una mayor eficiencia en la respuesta, tanto por la población, como por las instituciones.

## CONCLUSIONES

El visor web permitió construir el atlas sociodemográfico con múltiples herramientas, facilitando la forma de entregar información referida a las comunidades afectadas por el incendio a quien la requiera. Por otro lado, se logró fusionar de manera satisfactoria las metodologías procesadas en SIG con metodologías de investigación comunitaria, estableciendo un vínculo que permitió conocer como las comunidades reaccionaron ante el incendio. Finalmente, se facilita una propuesta metodológica para generar un atlas sociodemográfico con enfoque comunitario a través de plataformas SIG y web.

La presentación de esta información contribuye a la transversalización de la información a nivel microsocial frente a una catástrofe, reforzada por las herramientas ya mencionadas, dimensión que, consideramos, resulta de vital importancia para afrontar situaciones futuras, a modo de sistematización de experiencias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arenas, F., Lagos, M., Hidalgo, R. (2010). Los riesgos naturales en la planificación territorial. Centro de Políticas Públicas. Temas de la Agenda Pública. 5. (39). Santiago de Chile, ISSN 0718-9745.
2. Bordas, A. (2006). Políticas públicas para enfrentar los desastres naturales en Chile. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
3. Plan de Inversiones. Reconstrucción y rehabilitación urbana. (2014). Gobierno de Chile

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL: HUMEDALES DE TARAPACÁ

**Paicho, Maritza[a]; Vera, Carolina[b]; Espinoza, Guillermo[c]; Vega, Juan Francisco[d]**
**Centro de Estudios de Humedales, Chile**
**[a](mpaicho@ceh.cl)**
**[b](cvera@ceh.cl)**
**[c](Centro de Estudios del Desarrollo, Chile - gespinoza@ced.cl)**
**[d](Asesor informática independiente, Chile, (jfranciscov7@gmail.com))**

**RESUMEN**

La Región de Tarapacá se ubica en el territorio más árido del planeta "Desierto de Atacama", sin embargo posee ecosistemas de gran valor natural y cultural, destacando entre ellos los "Humedales", ubicados principalmente en el altiplano, en las quebradas precordilleranas y en menor medida en los valles y pampas. En general la valiosa información disponible sobre estos humedales y temáticas vinculantes se encuentra dispersa, en ocasiones sin espacializar y consecuentemente de difícil acceso para los actores locales.

En este contexto se ha implementado una infraestructura de datos espaciales online, que ha permitido en forma gráfica sistematizar, estandarizar e integrar la información disponible y la generada recientemente. Mediante tecnologías de información geográfica, la plataforma web institucional y el soporte google map, fue posible crear la plataforma online "Sistema de Información Territorial: Humedales de Tarapacá" (www.ceh.cl/sig/), lo que ha permitido la transferencia de información, a actores locales, nacionales e internacionales.

**Palabras claves:** Humedales, desierto de Atacama, Altiplano, Sistema de Información Territorial.

## INTRODUCCIÓN

Los humedales corresponden a zonas intermedias entre el medio acuático y el terrestre, con porciones húmedas, semihúmedas y secas. Debido a esta característica ecotonal (zona de transición entre diferentes ecosistemas) los humedales se destacan por presentar una mayor riqueza de especies, respecto a las zonas que los rodean (CONADI/CED-CEH, 2012), razón por la que han sido catalogados como uno de los ecosistemas más productivos del mundo.

La amplia definición del término humedales propuesto por la convención Ramsar, considera a una gran variedad de ecosistemas, desde salares, estuarios y cochas; clasificándolos a nivel mundial en tres grandes grupos: marinos, continentales y artificiales. En Chile, desde el punto de vista ecológico funcional, se clasifican por ecotipos en tres categorías: marino, costero y continental (CEA-CONAMA, 2006). Según esta última clasificación en la Región de Tarapacá, particularmente en la Provincia del Tamarugal, predominan los humedales de ecotipo continental, entre estos las clases evaporación como salares, de escorrentía como arroyos y afloramientos subterráneos como vegas y bofedales. A escala local también se incorpora la clasificación de los humedales en función a macroambientes o pisos ecológicos, es decir, Altoandinos, de Precordillera y de Pampas y Quebradas.

La provincia del Tamarugal, es parte del extenso espacio que comprende el Desierto de Atacama, el cual se caracteriza por presentar variedades de climas desérticos extremadamente áridos (desértico interior, desértico marginal de altura y clima de estepa de altura), con altas oscilaciones térmicas, escasas precipitaciones y vegetación. En este contexto los humedales constituyen ecosistemas estratégicos, pues son verdaderas islas húmedas en la matriz desértica; presentando una mayor riqueza de especies, recursos y funciones con respecto a las áreas áridas adyacentes. De tal forma, este tipo de ecosistemas poseen un gran valor bio-físico, destacando sus funciones como sumideros de carbono, refugios y sustento de la biodiversidad, recarga de acuíferos, biofiltración del recurso hídrico, corredores biológicos, hábitat de especies endémicas y/o en alguna categoría de conservación. También poseen un gran valor desde el ámbito socio-cultural, puesto que son parte del patrimonio cultural de la humanidad, están asociado a creencias religiosas y tradiciones locales, y a su vez proveen a la población de múltiples servicios ecosistémicos, es decir, componentes y procesos del ecosistema que son consumidos, disfrutados o que conducen a aumentar el bienestar humano (Laterra, Jobbagy y Paruelo, 2010).

El valor socio-cultural de los humedales presenta una gran importancia a escala local, puesto que existe una estrecha relación entre los diversos ecosistemas de humedales de la región y el desarrollo de los pueblos originarios; sus asentamientos en los diversos pisos ecológicos están ligados a la presencia de arroyos, oasis,

vertientes, vegas y bofedales; estos ecosistemas han proporcionado ancestralmente a las comunidades la base de la organización social y económica, basada en la ganadería y agricultura (CONADI/CED-CEH, 2012). Actividades sustentadas principalmente por el recurso hídrico y la vegetación nativa, de tal forma que cada comunidad vinculada a un tipo de humedal posee un sistema de uso de estos ecosistemas en función a los ciclos propios que cada piso ecológico y humedal les ofrece.

La información disponible referente a humedales de la Región de Tarapacá o de la Provincia del Tamarugal se hallaba dispersa y no sistematizada, correspondiendo a esfuerzos aislados de investigación, o bien, a documentos archivados en diversas instituciones. Este escenario no permitía disponer de una imagen panorámica del territorio y sus cualidades, a pesar de constituir una temática relevante que trasciende a las tomas de decisiones de los actores claves locales, regionales y nacionales, y, en último término en el uso que se le asigna al territorio. Además, no permitía un acceso adecuado a la información por parte de la ciudadanía en general, propiciando el desconocimiento y la falta de valoración de los humedales; ecosistemas de gran importancia para la Región desértica de Tarapacá, proveedores de uno de los recursos más vitales el "agua". En general el desconocimiento y la no valoración de los ecosistemas, son unos de los factores que causan poco a poco grandes transformaciones, alteraciones negativas y degradación de estos ambientes (MMA/CED-CEH, 2011).

Además de la falta de información sistematizada, no existía una herramientas que permitiera integrar, ordenar, graficar y espacializar la información, y a su vez que la difundiera a toda la comunidad científica, académica, privada, publica, indígena, estudiantil, y civil en general. Una plataforma de libre acceso que proporcionará la transferencia de información referente a humedales, para disponer de una ciudadanía conocedora de su territorio, valorado y con un uso sustentable, de tal forma de posibilitar la conservación de los humedales.

Frente a este contexto el Centro de Estudios de Humedales (CEH) se planteó objetivos para abordar esta problemática; por un lado recopilar, revisar y sistematizar la información disponible, además de identificar vacíos de información. Generar una base de datos espacial que integre de forma gráfica y georreferenciada la información sistematizada de humedales de la Región de Tarapacá, es decir, desarrollar un sistema de información geográfico (SIG), este último definido como un sistema compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelar y representar datos georreferenciados, con el objeto de resolver problemas de planificación y gestión (Goodchild y Kemp, 1990). Por último implementar una plataforma de datos espaciales online de libre acceso que permitiera poner a disposición la

base de datos geográfica de humedales generada, de tal forma de transferir la información contenida a toda la comunidad.

Este último objetivo se enmarca en las líneas de trabajo del CEH, que establece "Diseñar y administrar un centro de difusión de información sobre humedales y temas relacionados con base en instrumentos virtuales y sistemas de información territorial".

Las tecnologías de información geográfica o SIG, han ingresado ampliamente en una gran diversidad de disciplinas, partiendo por la geográfica pasando por las ciencias ambientales, ciencias sociales, económicas (marketing) e incluso en ámbitos policiales (geografía del delito; Carreón, 2007). Estas constituyen una potente herramienta de análisis de grandes volúmenes de datos espaciales y no espaciales; y en el caso de las interfaces gráficas online permiten una amplia difusión de la información, y también de apoyo a los procesos de aprendizajes en materias geográficas, de biodiversidad y cultura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para llegar al objetivo central de este trabajo, "Generar una plataforma online de datos espaciales sobre humedales locales", el CEH desarrolló un trabajo previo de recopilación y sistematización de información en una base de datos espacial interna (institucional), proceso desarrollado a partir de las líneas de trabajo institucionales.

La metodología se desarrolló en tres etapas, además de un proceso de constante retroalimentación basado en la actualización periódica de los datos espaciales (ver **figura N°1**).

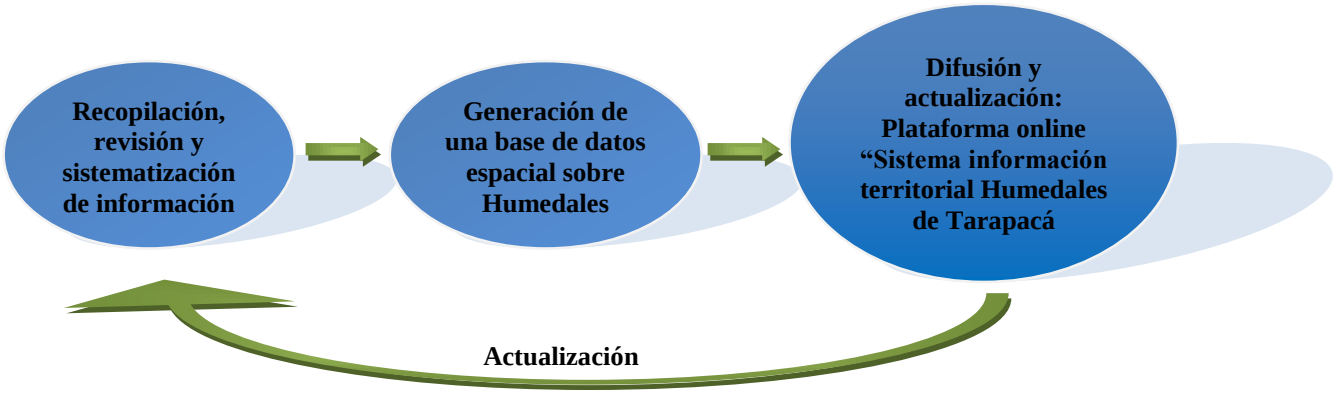



*Figura 1. Modelo de aproximación: etapas metodológicas.*
*Fuente: Elaboración propia.*

**Etapa I: recopilación, revisión y sistematización de la información**

La primera etapa consistió en la búsqueda de información referente a humedales en diversas instituciones públicas y privadas, en formato físico y digital (descarga desde páginas web), locales, regionales, nacionales e internacionales. La información recopilada fue ordenada por temáticas, tales como, aspectos culturales, económicos, sociales, demográficos, políticos y administrativos (comuna y cuenca), como también ubicación, superficie, altitud, biodiversidad de fauna y vegetación, geología, geomorfología, clima e hidrología, entre otras.

Esta labor la desarrolló el CEH, por un largo periodo de tiempo, como parte de estudios y proyectos previos, implementando además una biblioteca virtual disponible en la URL http://www.ceh.cl/biblioteca-virtual/.

Cabe señalar que el proyecto "Conservación de la Biodiversidad y Gestión Sustentable del Salar del Huasco (2002-2006)" ejecutado por el Centro de Estudios del Desarrollo, institución administradora del CEH, generó una gran cantidad de información espacializada referente a humedales, por tal constituyó una de las bases de información más relevantes en el proceso de recopilación de datos espaciales.

La información recopilada a escala regional correspondió a temáticas geográficas como divisiones administrativas, cuencas, subcuencas y subsubcuencas, pisos ecológicos, localidades entre otras. El estado espacial de esta información era a) georreferenciada; b) sin georreferenciar y con datos de coordenadas para espacializar; c) sin georreferenciar y sin datos de coordenadas.

Luego de buscar y recabar la información se sometió a revisión de acuerdo a la pertinencia de la misma con los fines del objetivo central, para luego sistematizar por temáticas. En este proceso también se integró la información georreferenciada generada por el CED-CEH.

**Etapa II: generación de una base de datos espacial sobre humedales**

A partir de la información sistematizada, fue posible georreferenciar una cantidad importante de información, para generar la base de datos espacial o sistema de información geográfico (SIG) institucional.

El primer paso consistió en la inspección de la información, sobre sistemas coordenadas y formatos, para georreferenciar la información en los casos requeridos. Luego se estandarizó el sistema de coordenadas y proyecciones en Datum WGS84 UTM Huso 19 Sur, demandando la transformación o reproyección del sistema de coordenadas de algunas capas de información. Cabe destacar que la información espacializada se

almacenó principalmente en formato shapefile, la de tipo vectorial, y en TIFF, la de tipo raster. En el caso de los archivos en formato shapefile se ingresaron los datos en la tabla de atributos correspondientes.

Su almacenamiento siguió un orden, clasificándose por escala geográfica en una carpeta regional y en una carpeta local cuenca Salar del Huasco, y por temáticas de información en subcarpetas de información de base, vegetación, demografía, evaluaciones específicas, entre otras. Proceso desarrollado a lo largo de diferentes estudios y proyectos ejecutados por el CEH.

Estos procesos de georreferenciación, estandarización de sistemas de coordenadas y formatos y la clasificación de capas, se realiza contantemente con la nueva información que ingresa en los procesos de actualización.

**Etapa III: difusión y actualización con la plataforma online "Sistema de Información Territorial Humedales de Tarapacá"**

El primer paso de esta etapa consistió en la creación de una interfaz gráfica del "Sistema de información territorial: Humedales de Tarapacá" en la plataforma web del Centro de Estudios de Humedales (www.ceh.cl), disponible en la URL www.ceh.cl/SIG. La interfaz gráfica utilizó como mapa base la plataforma gratuita Google map (imágenes satelitales y mapa de relieve); dispone de un menú de accesos y de capas desplegables, ventanas con información de la tabla de atributo de cada capa, herramientas de medición lineal y áreas.

Luego se realizó una edición de la tabla de atributos y de las características gráficas de cada archivo almacenado en la base de datos espacial confeccionada en la etapa anterior, para continuar con la conversión de formato de los archivos, de Shapefile (SHP) a Keyhole Markup Language (KML), este último formato legible para la plataforma Google map.

Posteriormente se cargaron los archivos KML en el servidor del CEH con el respectivo orden asignado (etapa anterior), y se desarrollaron procesos de programación como asignar y/o modificar códigos para hacer visible las capas de información en el menú del Sistema de Información Territorial online.

**Retroalimentación: actualización**

La retroalimentación de este sistema consiste en la periódica actualización de las capas, es decir, modificar la información disponible o bien agregar nueva información generada tanto por el CEH como por otras instituciones vinculadas con la temática humedales.

En este proceso, el CEH constantemente desarrolla estudios y proyectos sobre humedales o temáticas relacionadas, de tal forma que dispone en el SIT Web de información recientemente generada.

## RESULTADOS

Destaca la base de datos espacializada de tipo institucional, que en síntesis contiene información sobre los humedales de la Región de Tarapacá, particularmente de la provincia del Tamarugal. Corresponden a 101 humedales de tipo continental, emplazados en los pisos ecológicos Pampas y Quebradas, Precordillera y Altiplano (**figura N°2**).

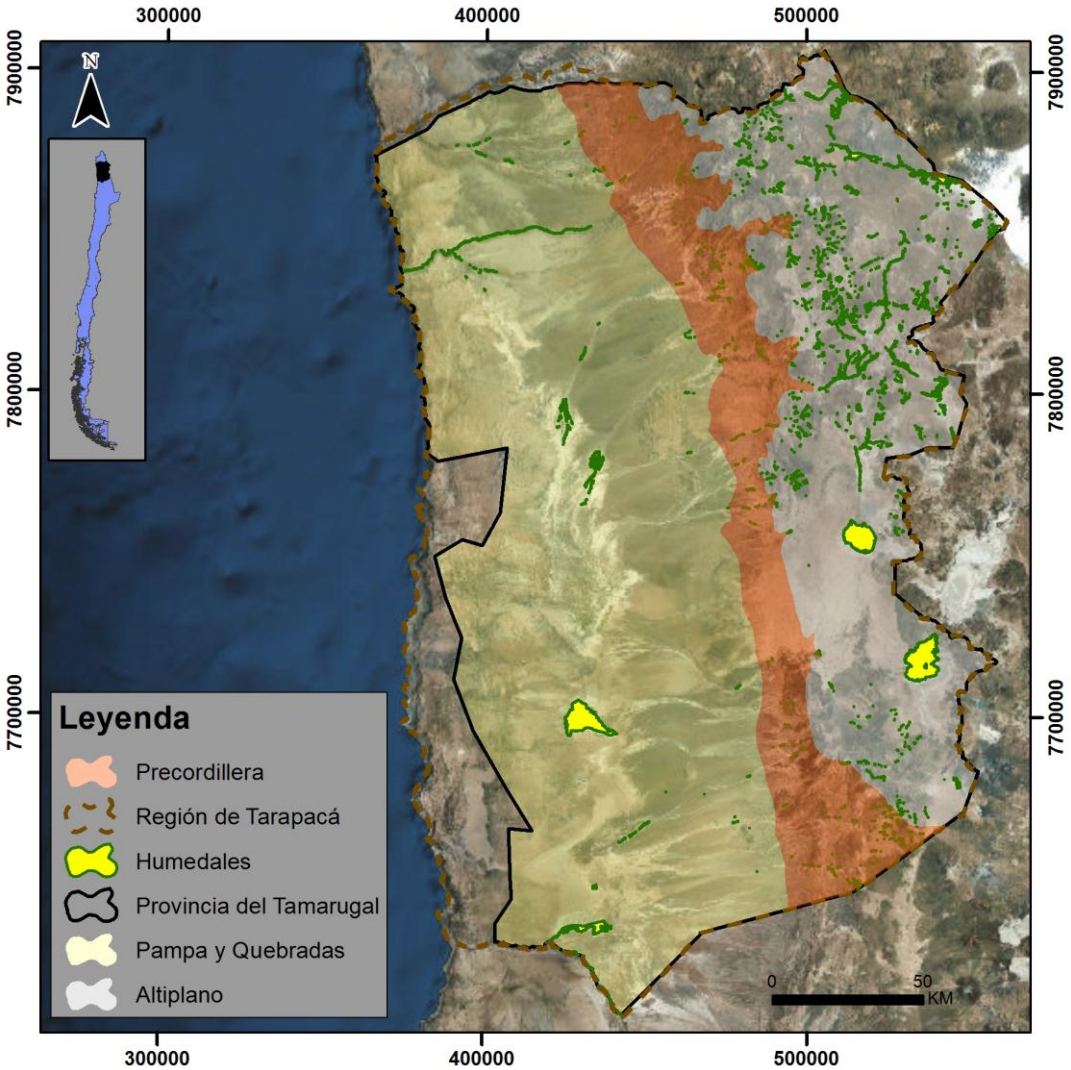



*Figura 2. Humedales catastrados en la Provincia del Tamarugal.*
*Fuente: Elaboración propia*

El sistema información Territorial institucional contiene un número importante de capas de información (**cuadro N°1**), con sus respectivas tablas de atributos.

*Cuadro 1. Capas disponibles en el Sistema de información Territorial Humedales de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia.*

| | |
|---|---|
| Región de Tarapacá | Comunas Región de Tarapacá |
| | Cuencas, subcuencas, subsubcuencas |
| | Hidrología |
| | Pisos ecológicos |
| | Humedales |
| | Vegas Protegidas |
| | SNASPE Región de Tarapacá |
| | Análisis multitemporal cuenca Lagunillas |
| | Analisis multitemporal cuenca Salar del Huasco |
| | Evaluación Multicriterio |
| | Demografía |
| | Cartas de vegetación |
| | Indicadores de usos por subsubcuenca |
| | Características físicas subsubcuencas |
| | Estaciones Hidrometeorológicas región |
| | Estaciones meteorológicas Fondecyt 1120204/CED-CEH |
| Subsubcuenca Salar del Huasco | LÍmite cuenca |
| | Caminos |
| | Geomorfología |
| | Salar |
| | Hidrología |
| | Cuerpos de agua (Laguna) |
| | Vertientes |
| | Distribución territorial fauna |
| | Registro de fauna |
| | Carta de Ocupación de Tierras de la vegetación |
| | Monitoreo Limnología |
| | Ssuelo |
| | Tipo de erosión |
| | Nivel de susceptibilidad a degradación |
| | Sitios arqueológicos |
| | Sitios de interés etnoturístico |
| | Zona de interés cultural |
| | Zona de resguardo |
| | Zona pastoreo |
| | Zonas compatibles con la conservación de la biodiversidad |
| | Zona de restricción |

El principal resultado de este proceso a enfatizar es el Sistema de Información Humedales de Tarapacá, disponible en la plataforma web www.ceh.cl/SIG. Este permite a toda la ciudadanía acceder de forma interactiva a la información georreferencial; capas de datos disponibles a escala regional y a nivel de la subsubcuenca Salar del Huasco (menú derecho, **figura N°3**). Entre sus funciones hallan las opciones de desplegar y/o desactivar las capas de información (menú izquierdo, **figura N°3**), acceder con un clic sobre la capa a la tabla de atributos y a fotografías del entorno del lugar, además de las herramientas de medición lineal y de áreas.

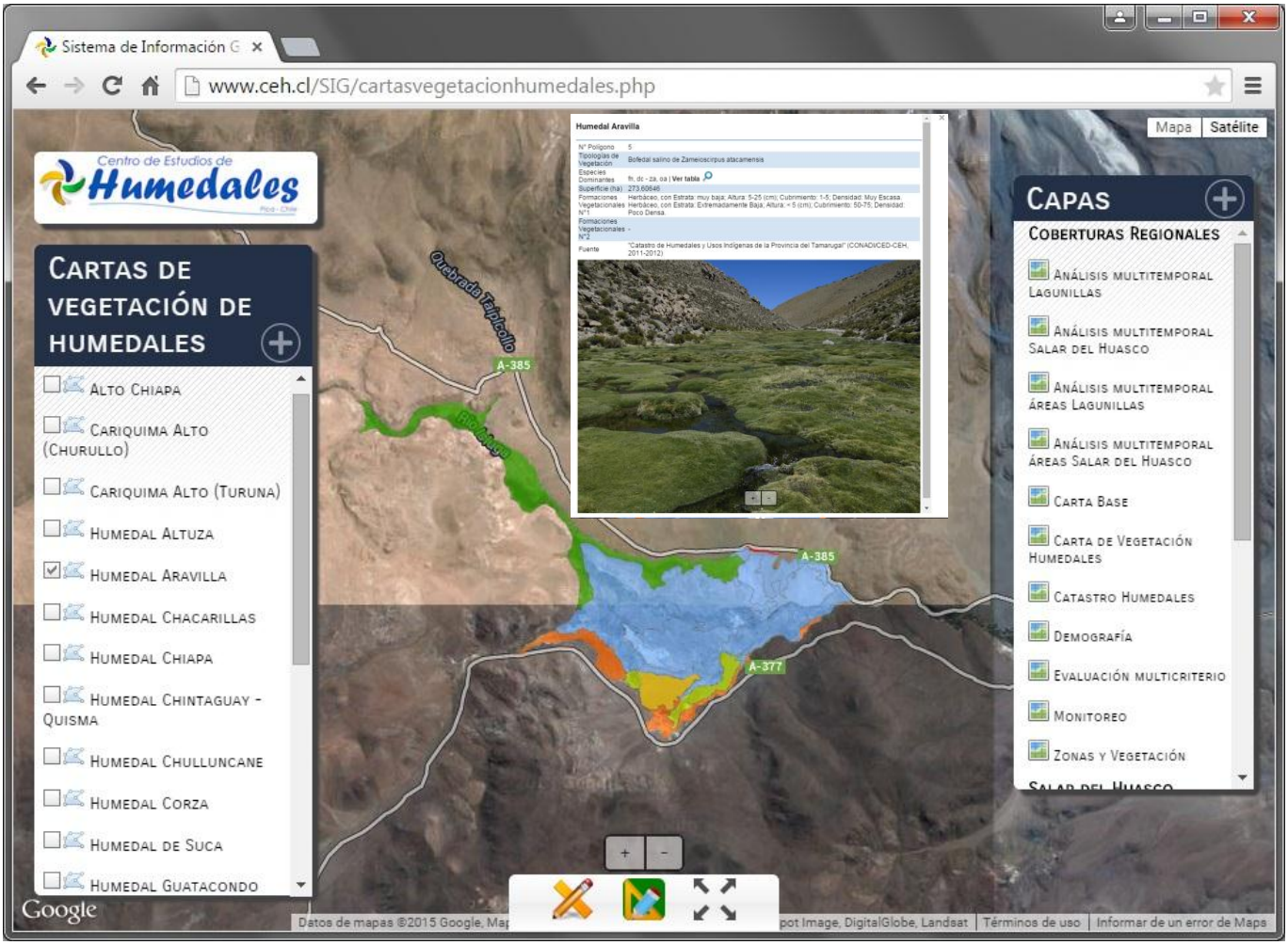



*Figura 3. Capas desplegadas en Sistema de Información territorial: Humedales de Tarapacá.*
*Fuente: Elaboración propia.*

## DISCUSIÓN

La relación entre la sociedad y el territorio, es el objeto de análisis de la geografía. En este sentido las tecnologías de información y en particular los SIG constituyen una herramienta de apoyo que facilita estos procesos, pero también son un potente instrumento para potenciar e incentivar el proceso de aprendizaje sobre el territorio y su sociedad. Las tecnologías de información geográficas son una valiosa herramienta pedagógica, puesto que incentivan la habilidad de poder leer e interpretar mapas, conformar el pensamiento espacial de las personas a través de: la visualización espacial, la orientación espacial y las relacionales espaciales (Zappettini et al., 2008).

Frente al desconocimiento y la poca valoración de los ecosistemas de humedales en la Región de Tarapacá y en particular sobre los recursos que los vinculan con la sociedad, objeto de estudio de la geografía entre otras disciplinas, los SIG constituyen una herramienta posibilitadora de desarrollo de conocimiento del territorio, tanto para la comunidad estudiantil como para la ciudadanía civil en general.

## CONCLUSIONES

"*Hay gente que mira la tierra y ve tierra nomás*" (Atahualpa Yupanqui). Si bien en la actualidad la sociedad con la diversidad de tecnologías de información y comunicación (TIC) disponibles tiene un mayor acceso a la información en comparación a épocas anteriores; el problema real yace no sólo en el acceso a información pertinente sino también en el complejo entramado de conocimientos necesarios para lograr observar adecuadamente el engranaje que compone nuestro territorio, de tal forma de no ver sólo tierra, de no ver sólo una gráfica estética en un mapa, sino un complejo espacio geográfico donde interactúan los recursos, la biodiversidad y la sociedad: Territorio.

En coherencia con este proceso de transferencia de información pertinente, mediante la herramienta sistema de información territorial online "Humedales de Tarapacá", que tiene como objetico aumentar el bagaje de conocimiento sobre el territorio local y la valoración sobre el mismo, para desarrollar usos sustentables. Se plantea o recomienda un nuevo proceso de enseñanza/aprendizaje sobre el territorio desde un enfoque geográfico, utilizando como herramienta el SIT online implementado, dirigido a docentes y estudiantes de secundaria; considerando que estos son grupos estratégicos para la transferencia de información y educación, logrando alcanzar indirectamente a sus pares y al círculo familiar.

## REFRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carreón, F. 2007. La Geografía del Delito. Boletín Ciudad Segura. N°17, p 1.
2. Centro de Ecología Aplicada-Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2006. Protección y Manejo Sustentable de Humedales Integrados a la Cuenca Hidrográfica (N°31-22-001/05). Santiago, Chile.
3. Corporación Nacional de Desarrollo Indígena/ Centro de Estudios del Desarrollo-Centro de Estudios de Humedales. 2012. Catastro de Humedales y Usos Indígenas de la Provincia del Tamarugal Etapa 1 y 2. S.e. Iquique, Chile.
4. CED (2006) Proyecto CHI/01/G36 Conservación de la Biodiversidad y Manejo sustentable del Salar del Huasco (CHI/01/G36). Santiago, Chile.
5. Goodchild y Kemp. 1990. NCGIA Core Curriculum in GIS National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, CA.
6. Ministerio del Medio Ambiente/Centro de Estudios del Desarrollo-Centro de Estudios de Humedales 2011. Guía Educación y Sensibilización Ciudadana para la conservación y Uso Sustentable de los Humedales de la Región de Tarapacá. S.e. Santiago, Chile.
7. Laterra, P. Jobbagy, E. & Paruelo, J. (Ed.). 2010. Valoración de Servicios Ecosistémicos. INTA. Mar de Planta, Argentina.
8. Zappettini, M.; Zilio, C.; Lértora L.; Carut, C; Car N. 2008. Los Sistemas de Información Geográfica – SIG- en la Enseñanza de la Geografía. Tiempo y Espacio. Vol. 21, p. 94-112.




## EJE 5

## Cartografía, Catastro y Sistemas de Información Geográfica Municipales

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA MODERNIZACIÓN DEL CATASTRO MUNICIPAL

**Miraglia, M[a].; Caloni, N.[b]; Di Franco, L[c].; De Vito, J.[d]; Rivarola M.[e]; Natale, D.[f]; Spina, V.[g]; Juárez, A.[h]; De Luca, V.[i]**

**Universidad Nacional de General Sarmiento – Instituto del Conurbano - LABSIG-**

**[a](mmiragli@ungs.edu.ar)**
**[b](ncaloni@ungs.edu.ar)**
**[c](ldifranco@ungs.edu.ar)**
**[d](jdevito@ungs.edu.ar)**
**[e](mrivarol@ungs.edu.ar)**
**[f](dnnatale@ungs.edu.ar)**
**[g](vspina@ungs.edu.ar)**
**[h](ajuarez@ungs.edu.ar)**
**[i](vdeluca@ungs.edu.ar)**

**RESUMEN**

En Argentina si bien la oferta formativa en Tecnologías de la Información Geográfica (TIGs) ha ido en aumento durante las últimas décadas, aún resulta insuficiente por lo cual la aplicación de este tipo herramientas se lleva a cabo de manera dispar entre las diferentes regiones geográficas, al concentrar la oferta formativa en las principales ciudades, capitales de provincia. El personal público de los diferentes municipios que conforman el interior provincial no está exento a esta realidad, por lo cual la estandarización, manipulación y actualización de datos geográficos resulta un obstáculo para la gestión de información sensible. La posibilidad de brindar una oferta formativa de calidad que permita capacitar a personal de la administración pública, distribuidos a los largo de diez municipios en 7 provincias, representa un desafío para el equipo que conforma el Área de Tecnologías de la Información Geográfica y Análisis Espacial de la Universidad Nacional de General Sarmiento.

**Palabras claves:** Tecnologías de la Información Geográfica – Catastro Municipal – Profesionalización institucional.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la información ocupa un lugar predominante en la gestión municipal, esta debe cumplir los requisitos de ser estratégica, científica y técnica ya que las administraciones invierten un porcentaje cada vez mayor de sus recursos para su obtención. En las instituciones del estado la información cumple un rol esencial ya que permite a los órganos ejecutivos y tomadores de decisión orientar recursos financieros limitados. En este sentido las tecnologías de la información geográfica se presentan, ante estos organismos con injerencia territorial, como una poderosa herramienta que permite la generación, manipulación y gestión de información.

La producción de información de contenido geográfico o espacial debe ser acompañada de recursos humanos actualizados y formados en TIGs. En la Argentina las principales ofertas de formación en Sistemas de Información Geográfica (SIG) se dan en el marco de instituciones universitarias, ubicadas en las capitales de provincia y con escasos centros regionales, e incluyen el formato de cursos o asignaturas en el marco de una carrera universitaria.

Teniendo en cuenta la extensión territorial que presenta nuestro país, resulta evidente que un gran porcentaje de las administraciones municipales no logran acceder a la oferta mencionada para la formación de sus recursos humanos, extendiendo así la brecha digital entre las diferentes comunidades. Entre las dificultades que produce esta restricción de acceso a las TIGs, se suma la interrelación parcial entre las áreas catastrales municipales y los estados provinciales, encargados de centralizar dicha información. La metodología actual de trabajo llevada a cabo en los diferentes municipios favorece la centralización en personas clave, con gran conocimiento del área pero sin formación específica, generando una gran dependencia individualizada que atenta con el trabajo en equipo que requieren las administraciones modernas. Si bien en muchas provincias existen convenios de reciprocidad para el intercambio de datos con sus municipios, la metodología mencionada al carecer de un protocolo específico no contribuye a mantener la integridad de los datos atentando con la información sistematizada.

Ante esta situación, la Secretaria de Asuntos Municipales (SAM) dependiente del Ministerio del Interior y Transporte de la Nación y el Área de Tecnologías de la Información Geográfica y Análisis Espacial perteneciente a la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS), celebraron un convenio específico destinado a la elaboración de un protocolo metodológico para la modernización del catastro municipal. A tal fin se formuló una propuesta de formación presencial de los recursos humanos pertenecientes a las áreas catastrales que incluyó material didáctico en formato de manual de procedimientos metodológicos y la debida asesoría técnica para su desarrollo.

**Objetivos del trabajo**

Formar a los recursos humanos municipales en TIGs a partir de métodos y procedimientos para la generación, manipulación y gestión de información geográfica catastral.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la propuesta formativa y la elaboración del procedimiento metodológico que incluyó la confección del manual, se realizaron reuniones periódicas que involucraron al personal docente. Este equipo de capacitación forma parte del plantel de la Tecnicatura Superior en SIG (TECSIG) y del Laboratorio de SIG, desarrollando tareas de investigación en TIGs y cuenta con 16 años de experiencia acumulada, encuadrando sus actividades en el Área de Tecnologías de la Información Geográfica y Análisis Espacial de la Universidad Nacional de General Sarmiento.

La propuesta incluyó tres componentes conceptuales, uno teórico, uno metodológico y uno práctico, la relación entre cada uno de ellos se mantuvo a lo largo de toda la propuesta. Por ello durante cada una de las reuniones del personal se establecieron diferentes aspectos para incluir en la propuesta formativa, incluyendo:

- objetivos de cada una de las jornadas
- duración de las mismas
- temas específicos centrados en la metodología
- software involucrado

Una vez alcanzados cada uno de estos ítems se procedió a la confección del manual y a su posterior discusión dentro del grupo evaluando alternativas de implementación.

Esta generación de protocolos metodológicos y de material didáctico, permitieron la estandarización de procedimientos tendientes a la actualización de información catastral en aquellos municipios involucrados en el acuerdo específico. En este sentido es necesario destacar que los contenidos académicos desarrollados a lo largo de la capacitación se relacionaron con las asignaturas de la TECSIG: Cartografía, Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica; Construcción y Gestión de bases de datos geográficas aplicadas a los SIG; Cartografía Temática y Teledetección y Procesamiento digital de imágenes satelitales. El software utilizado incluyó herramientas tipo CAD de digitalización, de georreferenciación, edición y generación de cartografía. Con el fin de no constituir erogación monetaria para los municipios se decidió por la utilización de software libre bajo estándares OGC: QuantumGIS y Libre Cad.

El desarrollo de esta oferta formativa se llevó a cabo de manera presencial, en jornadas bisemanales con una duración de dos y tres días. El desarrollo de los contenidos se fraccionó en diez módulos que incorporaron aspectos teóricos y prácticos adaptados a la modernización del catastro municipal a través de una estrategia metodológica. El tiempo transcurrido entre los encuentros incluyó la realización de ejercicios prácticos destinados a fijar los contenidos procedimentales y contó con asesoramiento a través de la plataforma virtual Moodle provista por el Programa de Sistemas y Tecnologías de la Información de la UNGS. Este medio posibilitó el intercambio entre estudiantes y cuerpo docente reforzando los diversos contenidos teóricos y prácticos que formaron parte de la propuesta educativa.

**Estrategia metodológica**

Los diez módulos que formaron parte del plan de estudios incluyeron:

**Módulo 1: Proceso de Escaneo de documentos catastrales:** Este módulo se propuso orientar a los estudiantes en el manejo de la documentación catastral, guiándolos en el proceso de organización y escaneo de documentos catastrales.

**Módulo 2: Tratamiento digital de imágenes:** Se introdujo aquí a los estudiantes en las técnicas y tratamientos de imágenes a partir de sus propiedades digitales. Ajustes de tamaño, rotación, escalamiento, etc.

**Módulo 3: Introducción al uso básico de software libre de SIG:** Este módulo tuvo por objeto encuadrar a los estudiantes en el uso básico de un software libre desde su descarga e instalación, así como su principal entorno de trabajo.

**Módulo 4: Georreferenciación en software libre de SIG: S**e abordaron desde el entorno de los SIG las técnicas de georreferenciación orientadas al uso de información catastral.

**Módulo 5: Digitalización vectorial de archivos en formato imagen en software libre de SIG:** Este módulo se concentró en el desarrollo de las capacidades técnicas para generar un archivo vectorial a partir de las imágenes escaneadas e incorporadas en el entorno de los SIG.

**Módulo 6: Edición de archivos vectoriales:** En este módulo se desarrollaron los conceptos básicos de edición de archivos vectoriales, abordando los aspectos gráficos y alfanuméricos.

**Módulo 7: Sistematización e integración en software libre de SIG:** El objetivo de este módulo fue introducir a los alumnos en el proceso de sistematización e integración de bases de datos en un SIG.

**Módulo 8: Vinculación de datos externos:** Los conceptos teóricos y prácticos presentes en este módulo permitieron la vinculación de datos generados en el proceso de digitalización, con bases de datos externas, provenientes de otras áreas del estado municipal.

**Módulo 9: Fundamentos básicos de cartografía:** Se introdujo a los alumnos en los fundamentos teóricos básicos de la cartografía temática a fin de adquirir la capacidad para generar su propia base cartográfica.

**Módulo 10: Publicación de mapas base:** Correspondiente al último módulo, se aplicaron aquí todos los conceptos teóricos y prácticos a fin de lograr la producción y publicación en formato digital e impreso de mapas con información de base y temáticos.

Las jornadas de capacitación presenciales tuvieron una duración de dos y tres días, la distribución de los módulos y sus temas fueron diagramados según se observa en la siguiente Tabla 1.

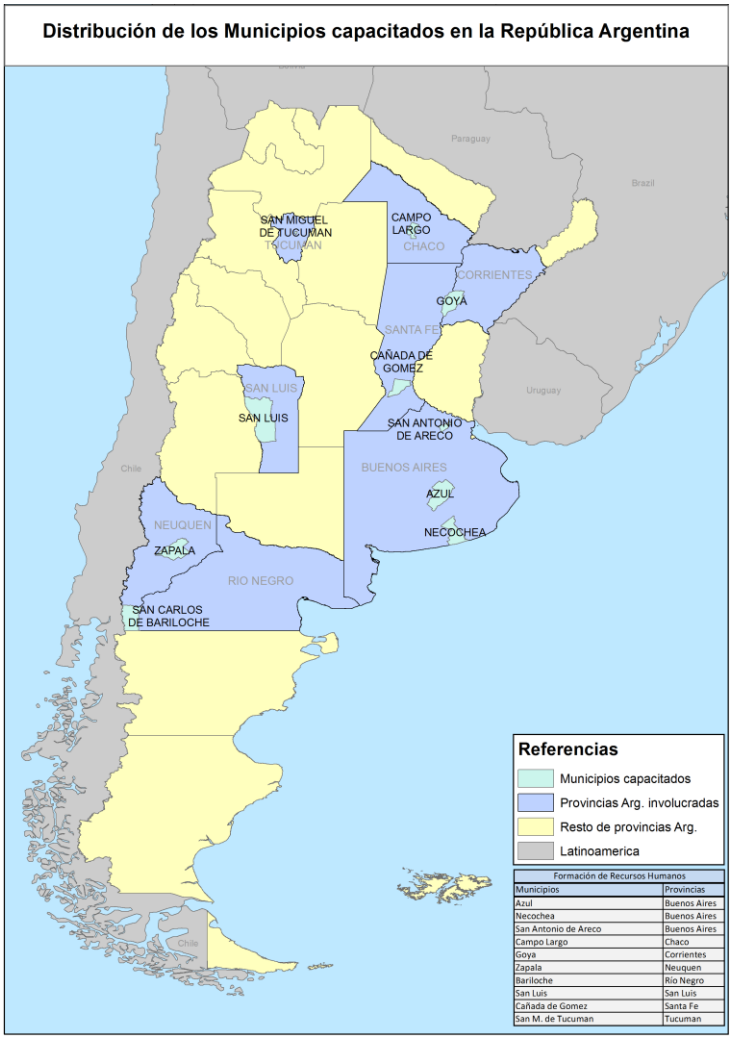
*Tabla 1. Distribución y contenido de las jornadas de capacitación.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| JORNADA | MODULOS | HORAS/DÍAS | TEMAS | SOFTWARE |
|---|---|---|---|---|
| Jornada 1 | Módulos:1- 2-3 | 15hs – 3 días | 1. Proceso de escaneo de documentos catastrales<br>2. Tratamiento digital de imágenes<br>3. Introducción al uso básico de software libre de SIG. | QGIS. Versión 2.8 Wien |
| Jornada 2 | Módulos: 4-5 | 10 hs – 2 días | 4. Georreferenciación en software libre de SIG.<br>5. Digitalización vectorial de archivos en formato imagen en software libre de SIG. | QGIS. Versión 2.8 Wien<br>Libre Cad |
| Jornada 3 | Módulos: 6-7-8 | 15 hs – 3 días | 6. Edición de archivos vectoriales.<br>7. Sistematización e integración en software libre de SIG.<br>8. Vinculación de datos externos. | QGIS. Versión 2.8 Wien |
| Jornada 4 | Módulos: 9-10 | 10 hs – 2 días | 9. Fundamentos básicos de cartografía.<br>10. Publicación de mapas base. | QGIS. Versión 2.8 Wien |

## RESULTADOS

Los resultados alcanzados se relacionan con los objetivos del convenio interinstitucional, en este sentido es necesario destacar los tres componentes fuertemente complementarios: la formación de recursos humanos, la asesoría técnica y la confección del protocolo metodológico.

Con respecto a la formación de recursos humanos, eje principal de la oferta de formación descripta, la capacitación contó con la participación de 45 empleados municipales de las áreas catastrales que cumplieron satisfactoriamente las instancias propuestas en cada una de las jornadas. La distribución de los municipios capacitados se puede visualizar en el mapa 1.




*Mapa 1. Municipios capacitados.*
*Fuente: Elaboración propia.*

La asesoría brindada durante cada uno de los diferentes encuentros se centró en cuestiones técnicas y operativas vinculadas al área en particular y su relación con la distintas dependencias de gobierno a nivel local, provincial y nacional, así con también sobre las diferentes fuentes de información disponibles en los organismos productores de información geográfica.

Como parte de las metas alcanzadas se debe mencionar el desarrollo de un protocolo metodológico apoyado en la producción de un manual de procedimientos, centrado en el uso de TIGs por parte del Laboratorio de SIG de la UNGS que contribuyó a la organización de este tipo de información, de suma importancia para las administraciones municipales, favoreciendo el intercambio con las diferentes áreas, modernizando su manejo y agilizando la gestión municipal.

## CONCLUSIONES

Las administraciones municipales deben incluir en su planta de personal, recursos humanos formados en TIGs, como respuesta a la creciente utilización de información con contenido espacial, esto se hace evidente en las áreas más relacionadas con la gestión del territorio, como catastro, planificación y obras públicas. La oferta de formación en estas tecnologías se encuentra, principalmente, en los centros universitarios de las capitales provinciales, convirtiendo a la distancia en un factor que fomenta la brecha digital. El Ministerio de Interior y Transporte ha dado un decidido impulso a la formación de recursos humanos a través del convenio de Modernización del Catastro Municipal celebrado con el Laboratorio de SIG de la UNGS que incluyó además de las 50 horas de capacitación presencial, un protocolo metodológico y la asesoría técnica para su implementación. Este esfuerzo conjunto entre instituciones nacionales supone un avance que permitirá brindar un marco adecuado para el intercambio recíproco entre la administración provincial de catastro y su par municipal. Sin embargo los alcances de esta oferta se encuentran limitados por la disponibilidad horaria y logística del cuerpo docente, siendo la educación a distancia una herramienta pedagógica con alto potencial que deberá ser tenida en cuenta para futuras experiencias. Así mismo será necesario establecer un protocolo metodológico más amplio que involucre, fundamentalmente, el intercambio de datos e información entre las diferentes administraciones. Con respecto al entorno del software libre, éste brinda el soporte técnico adecuado y al ser gratuito permite destinar recursos económicos en la modernización del hardware. En este sentido y teniendo en cuenta las ventajas que presenta el país y las posibilidades de financiamiento de líneas prioritarias para el desarrollo de software, sería adecuado contar con software específico que simplifique la operatoria y permita ampliar la base de usuarios en todo el país. La experiencia exitosa de la primera etapa de capacitación posibilita un segundo curso que incluirá otros 12 municipios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blanco, I. y Gomá, R. 2003. "Gobiernos locales y redes participativas: retos e innovaciones", en Reforma y Democracia, **revista del CLAD**, núm. 26, junio de 2003, Caracas.
2. Buzai, G., 2008. Sistemas de **información geográfica (SIG) y cartografía temática. Métodos y técnicas para el trabajo en el aula.** Capítulos 1 y 2. Lugar Editorial. Primera Edición. Buenos Aires.
3. Hall, R. 1996.**Organizaciones. Estructura, Proceso y Resultados** 6ta. ed. Prentice-Hall Hispanoamericana.
4. Ministerio de Educación; www.me.gov.ar/spu/Servicios/ listado_de_universidades.html; julio/ setiembre de 2012.
5. Miraglia, M., et al. **Manual de cartografía, Teleobservación y Sistemas de Información Geográfica**, UNGS (2010).
6. NacionesUnidas 1999. **Third United Nation Conference on the Exploration and Peaceful Uses of Outer Space**, Education and Training in Space; Viena, 19 a 30 de julio de 1999; Número de venta S.00.I.3; Capítulo I.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# DISEÑO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) WEB MINERO-AMBIENTAL DE LA MINRIA ARTESANAL DEL MUNICIPIO VALLEDUPAR-CESAR

**Galvis Daza, Jorge Eliecer [a]; Rudas Muñoz, Antonio[b]; Rosado Garrido, Hellen[c]**
**Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia**
**[a](jgalvis@areandina.edu.co)**
**[b](anrudas@areandina.edu.co)**
**[c](hrosado@areandina.edu.co)**

**RESUMEN**

En el municipio de Valledupar las minas artesanales dedicadas a la extracción de arcilla y arena generan impactos al ambiente por la poca o nula planificación de las labores. Para conseguir la información minero-ambiental de estas minas es necesario realizar visitas a las entidades encargadas de la gestión minero-ambiental y salidas de campo. Con este proyecto se propone crear un SIG con acceso web que facilite la consulta de información y permita a entidades gubernamentales y académicas generar estrategias tendientes a realizar acompañamiento, mitigar y corregir los impactos causados al ambiente.

**Palabras claves:** SIG, Minero-ambiental, impacto ambiental, minería artesanal, Valledupar

## INTRODUCCION

Por su ubicación geológica el municipio de Valledupar, Colombia cuenta con múltiples depósitos minerales de origen sedimentario útiles en la industria en la construcción, entre ellos arcilla, grava, arena de rio y caliza. Estos depósitos son extraídos utilizando métodos de explotación a cielo abierto, generando impactos ambientales en los componentes bióticos y abióticos.

Estos minerales son de vital importancia para desarrollar proyectos urbanísticos de construcción y obras viales, esto ha ocasionado que las canteras queden cada vez más cerca de los centros urbanos volviéndolas punto de comparación entre su entorno y el paisaje que las rodea (DANIEL BARETTINO., D, 2002).

Para consultar información de tipo ambiental o minera de las canteras en el municipio de Valledupar es necesario dirigirse a la Agencia nacional minera -AGN, a la Corporación autónoma regional del Cesar – CORPOCESAR para consultar expedientes, en su defecto debe dirigirse directamente a las canteras para levantar la información directamente en campo o consultar en el visor web del catastro minero Colombiano donde solo se observa información general de los proyectos mineros (tipo de mineral, área de título minero, propietario de título minero y coordenadas de ubicación).

Actualmente la sistematización de las actividades y acciones se ha convertido en una necesidad de desarrollo latente para gobiernos, empresas, autoridades, instituciones educativas y profesionales en diversos campos, este auge que presenta la sistematización ha llevado al sector económico a no escatimar en realizar inversiones en la actualización de esta área. El manejo e interacción de la información ha desencadenado un sin números de puntos que hacen referencia a dificultades y costos ya sean económicos, energéticos o de tiempo empleado para llegar al punto exacto de interés, además se le suma a esto que el acceso a la información es más restringido y se encuentra de manera dispersa y la dificultad de obtener diferente información (temática) simultanea de un mismo punto que permita el análisis y comparación de la misma con el fin de dar a conocer las causas y efectos

El objetivo del proyecto es diseñar un Sistema de información geográfica minero-ambiental con acceso web que contenga información de los impactos causados por la minería a pequeña escala por la extracción de material de construcción, en el municipio de Valledupar, Colombia.

## MATERIALES Y METODOS

**Área de estudio.** El municipio de Valledupar encuentra ubicado al norte del departamento del Cesar en Colombia. La investigación está enfocada en la minería a pequeña escala dedicada a la extracción de materiales de construcción de manera artesanal. En el municipio existen 6 minas que realizan la explotación de forma artesanal de las cuales 4 están dedicadas a la extracción de arcilla y dos a arena de rio. En la figura 1 se observa la localización del área de estudio.

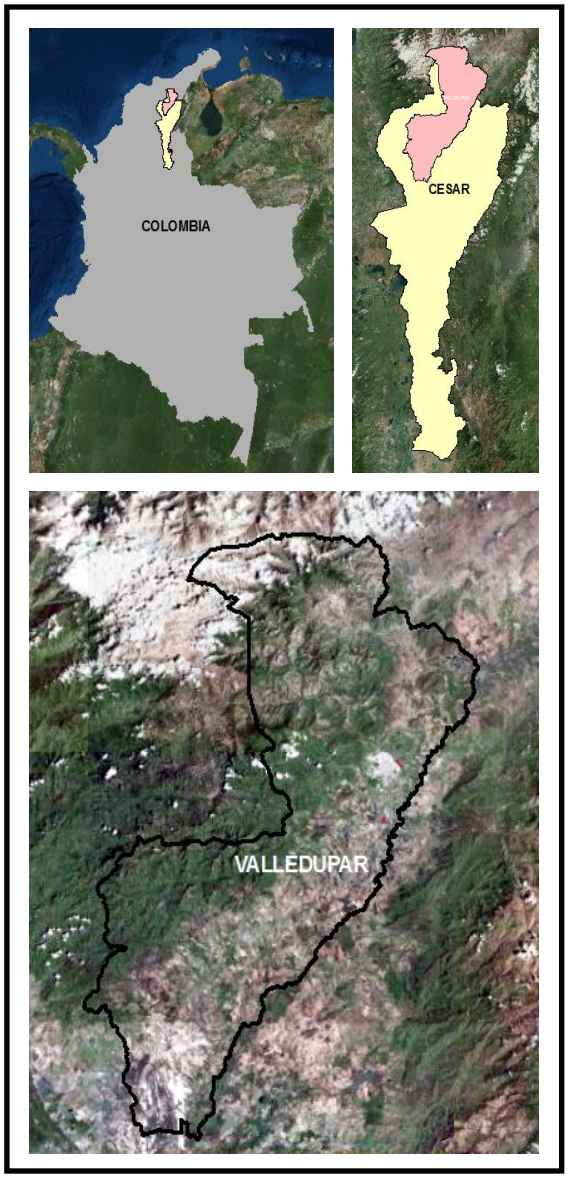



*Figura 1. Localización del área de estudio*

**Fuente de datos.** Los datos utilizados para la investigación son de dos tipos:

1) Datos generales obtenidos a partir de la consulta en la página Catastro minero Colombiano: área en hectáreas, códigoRMN, modalidad de contrato de explotación, mineral explotado, propietario del título minero, nombre de la mina.

2) datos específicos de las canteras adquiridos a partir de levantamiento de información en campo: frentes de explotación, fuentes de emisión a la atmosfera, captación de cuerpos de agua, infraestructura instalada.

**Técnica.** El SIG estará conformado por seis mapa, cada uno llevara como nombre el códigoRMN de cada una de las minas; los mapas tendrán capas de informaron referenciada de tipo minero y ambiental de las minas. En la tabla 1 se observan las capas sus atributos.

***Área de explotación***. Corresponde al polígono que delimita el contrato de concesión minero.

CódigoRMN. El código de registro minero nacional corresponde al código asignado por la Agencia Nacional de Minería al momento de solicitar un área para su explotación.

Mineral. Tipo de mineral explotado.

Titular. Persona natural o jurídica que realiza la solicitud del contrato de concesión minero ante la AGN.

Área. Superficie en Hectáreas del contrato de concesión minero.

Método de explotación. Corresponde al método de explotación utilizado para la extracción del recurso mineral

Número de trabajadores. Cantidad de trabajadores con que cuenta la mina

EPP. Porcentaje de trabajadores que utilizan elementos de protección personal

Seguridad social. Porcentaje de trabajadores que están afiliados a empresas prestadoras de salud por parte de la empresa minera.

***Frente de trabajo.*** Entidad lineal que muestra lugares donde se realiza la extracción de minerales.

Drescripcion. Características de los frentes de trabajo.

***Vias internas.*** Entidad lineal que contiene contiene el trazo de las vías para desplazamiento interno en la mina.

Longitud. Longitud en metros de los tramos de vías interna.

***Infraestructura.*** Polígonos *que* contiene toda la infraestructura construida en la mina (hornos, oficina, talleres).

Descripción. Contiene las características de los elementos representados.

***Asentamiento.*** Entidad polígono que corresponde a comunidades que habitan en las inmediaciones de las minas.
Descripción. Características del asentamiento.

***Unidad Geológica.*** Entidad polígono que contiene la Geología local del área de estudio.

Símbolo. Convención geológica del área de estudio.

Descripción. Características de la geología del área de estudio.

***Cuerpo de agua.*** Elemento lineal que contiene los cuerpos de agua presentes en el área de estudio.

Nombre. Nombre del cuerpo de agua.

***Captación de agua subterránea.*** Entidad puntual que contiene los puntos de extracción de agua subterránea.

Descripción. Características de los pozos de extracción de agua.

***Fuentes de Emisión***. Entidad puntual que muestra la ubicación de las fuentes de emisión de contaminantes a la atmosfera.

Descripción. Características de la fuente de emisión.

***Cobertura de suelo.*** Utilizando la metodología Corine land cover se clasifican las coberturas en el área de estudio.

Clasificación. Contiene las coberturas presentes en el área de estudio.

*Tabla 1. Nombre de capas y atributos.*

| **Capa** | **Atributos** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Área Explotación | CodigoRMN | Nombre Mina | Titular | Mineral | Área (Ha) | Método explotación | No. Tranajadores | EPP (%) | Afiliados salud (%) |
| U.Geológica | Símbolo | | | | | Descripción | | | |
| Frentes de trabajo | Descripción | | | | | | | | |
| Vías_interna | Longitud (m) | | | | | | | | |
| Infraestructura | Descripción | | | | | | | | |
| Asentamiento | Descripción | | | | | | | | |
| Cuerpo de Agua | Nombre | | | | | | | | |
| Captación agua subterran | Descripción | | | | | | | | |
| Fuente de Emisión | Descripción | | | | | | | | |
| Cobertura | Clasificación | | | | | | | | |

## RESULTADOS.

**Unidad geológica.** El área de estudio está conformada por rocas de edad cuaternaria, compuesta principalmente por rocas de origen sedimentario. En la Tabla 2 se describe la geología local de cada una de las minas.

*Tabla 2. Unidades geológicas del área de estudio*

| Nombre mina | Símbolo | Descripción |
|---|---|---|
| Coarcillas del cesar | QAL | En el área de estudio se encuentran depósitos cuaternarios, aluviales, no consolidados compuesto en mayor parte por suelos, arcillas, limos, arenas y gravas. |
| La montañita | QAL | En el área de estudio se encuentran depósitos cuaternarios, aluviales, no consolidados compuesto en mayor parte por suelos, arcillas, limos, arenas y gravas. |
| El cielo | QAL | En el área de estudio se encuentran depósitos cuaternarios, aluviales, no consolidados compuesto en mayor parte por suelos, arcillas, limos, arenas y gravas |
| Las casitas | QAL | En el área de estudio se encuentran depósitos cuaternarios, aluviales, no consolidados compuesto en mayor parte por suelos, arcillas, limos, arenas y gravas. |
| Copexma | QLLi | Esta unidad, litológicamente ésta constituida por: gravas, arenas, arcillas y limos, presenta un relieve plano a ligeramente inclinado, alcanzando una extensión lateral que puede ir desde unos pocos metros hasta 1Km. |
| Asopagua | QLLI | Esta unidad, litológicamente ésta constituida por: gravas, arenas, arcillas y limos, presenta un relieve plano a ligeramente inclinado, alcanzando una extensión lateral que puede ir desde unos pocos metros hasta 1Km |

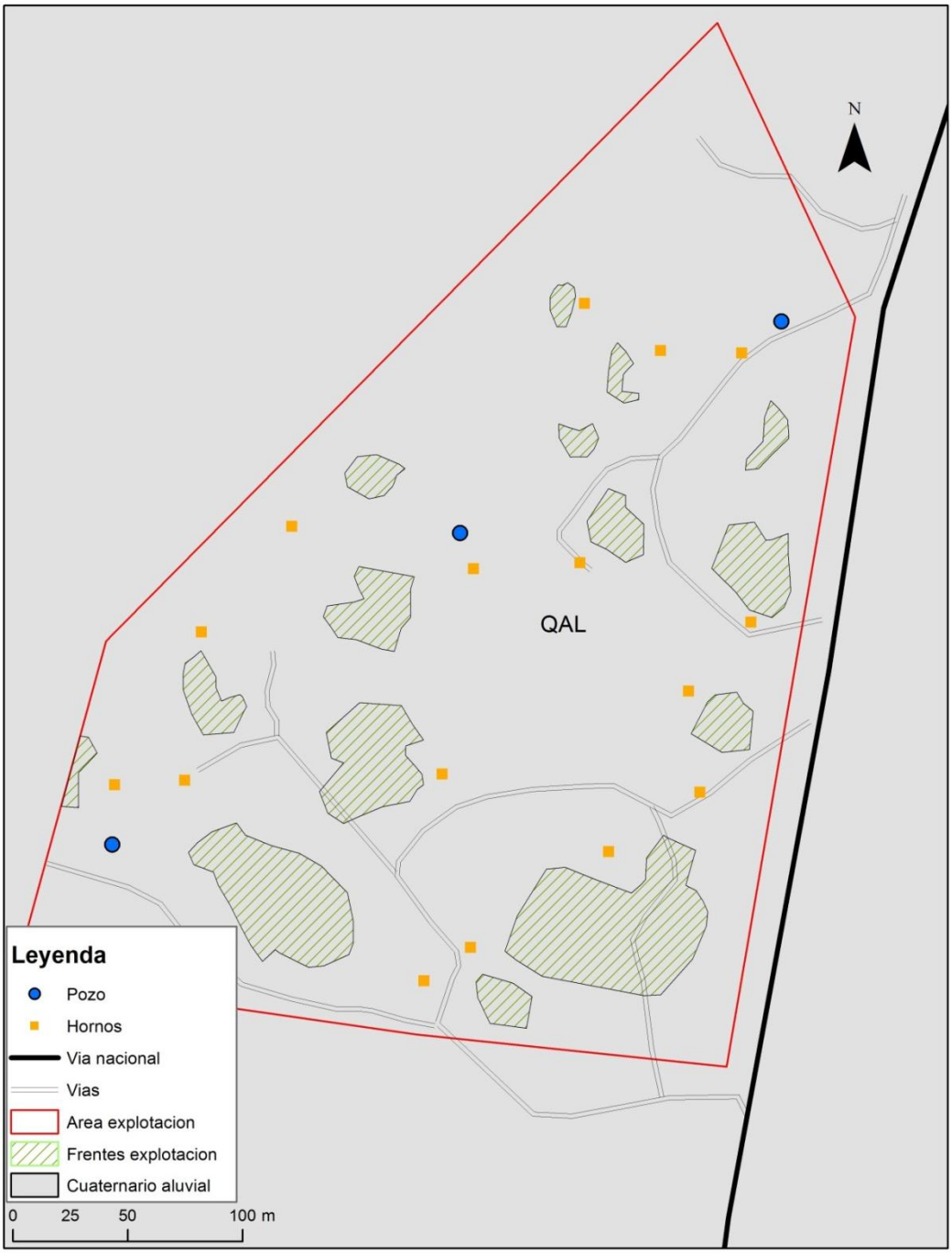



*Figura 2. Ejemplo de mapas de las unidades geológicas del área de estudio. Unidad geológica mina la montañita.*

**Minería.** De los datos obtenidos en la visita de campo se detectó que el 100% de los trabajadores de los trabajadores de la pequeña minería no utiliza elementos de protección personal y no se encuentran afiliados a empresas prestadoras de salud y riesgos profesionales. Siendo esto un riesgo para la integridad de los trabajadores. Ver Foto1.



*Foto 1. Trabajadores sin EPP.*

En las ladrilleras el método de explotación empleado es banco único, llevando la explotación de forma técnica. En la empresa Coarcillas del cesar la explotación se realiza en forma desordenada, se observa que han sobrepasado la profundidad máxima de extracción del mineral aprobado en el plan de trabajos y obras aprobado por la agencia nacional de minería que es 2.5 metros. Ver foto 2.



*Foto 2. Método de explotación banco único.*

*Tabla 3. Levantamiento de información minera.*

| CodigoRMN | Nombre mina | Titulares | Mineral | Area (Ha) | Metodo explotacion | No. trabajadores | EPP (%) | Trabajadores afiliados a salud (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HIQK-02 | Coarcillas del cesar | Coarcillas del cesar | Arcilla | 9.8 | Banco unico | 135 | 0% | 0% |
| IGC – 15471 | La montañita | Adolfo Ricardo Gomez | Arcilla | 4.99 | Banco unico | 20 | 0% | 0% |
| HIPD-03 | El cielo | Cooperativa multiactiva de alfareros de Valledupar coomulaval | Arcilla | 54.99 | Banco unico | 105 | 0% | 0% |
| HITL-01 | Las casitas | Junta de accion comunal de las casitas | Arcilla | 100 | Banco unico | 72 | 0% | 0% |
| HIVJ-02 | Copexma | Cooperativa multiactiva de explotadores de materiales de arrastre | Arena y grava | 91.77 | Darsenas | 58 | 0% | 0% |
| HING-03 | Asopagua | ASOCIACION DE PALEROS DE GUACOCHE | Arena y grava | 4.07 | Darsenas | 45 | 0% | 0% |

Los hornos empleados para la cocción del ladrillo son tipo pampa, como combustible utilizan madera. Ninguna de las ladrilleras tiene permiso para aprovechamiento forestal, la madera utilizada en los hornos es cortada de áreas aledañas.





*Foto 3. Hornos y madera utilizada para la cocción.*

En la areneras la extracción de material se realiza directamente en el en el cauce del rio, las volquetas ingresan al rio y el cargue se realiza en forma manual.



*Foto 4. Extracción de arena.*

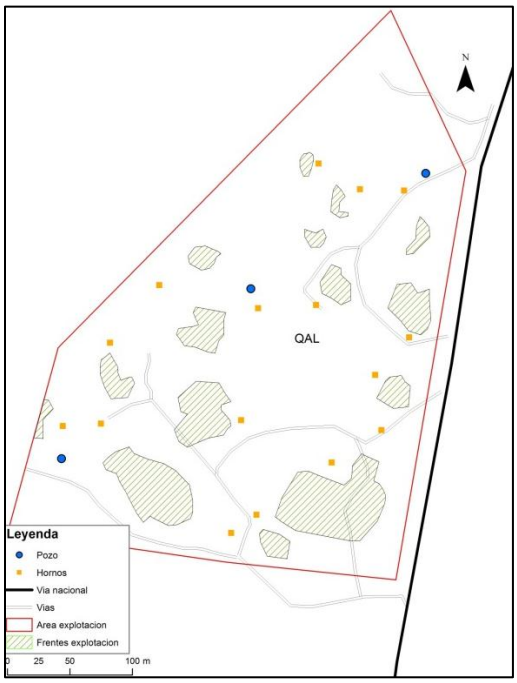



*Figura 3. Ejemplo de mapas que contienen la infraestructura instalada de las minas. Mapa de infraestructura instalada mina la montañita.*

**Caracterización ambiental.** En la Tabla 4 se presenta matriz Causa-Efecto donde se relacionan las principales actividades que generan impactos ambientales por la extracción de arcilla en el municipio de Valledupar.

*Tabla 4. Matriz causa efecto – Extracción de arcilla.*

| | | ACTIVIDADES / IMPACTOS | ACTIVIDADES, OBRAS Y TRABAJOS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE | | | | | ARRANQUE | | | TRANSPORTE Y ALMACENAMIENT DE MATERIALES | | | | CIERRE MINA | |
| | | | Construcción de edificaciones | Construcción de patios de acopio | Construcción y adecuación de vías externas e internas | Construcción de líneas de transmisión | Construcción de pozos | Perforación y voladura | Remoción de estériles | Extracción del mineral | Cargue | Transporte | Patios de acopio | Disposición de escombros | Frentes mineros | Infraestructuras |
| COMPONENTE AMBIENTAL | ABIOTICO | Cambios en la calidad físico-química del agua | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Afectación de la dinámica de aguas superficiales | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Afectación de la dinámica de aguas subterráneas | | | | | • | | | | | | | | | |
| | | Sedimentación de cuerpos de agua | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Emisión de material particulado y de gases | | | | | | | | • | | | | | | • |
| | | Generación de ruidos | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Remoción en masa y pérdida del suelo | | • | • | | | | | • | | | | • | | • |
| | | Activación de procesos erosivos | | • | • | | | | | | | | | | | |
| | | Contaminación del suelo | | | | | | | | | | • | | | | |
| | | Hundimiento del terreno | | • | • | | | | | | | | | | | |
| | | Movimiento del macizo rocoso | | | | | | | | | | • | | | | |
| | BIÒTICO | Remoción y pérdida de cobertura vegetal | | • | • | | | | | • | | | | | | |
| | | Afectación de comunidades faunísticas | | | | | | | | | | | | | | |
| | SOCIAL | Cambios en el uso del suelo | | • | • | | | | • | | | | • | | | • |
| | | Modificación del paisaje | | • | • | | | | • | | | | • | | | • |

En el caso de la extracción de arena y grava los impactos se generan en el cambio de la calidad físico química del agua. Debido a que el carga de los camines se realiza en el rio.

***Atmosfera.*** El principal impacto causado es la emision de gases producto de la combustion de madera en los hornos hornos y en menor proporcion el material particulado producto del transporte de material.

***Agua.*** En las ladrilleras el agua es necesaria para moldear y formar los ladrillos, para su obtención realiza pozos artesanales que no cuentan con el permiso de aprovechamiento de aguas subterráneas.

En las explotación de arena el principal problema se presenta al momento de realizar el cargue, esto se debe a que los camiones son conducidos al rio para ser cargados generando un impacto ambiental al rio. Un elemento importante a tener en cuenta es que los camiones utilizados para el cargue son viejos y mientras son cargados realizan actividades de mantenimiento dentro del rio, derramando aceite y otros compuestos al cauce. La normatividad ambiental Colombiana vigente prohíbe introducir maquinaria en el rio para la extracción de material, en el rio debe respetarse 30 metros de protección medidos desde los bordes del rio (Ley 99, 1993).

***Asentamientos*.** En el interior de la mina El Cielo es común encontrar viviendas al lado de los frentes de explotación o de los hornos; estas viviendas pertenecen a las personas que laboran en la mina. Esta conducta no está permitida por la normativa minera Colombiana (Ley 685, 2001).

***Cobertura.*** Teniendo en cuenta la clasificación Corine Land Cover, se determinaron las coberturas para el área de estudio. En la tabla 5 se presentan la clasificación realizada para cada una delas minas.

*Tabla 5. Clasificación Corine Land Cover*

| Nombre mina | Clasificación |
|---|---|
| Coarcillas del cesar | Arbustal abierto esclerófilo |
| | Tierras desnudas y degradadas |
| La montañita | Arbustal abierto esclerófilo |
| | Tierras desnudas y degradadas |
| El cielo | Arbustal abierto esclerófilo |
| | Tierras desnudas y degradadas |
| Las casitas | Arbustal abierto esclerófilo |
| | Tierras desnudas y degradadas |
| Copexma | Ríos |
| | Bosque abierto inundable |
| Asopagua | Ríos |
| | Bosque abierto inundable |

***Paisaje.*** El cambio es la estructura del paisaje es el impacto más visible por la explotación minera. La remoción de la capa vegetal, las excavaciones resultantes de la extracción de los recursos minerales, la infraestructura instalada (hornos) son los elementos que rompen con la estructura natural del paisaje.

En la mina Coarcillas el impacto paisajístico se evidencia a una mayor escala debido a que la explotación se encuentra a pocos metros de una vía de circulación nacional y no cuenta con pantallas visuales.

Con los resultados obtenidos se generan la base de datos geográfica para los mapas que contendrán la información minero ambiental. Los mapas son puestos en línea mediante la plataforma de Arcgis online, la cual tiene una interfaz amigable y permite la consulta de mapas en forma sencilla.

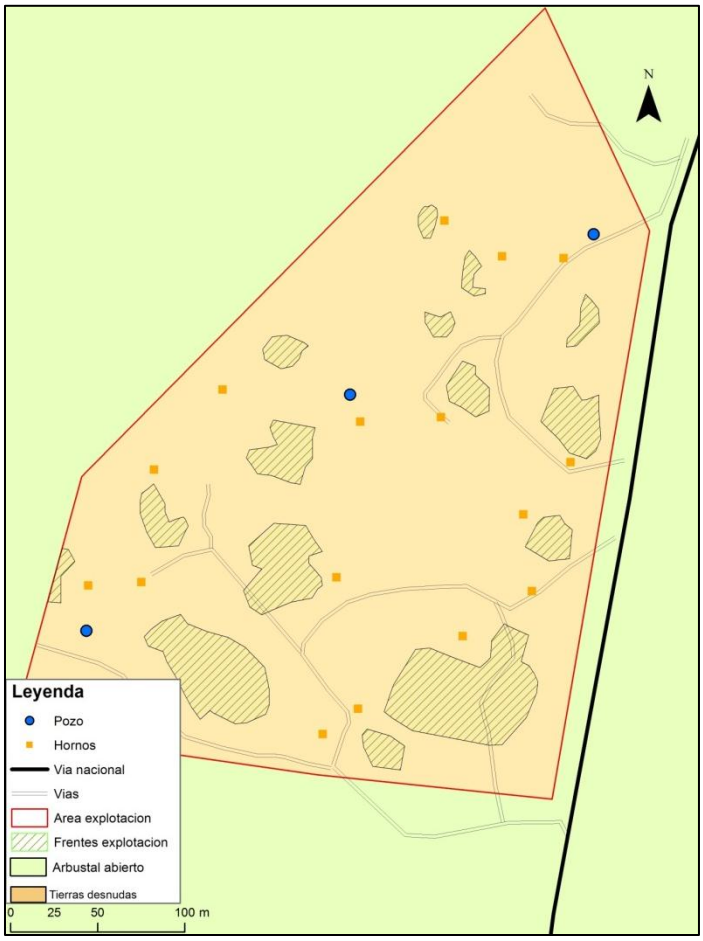



*Figura 4. Ejemplo de mapas de cobertura de cada una de las minas. Mapa cobertura mina cooarcilla.*

**DISCUSION**

La minería es una actividad económica que puede generar impactos ambientales irreparables si la explotación no se lleva en forma técnica y racional. La minería artesanal genera impactos significativos al ambiente por la poca o nula planificación de las mineras.

Estas empresas dedicadas a la extracción de minerales de forma tradicional necesitan de un acompañamiento permanente por parte de los entes gubernamentales y comunidades académicas con el objetivo de crear planes tendientes a mejorar las prácticas mineras y minimizar el impacto generado al ambiente.

Con la implementación de un SIG web que contenga información georreferenciada de los impactos generados por la explotación en estas minas, se facilita el acceso a la información y sirve de herramienta para crear estrategias que permitan realizar las operaciones mineras de forma sostenible.

**CONCLUSIONES.**

Los sistemas de información geográfica permiten elaborar mapas con la zonificación de las áreas impactadas durante una explotación minera.

Un SIG web que contenga información georreferenciada de los impactos generados por la explotación de minerales facilita el acceso a la información y sirve de base para crear estrategias tendientes a mejorar la forma de realizar el laboreo minero.

Este debe ser alimentado con regularidad e información precisa que ayude en la toma de decisiones.

Los impactos ambientales de mayor relevancia generados por la extracción de arcilla son los ocasionados por la remoción del suelo y el cambio de la estructura del paisaje, mientras que en la explotación de la arena y la grava genera mayor afectación en el rio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barettino, D., 2003. Algunos casos de ordenación minero-ambiental en la explotación de áridos en España. Primer seminario internacional Minería, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. CYTED, DAMA y ASOGRAVAS. Bogotá. pp 32.
2. Ceballos, D., 2012. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el Municipio de Anorí, Antioquia, Colombia. **Gestión y ambiente.** Vol 15, pp 51-64.
3. Delgado, J., y RÍOS, H., 2011. Propuesta metodológica para el desarrollo de SIG mineros en Colombia. **Ventana Informática**. Vol. 25, pp. 159-172.
4. Ideam, 2010. **Leyenda nacional de cobertura de la tierra. Metodología corine land cover adaptada para Colombia Escala 1:100000**. Scripto Ltda. Bogotá D.C.
5. Ministerio de medio ambiente. 1993. **Ley 99 de 1993. Marco legal ambiental.** El abedul, Diario oficial 41146. Bogotá D.C.
6. Ministerio de minas y energía. **2001. Ley 685 de 2001. Código de minas.** El abedul, diario oficial 44522. Bogotá D.C.
7. Peña, J., 2010. **Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio: entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales: teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9** (4a. ed.), España: ECU.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# PUBLICACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO DE LA CIUDAD DE CUENCA, UTILIZANDO SERVICIOS ESTÁNDARES OGC

**Sellers Walden, Chester Andrew[a]**
**Instituto de Estudios de Régimen Seccional Del Ecuador, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador**
**[a](csellers@uazuay.edu.ec)**

**RESUMEN**
La contaminación del aire ambiente es una constante amenaza para la salud humana y el ambiente, requiriendo la toma de decisiones respecto a la prevención, control y mitigación de sus impactos. Para tal fin el GAD Municipal del cantón Cuenca, y en particular la Empresa Municipal de Movilidad Transito y Trasporte, dispone de una estación de monitoreo continuo de agentes contaminantes atmosféricos. Este sistema de monitoreo, sin embargo, presenta limitaciones relacionadas con la publicación de la información capturada, siendo actualmente publicada únicamente en medios impresos y almacenada sin publicación en la web. Este trabajo desarrolla un mecanismo para gestionar y publicar la información registrada en la estación de monitoreo atmosférico para beneficio de autoridades locales, técnicos y la sociedad civil en general. Esto a través de la generación de un índice general de la calidad aire (IGCA) y la publicación de dicha información en la web por medios de fácil acceso y comprensión para la sociedad en común. Para el IGCA se utiliza la normativa nacional Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria y la normativa internacional proporcionada por Environmental Protection Agency. Para la publicación web se utiliza el servicio estándar Sensor Observation Service (SOS) del Open Geospatial Consortium (OGC). Los resultados se presentan como una plataforma base para la gestión, monitoreo y publicación de los contaminantes atmosféricos de la ciudad (O3, CO, NO2, SO2, PM2.5). Además de presentar un IGCA e índices por contaminante registrado, también se publican gráficas estadísticas del comportamiento temporal de las variables contaminantes. Esta plataforma presenta el potencial de convertirse en una verdadera herramienta para la gestión ambiental y la toma de decisiones que contribuya con el buen vivir de los Cuencanos.

**Palabras claves:** Contaminantes Atmosféricos, Sensor Observation Service, Sensor Web Enablement, Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, Agencia de Protección Ambiental.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica y la alteración de su equilibrio es una constante amenaza para la salud humana y el ambiente per se. El monitoreo ambiental demuestra relaciones de respuestas cada vez más rápidas entre el estado de la calidad del aire y la calidad de salud y vida [1]. Las afecciones que se presentan sobre varios sistemas vitales de los seres humanos y ecosistemas expuestos a una constante contaminación del aire, tienen un costo psicológico y económico que estamos asumiendo las sociedades y que tiene un constante y notable incremento en nuestro país y especialmente en Cuenca, reporte de la Alcaldía de Cuenca. 2012. Red de Monitoreo EMOV EP. Informe de la calidad del aire, año 2011.

Esta realidad genera la necesidad de tomar decisiones urgentes para la prevención, control y mitigación de los impactos de la contaminación. Razón por la cual somos testigos de la implementación y despliegue de redes de sensores que miden el estado del entorno en el que vivimos. Estos sensores aportan grandes volúmenes de datos en formatos, escalas y unidades de medida diferentes. Los sensores observan información de diversa índole y naturaleza relacionada con actividades humanas como el transporte y emisiones industriales o con fenómenos naturales como radiación solar y vulcanismo, entre otros[1], [2].

En Cuenca, se monitorea la calidad del aire mediante sensores pasivos desde el año 2005. La Empresa Municipal de Movilidad Transito y Trasporte de la ciudad de Cuenca (EMOV-EP) dispone de una estación de monitoreo continuo en tiempo real con sensores dedicados a medir agentes contaminantes atmosféricos. La estación está equipada para registrar, a intervalos de 1 segundo, varios elementos contaminantes atmosféricos. Entre estos cinco elementos aportantes a la contaminación atmosférica: Ozono (O3), Monóxido de Carbono (CO) Dióxido de Azufre (SO2), Dióxido de Nitrógeno (NO2) y Material Particulado 2,5um (PM2.5). Sin embargo, a pesar de disponer de este sistema de monitoreo, se han detectado dos limitaciones que afectan la posibilidad de realizar análisis temporal e interpretar el comportamiento de estos contaminantes. La primera es que los principales contaminantes atmosféricos no se analizan para obtener un índice general de calidad del aire de la ciudad. La segunda limitación se relaciona con la gestión de esta información. Por un lado, se almacena en un repositorio de datos en archivos de tipo texto. Por otro lado, la información ha sido publicada únicamente en medios impresos pero no en medios digitales. Un trabajo relacionado en este aspecto es el de la Red de Monitoreo Ambiental de la ciudad de Cuenca [3], pero el mismo realiza el diseño lógico del sistema sin llegar a su implementación así como tampoco basa el sistema en el servicio estándar de sensores.

Este trabajo desarrolla un mecanismo para gestionar y publicar la información registrada en la estación de monitoreo continuo de agentes contaminantes atmosféricos para beneficio de autoridades locales, técnicos y la sociedad civil en general. Esto se realiza a través la generación de un índice general de la calidad aire (IGCA)

y la publicación de dicha información en la web por medios que sean de fácil acceso, fácil comprensión y de provecho para la sociedad. Para la generación del IGCA se utiliza la normativa nacional Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria [4] y la normativa internacional proporcionada por Environmental Protection Agency (EPA) [5]. Para la publicación de la información se utiliza el servicio estándar Sensor Observation Service (SOS) del Open Geospatial Consortium (OGC) que proporciona acceso estructurado y estándar a la información [6].

El ámbito de aplicación de este trabajo se localiza en la ciudad de Cuenca, cantón del mismo nombre, provincia del Azuay. La capital cuencana se caracteriza por estar localizada en un valle de origen glacial con una cota (altura) promedio de 2550 msnm, presenta una morfología irregular y compleja característica de los valles interandinos, tiene una temperatura promedio de 16.1 grados Celsius y una presión barométrica local promedio de 751.895 mmHg.

La ciudad cuenta con una estación automática de monitoreo en tiempo real de contaminantes atmosféricos (Tabla 1), estación cuyo rango efectivo de cobertura es de 4 km de radio, es decir que abarca la mayor parte de ciudad (Figura 1). La estación se encuentra localizada en los altos del edificio de la Alcaldía, coordenadas 721895.66 E, 9679548.85 N, y utiliza el acrónimo MUN.

*Tabla 1. Elementos monitoreados*

| Contaminante | Símbolo |
|---|---|
| Material Particulado 2,5 um | $PM_{2.5}$ |
| Dióxido de Nitrógeno | $NO_2$ |
| Dióxido de Azufre | $SO_2$ |
| Monóxido de Carbono | CO |
| Ozono | $O_3$ |

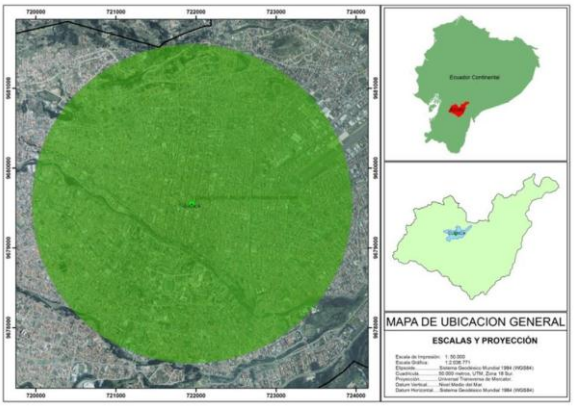



*Figura 1. Alcance nominal "MUN".*

## MÉTODOS

Primero se describe la obtención del índice de calidad del aire (ICA), del índice general de calidad del aire (IGCA), y luego la implementación de los mecanismos de publicación.

### Índice Calidad del Aire (ICA)

El cálculo del ICA para un tipo de contaminante dado se basa en el valor promedio generado en el período de tiempo consultado del contaminante (Ecuación 1) (EPA - Environmental Protection Agency, 1999).

ICA = Índice de calidad del aire.
Cp = Concentración promedio observada y corregida.
BPHi = Punto de ruptura mayor o igual a Cp.
BPLo = Punto de ruptura menor o igual a Cp.
IHi = Valor del ICA correspondiente a BPHi.
ILo = Valor del ICA correspondiente a BPLo.

La concentración promedio observada (Cp) se obtiene en dos pasos. Primero, se calcula el promedio de las mediciones (Co) en un rango de tiempo. Sin embargo, previo a esto, deben realizarse varios pasos tendientes a homogenizar las unidades de los datos a partes por millón (ppm), con la excepción del material particulado de 2.5um que se mantiene en microgramos por metro cubico (ug/m3). También, deben eliminarse los registros pertenecientes a la calibración de sensores y registros erróneos debido a fallas eléctricas u otros fallos que pueden afectar la valoración de cada contaminante o del IGCA. Segundo, el valor promedio (Co) debe ser corregido según las condiciones locales [4]. Esta corrección resulta de tomar en cuenta la temperatura (t) y presión barométrica (Pbl) del lugar y momento en que se tomaron las observaciones (Ecuación 2). Se obtiene un valor de corrección, el cual se debe multiplicar por los valores registrados de cada contaminante, para así obtener la concentración promedio observada y corregida (Cp). Seguido, para un periodo de tiempo dado se obtiene el promedio, mínimo y máximo registrados para la concentración corregida por contaminante (Cp).

$$Cp = Co * \frac{760\ mm\ Hg}{Pbl\ mmHg} * \frac{(273° + t°)°K}{298\ K}$$

Cp = Concentración Corregida
Co = Concentración Observada
Pbl = Presión Barométrica Local
t = Temperatura

Los valores BPHi, BPLo, IHi, ILo se obtienen tal como se muestra en la tabla 2. Esta fusiona tablas de referencia de EPA para evaluar la concentración de los contaminantes y establecer los índices. La fusión de

tablas se realizó para facilitar tanto el ingreso como la consulta de estos parámetros en la base de datos. Esta tabla está conformada principalmente por tres tipos de columnas, la primera columna de nombre ICA, representa los rangos de valores de 0 a 500 de los índices posibles según los parámetros establecidos por EPA; una columna de nombre COLOR que representa la codificación en formato de colores asociada al rango de valores posibles de índices; y las restantes columnas representan el contaminante, su unidad de medida en ppb y ppm con las concentraciones mínimas y máximas para cada rango de valores índices ICA, es decir los puntos de ruptura mínimo y máximo.

*Tabla 2. Clasificación rango de valores contaminantes EPA. Fuente [13].*

$$ICA\ O_3 = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

| ICA | COLOR | O3 8h ppb | O3 8h ppm | PM2.5 24 h ug/m3 | PM2.5 1h ug/m3 | CO 8h ppm | SO2 24h ppb | SO2 24h ppm | NO2 1h ppb | NO2 1h ppm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 - 50 | Verde | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | | 59,000 | 0,059 | 54,000 | 15,400 | 4,400 | 34,000 | 0,034 | 0,000 | 0,000 |
| 51 -100 | Amarillo | 60,000 | 0,060 | 55,000 | 15,500 | 4,500 | 35,000 | 0,035 | 0,000 | 0,000 |
| | | 75,000 | 0,075 | 154,000 | 40,400 | 9,400 | 144,000 | 0,144 | 0,000 | 0,000 |
| 101- 150 | Naranja | 76,000 | 0,076 | 155,000 | 40,500 | 9,500 | 145,000 | 0,145 | 0,000 | 0,000 |
| | | 95,000 | 0,095 | 254,000 | 65,400 | 12,400 | 224,000 | 0,224 | 0,000 | 0,000 |
| 151 - 200 | Rojo | 95,000 | 0,095 | 255,000 | 65,500 | 12,500 | 225,000 | 0,225 | 0,000 | 0,000 |
| | | 115,000 | 0,115 | 354,000 | 150,400 | 15,400 | 304,000 | 0,304 | 0,000 | 0,000 |
| 201 - 300 | Purpura | 116,000 | 0,116 | 355,000 | 150,500 | 15,500 | 305,000 | 0,305 | 650,000 | 0,650 |
| | | 374,000 | 0,374 | 424,000 | 250,400 | 30,400 | 604,000 | 0,604 | 1240,000 | 1,240 |
| 301 - 500 | Marrón | -- | -- | 425,000 | 250,500 | 30,500 | 605,000 | 0,605 | 1250,000 | 1,250 |
| | | | | 604,000 | 500,400 | 50,400 | 1004,000 | 1,004 | 2040,000 | 2,040 |

A continuación un ejemplo de aplicación de la ecuación 1. Considere el valor promedio observado y corregido (Cp) de ozono 0.030 ppm registrado en un período de tiempo determinado. En la tabla 2 se localiza la columna que representa el contaminante ozono ("O3- 8h ppm"). Se busca el rango en el que se encuentra el valor citado, para este caso (BPHi = 0.059, BPLo = 0.000). Se verifica que cae en el rango de la zona de color verde que corresponde a ICA (IHi = 50, Ilo = 0), valores que se reemplazan en la ecuación 1.

ICA O3=$IHi \quad - ILoBPHi - BPLo* \quad Cp\ PLo + ILo$

ICA O3=50 − 00.059 − 0.000∗0.030−0.000 + 0

ICA O3=50 0.059∗0.030

ICA O3 = 25.42

El valor obtenido 25.42 recae en el rango de 0 a 50 correspondiente al color verde, indicando que la calidad del aire para ozono es BUENA y no existen restricciones para ningún grupo ni actividad al aire libre (Tabla 3).

## Índice General De Calidad del Aire (IGCA)

El procedimiento se aplica de igual forma a todos los contaminantes atmosféricos (CO, NO2, SO2, O3, PM2.5). Luego, para la determinación del índice de calidad general del aire (IGCA) se procede a evaluar qué elemento contaminante presenta el mayor valor índice (máximo color) y se asume a éste como el índice general de calidad del aire. En otras palabras el índice máximo de todos los elementos determinará el índice general de calidad del aire registrado en la estación.

Según el grado de contaminación ICA se presenta una codificación por colores (Tabla 3), donde cada color corresponde a un rango de valores y peligrosidad de las condiciones de contaminación presentes al momento de la observación. Estos rangos codificados tienen asociados un aviso de las implicaciones generales a la salud, si los hubiere, en caso de exposición (Tabla 4).

*Tabla 3. Codificación rangos ICA.*
*Fuente: [14].*

| Valores Indices de Calidad del Aire (ICA) | Niveles de cuidado para la salud | Colores |
|---|---|---|
| Cuando el ICA se encuentra en este rango: | Las condiciones son: | Simbolizado con el color |
| 0 - 50 | Bueno | Verde |
| 51 -100 | Moderado | Amarillo |
| 101- 150 | Desfavorable para grupos Sensibles | Naranja |
| 151 - 200 | Desfavorable | Rojo |
| 201 - 300 | Muy Desfavorable | Purpura |
| 301 - 500 | Peligroso | Marrón |

*Tabla 4. Consideraciones para la salud IGCA.*
*Fuente: [14].*

| Indice de Calidad del Aire General | | Las condiciones de salud |
|---|---|---|
| 0 - 50 | Bueno | Sin implicaciones para la salud en este rango |
| 51 -100 | Moderado | Personas inusualmente sensibles deberían considerar limitar su exposición. |
| 101- 150 | Desfavorable para grupos Sensibles | Los siguientes grupos deberían limitar su exposición.<br>* Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma.<br>* Niños y adultos mayores<br>* Personas activas en exteriores |
| 151 - 200 | Desfavorable | Los siguientes grupos deberían limitar la exposición prolongada.<br>* Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma.<br>* Niños y adultos mayores<br>* Personas activas en exteriores<br>El resto de personas debe limitar exposiciones prolongadas en el exterior. |
| 201 - 300 | Muy Desfavorable | Los siguientes grupos deberían limitar la exposición prolongada.<br>* Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma.<br>* Niños y adultos mayores<br>* Personas activas en exteriores<br>El resto de personas debe limitar exposiciones en el exterior. |
| 301 - 500 | Peligroso | Todos los grupos deben limitar lo más posible su exposición al ambiente |

**Sensor Observation Service (SOS)**

Sensor Web Enablement (SWE) es un grupo de especificaciones del OGC de interfaces y codificaciones que permiten la integración e interoperabilidad en tiempo real de redes de sensores heterogéneas. Estas especificaciones son útiles para acceder y distribuir de una forma estandarizada datos de sensores que son útiles para la creación de aplicaciones, plataformas y productos relacionados inundaciones, monitoreo de contaminación móviles, webcams y robots, así como sensores remotos de captura de imágenes sean estos sensores remotos satelitales o aéreos [7] [2] [8].

El Servicio de Observación de Sensores (SOS) es uno de los servicios web de SWE para consultar los datos de sensores en tiempo real y series temporales de datos. Los datos de los sensores ofrecidos son codificados en XML y comprenden descripciones de los propios sensores, es decir metadatos, que son codificados en el Lenguaje de Modelado de Sensores (SensorML) [9]mientras que los valores observados son codificados según la especificación de Observaciones y Mediciones (O&M) [10]. El servicio web, así como el esquema de las observaciones, son estándares abiertos definidos. Más en concreto, la implementación del servicio de SOS permite [7].

- Descubrir sistemas de los sensores, observaciones y procesos de observación.
- Determinar las capacidades del sensor y la calidad de las mediciones.
- Acceder a los parámetros del sensor que automáticamente permiten a software procesar y geo-localizar las observaciones.
- Recuperar en tiempo real las observaciones de series de datos y coberturas en la codificación estándar.
- Acceder a las observaciones de interés.
- Proporcionar notificaciones de los sensores o de los servicios de sensores basados en criterios especificados por el usuario.

La figura 2 muestra el diagrama UML básico para poder registrar los datos de los sensores en conformidad con la especificación SOS ([7] [11] [12]. Esta estructura es fundamental para ser implementada en el esquema de la base de datos.

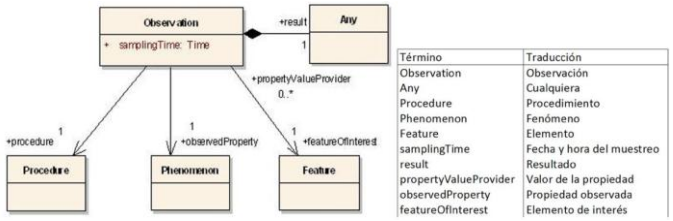



*Figura 2.- Esquema UML general de la base de datos en conformidad con la especificación SOS. Fuente: [11]*

## IMPLEMENTACIÓN

La implementación se llevó a cabo siguiendo 5 etapas:

### Etapa I. Captura y Almacenamiento de los Datos Registrados por la Estación Mun.

La captura de datos de los sensores de la estación es cada segundo y se transmiten a un servidor local cada minuto. Los datos se almacenan en formato CSV y XLSX, registrándose el tipo de elemento observado, el intervalo de la captura de la observación, la hora y fecha de la observación, un valor redondeado y el valor crudo observado por el sensor. Los datos almacenados se encuentran en formato RAW, esto significa que las magnitudes y unidades son propias de cada elemento registrado (Tabla 5). Esta información será posteriormente tratada y procesada en la etapa III para el cálculo del ICA e IGCA. Estos archivos son almacenados en un repositorio que se encuentra en las oficinas centrales de la EMOV-EP.

*Tabla 5.- Elementos y unidad de medida registrados.*

| Contaminante | Símbolo | Datalogger | Unidad |
|---|---|---|---|
| **Material Particulado 2,5 um** | $PM_{2.5}$ | $ug/m^3$ | Microgramos por metro cubico |
| **Dióxido de Nitrógeno** | $NO_2$ | ppb | Partes por Billón |
| **Dióxido de Azufre** | $SO_2$ | ppb | Partes por Billón |
| **Monóxido de Carbono** | CO | ppm | Partes por Millón |
| **Ozono** | $O_3$ | ppb | Partes por Billón |

### Etapa II. Base de Datos e Inserción de Registros

Se creó en PostGIS el esquema de tablas y relaciones necesarias para el registro apropiado de los datos provenientes de la estación de monitoreo, en base a los requerimientos a las especificaciones de SOS establecido por OGC. El esquema completo de las tablas puede ser consultado en [12].

Con la base de datos creada, se insertaron los registros históricos de la estación de monitoreo MUN comprendidos en el periodo enero del 2013 hasta mayo del 2013. La figura 3.a muestra un fragmento de código SQL para la inserción de un registro histórico. La figura 3.b explica la estructura y los parámetros SQL utilizados en el código de inserción de registros de contaminantes. La figura 3.c presenta los parámetros básicos que son necesarios para cumplir con la especificación SOS, por ejemplo el tipo de contaminante, sus descripciones, códigos, sensores, los valores registrados, el día, hora, minuto y segundo de la observación.

(a)

```
INSERT INTO observation (time_stamp,
procedure_id,
feature_of_interest_id,phenomenon_id,text_value,
observation_id)values ('';2013-05-07
13:51:'',',urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-
5'',',','foi_5001','urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.
30:SO2', '';3.881;'',',', 874686;');
```

(b)

| Campo | Descripción |
|---|---|
| Time stamp | Fecha en formato "Año/mes/día" |
| procedure id | Identificador del procedimiento |
| feature of interest | Objeto de interes |
| phenomenon id | Identificador del fenomeno |
| text value | Valor registrado contaminante |
| observation id | Numero identificador de la observación |

(c)

| Contaminante | Simbolo | foi | procedure id | feature of interest | text value | observation id |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ozono** | **O3** | foi_2001 | urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-2 | urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:O3 | 59.53 | 953778 |
| **Monóxido de Carbono** | **CO** | foi_3001 | urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-3 | urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:CO | 1.762 | 927414 |
| **Dioxido de Nitrogeno** | **NO2** | foi_4001 | urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-4 | urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:NO2 | 18.216 | 901050 |
| **Dioxido de Azufre** | **SO2** | foi_5001 | urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-5 | urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:SO2 | 3.881 | 874686 |
| **Material Particulado 2,5 um** | **PM2.5** | foi_6001 | urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-6 | urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:PM2,5 | 4.5 | 980084 |

*Figura 3. Inserción de registros históricos en base de datos: a) Código para SQL; b) Descripción parámetros INSERT; c) Parámetros SQL INSERT*

**Etapa III. Cálculo del Índice General de Calidad del Aire**

El procesamiento y cálculo del índice de calidad del aire por elemento contaminante y del índice general de calidad del aire se realizó de acuerdo a lo expuesto en la sección de métodos. Este cálculo se realiza a nivel de base de datos.

**Etapa IV. Implementación de Servicio SOS y Cliente Web**

En esta etapa se plantea la publicación web del índice de calidad del aire, que a este punto se encuentran calculado a nivel de base de datos. La arquitectura de los servicios implementados se basa en tres capas:

- Capa de recursos: Los datos crudos han sido almacenados en la base de datos PostGIS descrito en la etapa II. Los datos procesados para el cálculo del IGCA ha sido descrito en la etapa III.
- Capa de servicios: El servicio SOS ha sido implementado utilizando el siguiente software open source: Apache, Apache Ant, Eclipse y North52 SOS.
- Capa de publicación: El cliente web SOS ha sido implementado con el cliente OpenLayers, también de código abierto. Una explicación detallada de la instalación y funcionamiento de estos servicios se puede encontrar en: (52°North, n.d.-b).

**Etapa V. Pruebas de Fiabilidad y Funcionamiento**

Antes de proceder a la publicación web, se realizaron pruebas de funcionamiento para mejorar la interacción del usuario con la interface web. Además se realizaron pruebas de tiempos de descarga de datos provenientes del servidor central de la EMOV-EP y de tiempo de respuesta de la base de datos en periodos de consulta extensos, cuyos resultados son presentados en la siguiente sección.

**RESULTADOS**

Los resultados se presentan como una plataforma base para la gestión, monitoreo y publicación de los contaminantes atmosféricos de la ciudad. Además de presentar un índice general de calidad del aire (IGCA) e índices por contaminante registrado, también se publican gráficas estadísticas del comportamiento temporal de las variables contaminantes. Los resultados son accesibles en la siguiente dirección web: http://gis.uazuay.edu.ec/OpenLayers-2.12/sos/.

La figura 4 muestra el cliente web. En la parte superior del cliente se encuentran los botones de consulta de los cinco contaminantes monitoreados y del índice general de calidad ambiental IGCA. Pulsando sobre los iconos de los contaminantes se observa el último valor registrado en la base de datos. Debajo, se observa el mapa de la ciudad de Cuenca con la localización de la estación de monitoreo y su área potencial de 4 km. Al pie y a la

derecha de la imagen, se muestran gráficos estadísticos que ayudan a una mejor comprensión de las concentraciones de los contaminantes.




*Figura 4.- Plataforma base de monitoreo.*

En función del valor IGCA obtenido y según su rango y color, se puede examinar el significado del índice en la tabla de comparaciones. Esta codificación de colores se asociada a un mensaje de alerta indicando las implicaciones a la salud del índice consultado, es decir los grupos sensibles y las precauciones que se debe tomar (Figura 5).




*Figura 5. Consulta sobre implicaciones para la salud.*

Se presentan también gráficos estadísticos del comportamiento diario de los contaminantes (Figura 6.a) y el comportamiento mensual de estos (Figura 6.b).

(a) (b)

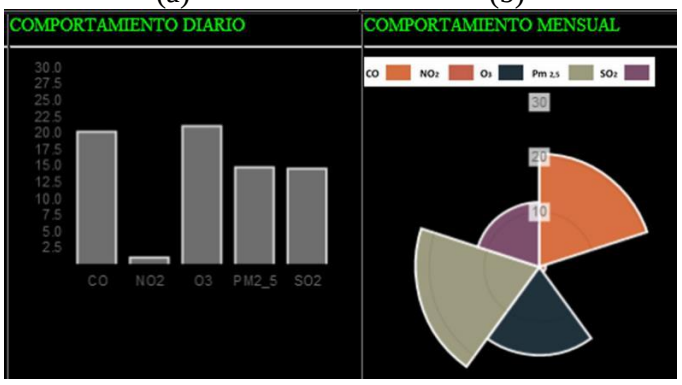



*Figura 6. Gráfico estadístico comportamiento de contaminantes. (a) diario y (b) mensual.*

El cliente permite consultar observaciones entre rangos de fechas. Así se personalizan los reportes de acuerdo a las necesidades, pudiendo hacer consulta de registros históricos para establecer las condiciones registradas en un periodo de tiempo pasado. La figura 7.a muestra una gráfica estadística sobre comportamiento de la variable contaminante en un periodo de tiempo consultado. Esta gráfica, a su vez, se asocia a otras dos tablas de datos que muestran las estadísticas de los valores consultados (máximo, mínimo, promedio y número de mediciones) y los datos o valores individuales de cada medición en el período de tiempo consultado (Figura 7.b).

(a) (b)




*Figura 7. Consulta de observaciones en un rango de tiempo dado.*
*(a) Gráfica de comportamiento O3 y (b) Estadística y datos consultados O3.*

## PRUEBAS DE FIABILIDAD

Las pruebas de tiempo de descargas vía FTP con el servidor de la EMOV-EP, proporcionaron resultados de taza de transferencia promedio de 1.15 minutos, que no representan una alta carga transaccional por lo que este tipo de comunicación para la réplica de datos no es un factor relevante para el sistema, ya que presenta la seguridades del caso y los datos se pueden acceder cada hora, con lo que la publicación de los índices se ajusta a las disponibilidad del servidor remoto que en este caso sería de cada hora. A mayor disponibilidad de descarga de datos, mayor será la cadencia de presentación de los índices de contaminación atmosférica en el cliente.

Para las pruebas de tiempo de respuesta y rendimiento se realizaron consultas entre rangos de fechas que involucren un gran volumen de datos a ser consultados y presentados tanto en la base de datos como en el cliente implementado. Se consultó el contaminante OZONO, entre el 7 de mayo 2013 y el 25 de mayo 2013, obteniéndose un total de 26382 registros. El tiempo estimado de respuesta de la base de datos fue de 0.0713 milisegundos, mientras que en el cliente de 1.5 segundos. Considerando la cantidad de registros obtenidos de la consulta, los tiempos de respuesta obtenidos están en rangos aceptables de rendimiento tanto para la base de datos como para el cliente SOS implementado. La gran cantidad de registros en el periodo seleccionado es debido a que se están registrando y visualizando los datos según como fueron ingresados por la estación de monitoreo, esto es cada segundo.

## DISCUSIÓN

En la implementación se ha trabajado exclusivamente con datos históricos. Para los datos en tiempo real se planea implementar un canal de comunicaciones FTP, para capturar y replicar los datos en el servidor local de la Universidad del Azuay. Esta conexión para el consumo de datos en tiempo real será iterativa, automática y de acuerdo a la disponibilidad de servicio del servidor remoto. Los datos registrados serán ingresados vía SQL en la base de datos PostGIS ya instalada en el servidor de la Universidad del Azuay para su posterior procesamiento. En cuanto al enlace de datos vía FTP, si bien no es la forma más eficiente para la adquisición de datos, proporciona la seguridad y cadencia de respuesta suficiente para poder asegurar la transmisión correcta de los datos. En desarrollos futuros se prevé establecer un enlace directo de fibra óptica.

La base de datos implementada soporta la estructura estandarizada de SOS con la capacidad de registrar nuevos sensores, descripciones de los sensores, localización de los sensores y demás información necesaria para el manejo del sistema de gestión de contaminantes atmosféricos. La información contenida en la base de datos se encuentra normalizada, esto es en las mismas unidades de medida y corregidas con los parámetros locales de temperatura y presión barométrica.

Se utilizó software open source para la base de datos, servicio SOS y cliente ligero SOS. Esto permite evitar costos de licenciamiento además de poder personalizar el cliente, y adaptarlo mejor a las prestaciones buscadas en la implementación. Otra consideración de vital importancia es que los servicios y el cliente implementado cumplan con todas las especificaciones establecidas por OGC y SWE para el manejo e incorporación de sensores y la información generada por estos sensores. Finalmente, también se buscó presentar los datos de forma intuitiva y amigable para el usuario.

El cliente web se implementó con OpenLayers SOS. Se optó por este cliente ya que es personalizable y se puede manipular el código fuente para presentar los datos, gráficos y reportes de forma que se ajuste a las necesidades. Adicionalmente es de fácil implementación. Otros clientes que se revisaron no presentaban un nivel personalización deseable en un sistema de estas características. Adicionalmente, se prevé en el futuro complementar el cliente web con un manual de usuario para facilitar su uso por parte del público en general.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido que tanto la ciudanía como el personal técnico y científico especializado de la EMOV-EP dispongan de una herramienta para la gestión, monitoreo y publicación de la calidad ambiental de la ciudad de Cuenca, en donde cada persona sin importar su nivel de conocimientos, puede acceder a los reportes de los contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo continuo. La interface es fácil de usar y la información se encuentra en formato de índices que son de fácil comprensión e intuitivos. Esta plataforma sirve de base para futuros desarrollos que mejoren su interface, extiendan las herramientas de gestión de la

información, y aumenten las variables a ser monitoreadas como por ejemplo: temperatura, radiación solar, presión barométrica, precipitación, radiación ultravioleta, ruido, índices de tráfico etc. e inclusive observaciones proporcionadas por los mismos ciudadanos a partir de estaciones meteorológicas hogareñas o dispositivos móviles (información geográfica voluntaria). Esta plataforma presenta el potencial de convertirse en una verdadera herramienta para la gestión ambiental y la toma de decisiones que aseguren el buen vivir de los Cuencanos.

## AGRADECIMIENTOS

La Universidad del Azuay y el autor de este artículo, agradecemos a la EMOV_EP, en la persona de la funcionaria Ing. Claudia Espinoza, por la apertura y predisposición para facilitar el acceso a la información que ha sido utilizada para el análisis de carácter académico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. B. Brunekreef and S. T. Holgate, “Air pollution and health.,” *Lancet*, vol. 360, no. 9341, pp. 1233–42, Oct. 2002.
2. G. Percivall, C. Reed, and J. Davidson, “Open Geospatial Consortium Inc . OGC White Paper OGC ® Sensor Web Enablement : Overview And High Level Architecture .,” no. December, pp. 1–14, 2007.
3. A. Espinoza Molina, “Diseño de un sistema de información geográfica para la Red de Monitoreo Ambiental de la ciudad de Cuenca. Quito, 2011. Retrieved from http://repositorio. usfq.edu.ec/bitstream/23000/2042/1/104351.pdf.,” 2011.
4. TULSMA. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente. Retrieved from : http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php?option=com_ k2&view=item&id=125%3Atexto-unificado-de-legislaci%C3%B3n-ambiental-secundaria-del-ministerio-de-ambiente-tulas&lang=es
5. EPA - Environmental Protection Agency. 2009. A Guide to Air Quality and Your Health. Retrieved from http://www.epa.gov/airnow/aqi_brochure_08-09.pdf.
6. Bröring, A, Stasch, C., & Echterhoff, J. 2012. OGC Sensor Observation Service Interface Standard. Retrieved from http://www.opengeospatial.org/standards/sos.
7. Bröring, A, Echterhoff, J., Jirka, S., Simonis, I., Everding, T., Stasch, C., Liang, S., et al. 2011. New generation sensor web enablement. Sensors, 11(3), 2652-2699.
8. Rueda, C., & Gertz, M. 2008. Real-Time Integration of Geospatial Raster and Point Data Streams. Scientific and Statistical Database Management, 0619139, 605-611.
9. Botts, M., & Robin, A. 2007. OpenGIS Sensor Model Language (SensorML) Implementation Specification. Retrievedfrom http://www.opengeospatial.org/standards/sensorml.

10. Cox, S. 2011. OGC Observations and Measurements - XML Implementation. Retrieved from http://www.opengeospatial.org/standards/om.
11. 52°North. -a. SOS data model and data base implementation. Retrieved from https://wiki.52north.org/bin/view/SensorWeb/SosDataModeling.
12. 52°North. -b. Sensor Observation Service - implementation. Retrieved b from http://52north.org/communities/sensorweb/sos/index.html.
13. EPA - Environmental Protection Agency. 1999. Air Quality Index Reporting; Final Rule - Part 3. Retrieved from http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/fr_notices/airqual.pdf.
14. EPA - Environmental Protection Agency. 2009. A Guide to Air Quality and Your Health. Retrieved from http://www.epa.gov/airnow/aqi_brochure_08-09.pdf.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# ANÁLISIS ESPACIAL DE LA OFERTA Y DEMANDA EDUCATIVA EN EL MUNICIPIO DE VILLETA – CUNDINAMARCA, COLOMBIA

**Barragán Currea, Juan Ricardo**[a]

[a]**Ingeniero Topográfico, Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Candidato a Magister en Geomática, Universidad Nacional de Colombia. Gerente General, GEOPLAN SAS, Colombia (juan.barragan@geoplan.com.co)**

**RESUMEN**

El presente artículo realiza un análisis espacial de la oferta y demanda de educación básica en el municipio de Villeta, en el departamento de Cundinamarca (Colombia) a través de dos grandes metodologías: la primera, es una caracterización general, tanto de la oferta como de la demanda, a través de estadísticas descriptivas como percentiles y promedios que se representarán temáticamente en mapas, la segunda es una evaluación multicriterio tendiente a examinar algunas condiciones de eficiencia y justicia espacial en la localización de los establecimientos educativos, para lo cual se sirve de variables como: la contigüidad con vías y zonas de alta densidad de población en edad escolar, la calidad de las infraestructuras en términos de mínimos de área predial, puntaje predial, calidad del alcantarillado, y finalmente el desempeño académico desde los resultados de las pruebas SABER PRO 2012.

**Palabras claves:** Sistemas de Información Geográfica, Análisis espacial, Geoprocesamiento, Cartografía temática.

## INTRODUCCIÓN

La educación se define como un proceso de formación permanente, personal, cultural y social que se genera no solo a través de la palabra sino mediante acciones, actitudes y espacios físicos que posibilitan la transmisión de conocimientos, habilidades, valores, hábitos y costumbres.

No obstante, no siempre los gobiernos salvaguardan esta concepción integral de la educación y en ese sentido a veces se descuidan, tanto en los procesos de planificación urbana como de gestión territorial, las interacciones de diferentes elementos como: la disposición de las infraestructuras educativas y su localización óptima, las tendencias demográficas, el monitoreo de la calidad de los programas educativos impartidos y las necesidades sociales y económicas de la población. Así pues, no sólo se trata de construir mega infraestructuras, la planificación urbana debe responder a las necesidades de la planificación sectorial y al contexto social y económico de los ciudadanos que interactúan en el territorio. Por esta razón, su adecuada organización se debe limitar a procurar el uso eficiente del suelo sino que a la vez debe permitir el acceso a los servicios en condiciones de equidad, eficiencia y calidad.

Bajo este planteamiento se considera que los sistemas de información geográfica cobran mayor relevancia pues además de posibilitar el entendimiento de en dónde estamos permiten evaluar si el ambiente en el que estamos se encuentra adecuadamente equipado y responde a las expectativas sociales. Precisamente este trabajo académico se ha ocupado de evaluar la oferta educativa básica (pre-escolar, primaria y secundaria) y media del municipio de Villeta en el departamento de Cundinamarca (Colombia) y su interacción con la demanda, para lo cual ha hecho uso de técnicas de análisis y modelado espacial. El trabajo se ha estructurado de la siguiente forma: En primer lugar, se ha diseñado un modelo conceptual de base de datos considerando: la información disponible y factible de levantar en campo; las necesidades planteadas por la oficina de Desarrollo social del municipio en el sentido de lograr territorializar tanto el inventario de colegios y escuelas como la realidad poblacional del municipio.

Luego de revisar las posibilidades técnicas y la información disponible se ha logrado incorporar al modelo un conjunto de atributos que permiten, además de la territorialización de la oferta y la demanda educativa, aproximar ciertos niveles de calidad en los programas y en las infraestructuras educativas. Dichos atributos se han integrado en la base de datos estructurada en tres clases: Colegio, Población y Calidad de programas.
Las variables corresponden entre otros factores a la distribución poblacional por grupos etarios, los resultados de las pruebas SABER PRO por grados y áreas de desempeño en cada colegio, la calidad del alcantarillado urbano y el puntaje catastral de las infraestructuras. La información se ha obtenido en lo posible tanto para el área urbana como rural del municipio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fuente de datos

El proceso de obtención de información secundaría ha abordado tres fases:

1.) Identificación y levantamiento de fuentes de información secundaria a través de páginas institucionales web y contacto telefónico con: Ministerio de educación nacional, Gobernación de Cundinamarca, Instituto Colombiano para Evaluación de la educación (ICFES), Alcaldía municipal de Villeta, Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Departamento nacional de estadística (DANE)

2.) El establecimiento de contacto personal con las personas responsables del área de desarrollo social de la alcaldía de Villeta, del área de cobertura de la secretaría de educación de la gobernación de Cundinamarca, del área de catastro de la dirección territorial Cundinamarca del IGAC y del área de informática del IGAC

3.) Gestión ante la coordinación académica de la especialización SIG del IGAC del apoyo logístico para la obtención efectiva de los datos

Por su parte, el proceso de levantamiento de información primaria se ha concretado en dos fases:

1.) Consulta telefónica con cada uno de los establecimientos educativos

2.) Salida al campo para levantar la ubicación de algunos establecimientos educativos, mediante el empleo de un dispositivo móvil.

Las tareas fundamentales para conseguir información primaria han sido:

- Verificación telefónica con cada establecimiento educativo de Villeta de la dirección y cantidad de alumnos, teniendo como base la información básica de la Secretaría de Educación de la Gobernación de Cundinamarca.
- Georreferenciación y Geocodificación de algunos establecimientos educativos.

- Levantamiento en campo de establecimientos educativos sin información que permitiera su Georreferenciación.

La información secundaria utilizada ha consistido en:

- Capas geográficas básicas de la información predial rural y urbana de Villeta, suministrada por el grupo de trabajo de la especialización SIG encargado de dicha temática en desarrollo de su trabajo de grado.

- Capas geográficas de: barrio, vereda y vías suministradas por la coordinación académica del IGAC.

- Guía telefónica de los establecimientos de educación básica primaria y secundaria de Villeta, obtenida en la secretaría de educación de la gobernación de Cundinamarca.

- Resultados de las pruebas saber-pro por establecimiento para los grados 3, 5, 9 y 11 en cada una de las áreas temáticas de desempeño, obtenidos vía web en el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES).

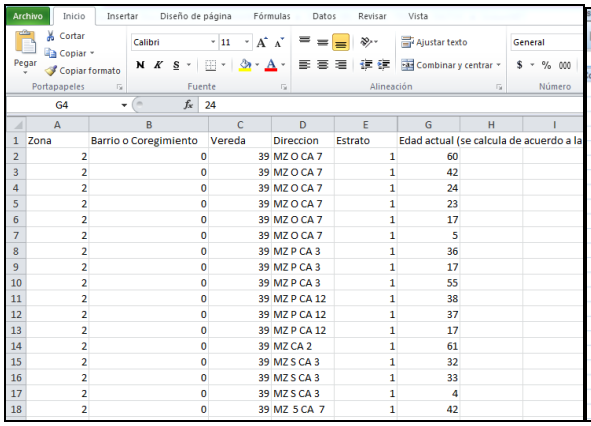
- Tabla con las áreas prediales, avalúo, usos complementarios y puntaje predial, correspondientes a la ficha predial catastral para usos educativos (categoría J) del municipio, obtenida en la Oficina de Informática del IGAC.

- Tabla con la población municipal según edades, barrio y vereda suministrada por la oficina SISBEN del área de Desarrollo social de Villeta.

- Tabla de evaluación del alcantarillado de los predios urbanos, obtenida de las capas geográficas suministradas por la coordinación académica del IGAC.

**Técnicas**

El primer paso para la implementación de la base de datos ha consistido en la edición de los datos alfanuméricos de: resultados pruebas saber, calificación predial de los usos educativos, población por grupos etarios, niveles de matriculación de cada colegio y demás atributos, así como la construcción de las clases y tablas correspondientes. Para tal fin se han empleado herramientas de Microsoft Excel Y SPSS tales como: Tablas dinámicas, filtros, consultas avanzadas, condicionales, análisis de frecuencias, estadísticos descriptivos y agrupamiento visual de datos: En las siguientes imágenes se describe parte del proceso.



| | A | B | C | D | E | G |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Zona | Barrio o Coregimiento | Vereda | Direccion | Estrato | Edad actual (se calcula de acuerdo a la |
| 2 | 2 | 0 | 39 | MZ O CA 7 | 1 | 60 |
| 3 | 2 | 0 | 39 | MZ O CA 7 | 1 | 42 |
| 4 | 2 | 0 | 39 | MZ O CA 7 | 1 | 24 |
| 5 | 2 | 0 | 39 | MZ O CA 7 | 1 | 23 |
| 6 | 2 | 0 | 39 | MZ O CA 7 | 1 | 17 |
| 7 | 2 | 0 | 39 | MZ O CA 7 | 1 | 5 |
| 8 | 2 | 0 | 39 | MZ P CA 3 | 1 | 36 |
| 9 | 2 | 0 | 39 | MZ P CA 3 | 1 | 17 |
| 10 | 2 | 0 | 39 | MZ P CA 3 | 1 | 55 |
| 11 | 2 | 0 | 39 | MZ P CA 12 | 1 | 38 |
| 12 | 2 | 0 | 39 | MZ P CA 12 | 1 | 37 |
| 13 | 2 | 0 | 39 | MZ P CA 12 | 1 | 17 |
| 14 | 2 | 0 | 39 | MZ CA 2 | 1 | 61 |
| 15 | 2 | 0 | 39 | MZ S CA 3 | 1 | 32 |
| 16 | 2 | 0 | 39 | MZ S CA 3 | 1 | 33 |
| 17 | 2 | 0 | 39 | MZ S CA 3 | 1 | 4 |
| 18 | 2 | 0 | 39 | MZ S CA 7 | 1 | 42 |

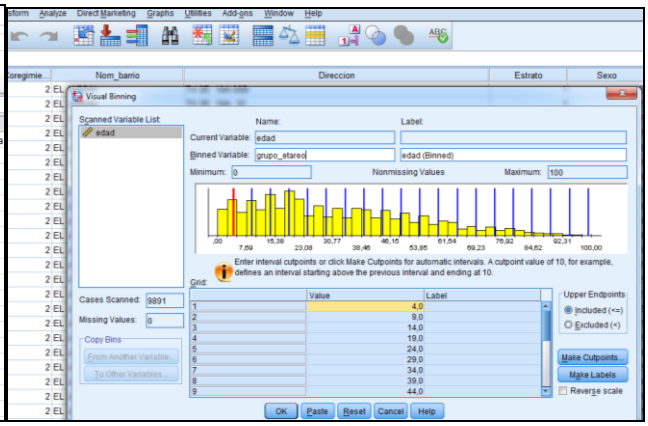


*Figura 1. Información in situ Población.* *Figura 2. Procesamiento y Normalización de datos de población*

**Digitalización y georreferenciación**

La información alfanumérica tratada se ha digitalizado empleando como cartografía básica la información catastral predial rural y urbana, las capas de vías, barrio y vereda.

El proceso de digitalización ha consistido en uniones espaciales a través de la herramienta join de ArcGIS con las llaves primarias: eurbcodpred, nombrebarrio y nombrevereda. El resto del proceso ha consistido en la descarga de los datos levantados en campo y su conversión a formato Shape File mediante el *software OZY Explorer*. Para todos los propósitos de digitalización, en el *software* ArcGIS se ha creado un fichero *Geodatabase* (GDB) y dos conjuntos de datos (*dataset*) para contener en cada uno la información rural y urbana. A cada *dataset* se le ha asignado el sistema de referencia MAGNA SIRGAS.

Con el fin de hacer una primera ubicación espacial de las direcciones de los colegios suministrados por la gobernación de Cundinamarca en su directorio educativo, se llevó a cabo un proceso de Geocodificación de las direcciones suministradas.

**Geocodificación**

Es el proceso que permite obtener coordenadas a partir de direcciones postales. Las coordenadas obtenidas posibilitan la ubicación de los elementos en un mapa, y por tanto comenzar a analizar gráficamente dichos elementos en función de variables geográficas: Cercanía o lejanía, área de influencia, densidad, relación con otros elementos, rutas de acceso, es decir es la conversión de datos tipo texto en datos geográficos. El geocodificador fue suministrado por el grupo de análisis de redes viales de la especialización en SIG.

A partir de la capa geográfica "malla vial", una vez normalizada, se realiza la consulta por direcciones a través de la herramienta Find de ArcGIS. Sobre ésta se carga el GeocodificadorVilleta que inmediatamente despliega los atributos de consulta: dirección y municipio. Es importante aclarar que cada sistema debe construirse según el formato catastral que maneje la zona de interés.

A través de esta herramienta se ha logrado la localización primaria de algunos de los centros educativos urbanos.

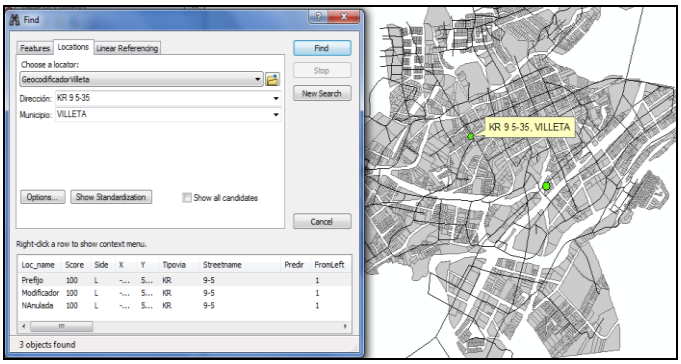



*Figura 3. Resultados Geocodificación.*

Dado el alto porcentaje de error en el desarrollo de este proceso, debido principalmente a la ausencia de una capa de nomenclatura vial fiable, se ha procedido mediante los servicios de Google Earth y Open- StreetMap a mejorar la localización de colegios, teniendo como resultado un fichero en formato tipo KMZ (GML) que pudiera ser exportado a formato Geodatabase para su posterior análisis a través de la herramienta converter KML to layer de ArcGIS.

**Correcciones geográficas en las capas de información básica**

Por error en el sistema de origen de las capas básicas de vías, barrio y vereda ha sido necesario llevar a cabo un proceso de georreferenciación a partir de otras capas vectoriales que mejoraran su posicionamiento espacial. Tomando como base la capa predial catastral, una vez verificado su correcto posicionamiento, se ha procedido a través del método de papel elástico o hule *(rubbersheeting*) de ArcMAP a ajustar la geometría de los elementos de las capas desplazadas (barrio, vías y veredas).

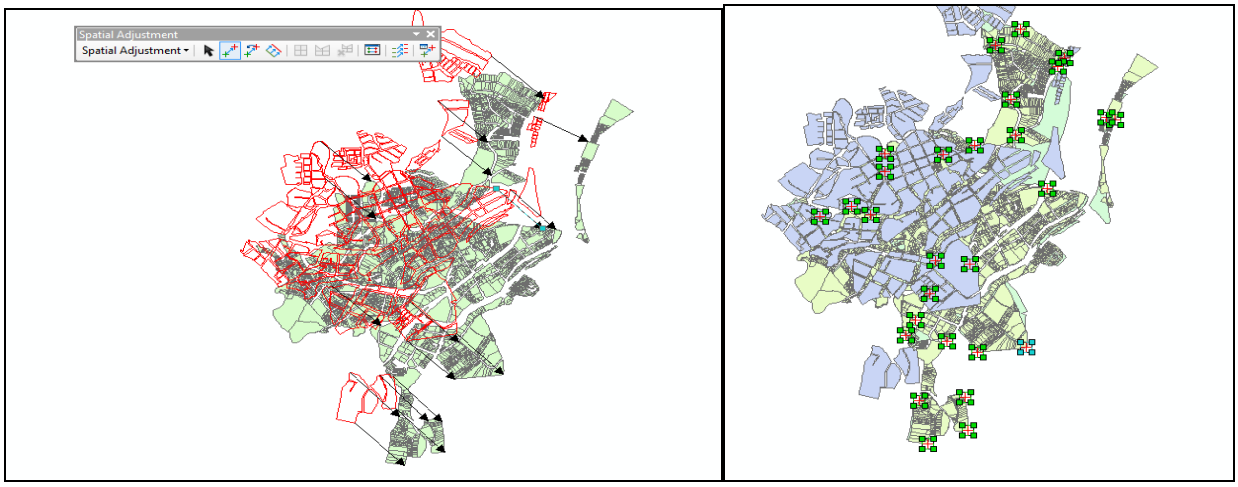



*Figura 4. Proceso de Corrección Rubbershet.*

**Análisis, Geoprocesamiento Y Metodología**

Esta sección realiza una evaluación multicriterio de la oferta y demanda educativas de Villeta para verificar algunos aspectos de eficiencia y justicia espacial en la provisión y acceso a los servicios educativos. La eficiencia espacial hace referencia al mínimo coste en tiempos de recorrido o distancias que emplea una población al utilizar los servicios dispuestos en el territorio. Por su parte, la equidad o justicia espacial se refiere tanto a la disponibilidad de recursos en iguales condiciones de tiempo y distancia como a niveles idénticos de dotaciones y calidades.

Bajo este contexto, se ha evaluado si la demanda educativa se encontraba cerca de los establecimientos que ofrecían servicios educativos en el municipio y si dichos establecimientos ofrecían unas condiciones ideales de calidad en sus infraestructuras físicas y en los programas académicos ofertados.

Con este propósito y conforme a la información disponible en la zona rural y urbana, se han identificado algunos criterios que idealmente deberían cumplir los establecimientos educativos para garantizar una cobertura total bajo condiciones de cercanía, acceso, calidad en sus infraestructuras físicas y en sus programas escolares.

Una vez determinados los valores ideales que deberían tomar los criterios se ha construido un flujo secuencial de geoprocesos en la herramienta ModelBuilder de ArcGIS con el fin de encadenar todas las restricciones y así identificar los establecimientos que proporcionaban la mayor cobertura, calidad y acceso. La tabla a continuación describe los criterios establecidos:

| CRITERIO | ENTIDAD | ATRIBUTO(S) A EVALUAR | VALOR VÁLIDO | FUENTE |
|---|---|---|---|---|
| **Que el uso exclusivo del predio sea educativo** | COLEGIOS | -otro_uso | ninguno | Ficha predial catastral y verificación campo |
| **Que se cumpla con el área mínima por estudiante** | COLEGIOS | -area_ter/ cant_matriculas_2013 | -1.6 metros según estándar nacional o 2.8 metros según estándar americano | Ministerio de educación Nacional. Aportes y análisis en los procesos de gestión técnica y normativa en recurso humano docente de entidades territoriales, establecimientos educativos y algunas reflexiones sobre la política pública en Bogotá y Colombia. Abril 2012. |
| **Que la distancia a la vía sea mínima** | -COLEGIOS -VIAS | No aplica | Menos de 250 metros a la vía | Los estudios de soporte a la estructuración de la primera fase de Transmilenio Bogotá determinaron que la distancia entre estaciones debía ser 500 metros, considerando mediante encuestas la disposición de las personas a caminar 250 metros desde el punto centro. Fuente: Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. CEPAL. Por su parte el estudio de Costos de la Urbanización en la Región Zuliana: Un Caso de Estudio. Maracaibo determinó que la distancia mínima a parques locales y equipamientos de escala local era de 252 metros. |
| **Que ofrezca calidad en los programas, buen desempeño en las pruebas SABER** | CALIDAD_PROGRAMAS | -desempeño satisfactorio -desempeño avanzado | Más del 60% de estudiantes en satisfactorio y avanzado de las pruebas SABER | Poco más de la mitad de estudiantes |
| **Que la infraestructura física del predio sea adecuada** | COLEGIOS | -Puntaje_predial -calidad_ alcantarillado | -Puntaje predial: mayor e igual 52 -estado alcantarillado: bueno | Percentiles de distribución de los datos. El puntaje máximo catastral es de 100 y de acuerdo a los percentiles de distribución de los datos se tiene que el 25% de predios tiene un puntaje superior a 52. |
| **Que se localice a menos de 250 metros de barrios o veredas con mayor población en edad escolar: 28 niños por hectárea** | -POBLACION | -cinco_nueve -diez_catorce -quince_diecinueve -veinte_veinticuatro | -Densidad:28 x hectárea -Distancia a las zonas densas: menos 250 metros | -Se estableció el percentil 80 de la densidad poblacional en edad escolar. -Criterio de distancia mínima a caminar según estudio citado de la primera fase de transmilenio Bogotá y el estudios de Costos de la Urbanización en la Región Zuliana: Un Caso de Estudio. Maracaibo. |

*Figura 5. Criterios mínimos deseables para los establecimientos educativos.*

Para evaluar los criterios anteriormente descritos el modelo de geoprocesamiento involucró diferentes herramientas que permitieran entre otros, la adición de nuevos atributos en los objetos considerados, la construcción de estadísticas descriptivas, la definición de zonas de influencia o *buffer*, identificación de vecinos más cercanos, la selección de atributos por características particulares y la intersección de objetos.
El flujo del proceso de datos se resume en los dos siguientes diagramas que contienen el flujo secuencial de operaciones para evaluar el cumplimiento simultáneo de los criterios, así como también su cumplimiento parcial, pues era previsible que no se cumplieran totalmente las restricciones evaluadas debido a las dinámicas territoriales.

Por su parte, el desarrollo de cada una de las operaciones incluidas en dicho modelo se detalla en la tabla contigua, la cual contiene para cada criterio la descripción del proceso o procesos involucrados, las operaciones espaciales y estadísticas efectuadas, la imagen del proceso y los resultados obtenidos.

## RESULTADOS

### Caracterización de la demanda en educación básica

Según información suministrada por la alcaldía municipal, Villeta tiene una población de 20.564 habitantes, de los cuales 10.190 son hombres y 10.374 son mujeres.

Bajo el supuesto de que la población en edad escolar básica (preescolar, primaria y secundaria) y media se encuentra en el rango entre cinco (5) y veinticuatro (24) años, se tiene que el potencial de demanda educativa asciende a 7.596 personas (37 %), de los cuales 3.750 se localizan en el entorno urbano y 3.846 en el entorno rural. Ahora bien, la población atendida, es decir matriculada en 2013 en las 43 sedes educativas fue de 5.372 estudiantes, lo que significa que un 70 % de la población potencial en edad escolar se encuentra efectivamente atendida por la oferta.

Del total de la población ha sido posible realizar su georreferenciación a nivel de barrio y vereda en un 77,5 % (15.921 de las personas), porcentaje que resulta representativo. Al dividir el número de personas en edad escolar por el área de terreno del barrio o vereda se obtuvo la densidad poblacional por hectárea, a partir de la cual se concluyó que solo en el 20 % de barrios y veredas (percentil 80 de la tabla siguiente) se concentraban las altas densidades, por encima de 28 personas por hectárea.

Al contrastar la población en edad escolar con la cantidad de matrículas del año 2013 en cada establecimiento educativo, como bien se observa en el siguiente mapa, se tiene que dos de las veredas anteriormente mencionados en donde se concentra mayor población (Mave y la Masata), tienen en su interior localizados algunos establecimientos educativos con una cantidad alta de estudiantes activos (en promedio 300 estudiantes), con lo que aparentemente hay una mayor capacidad de la infraestructura educativa para atender a la población escolar de la vereda y una probabilidad menor de que la población escolar incurra en largos desplazamientos para acceder a los servicios educativos.

En caso contrario la vereda de Alto de Torres no posee ningún tipo de establecimiento educativo, por lo que la población se ve obligada a desplazarse a otras veredas para acceder a los servicios educativos.

Se observa de otra parte que existen veredas sin establecimientos educativos a su interior o que se encuentran contiguas a otras veredas con una capacidad de atender población escolar muy reducida, este es el caso de la Esmeralda, San Isidro y Salitre Negro en donde la población escolar potencial aproxima en total 293

personas y los colegios ubicados en zonas contiguas apenas poseen un nivel de matriculación de entre 27 y 147 estudiantes.

En las veredas de Iló Grande y Chapaima también se detecta un bajo cubrimiento de la oferta educativa puesto que sus poblaciones en edad escolar ascienden a 58 y 207 personas, respectivamente, en tanto los niveles de matriculación resultan ser inferiores a esta necesidad escolar, de 38 y 53 estudiantes activos, respectivamente.

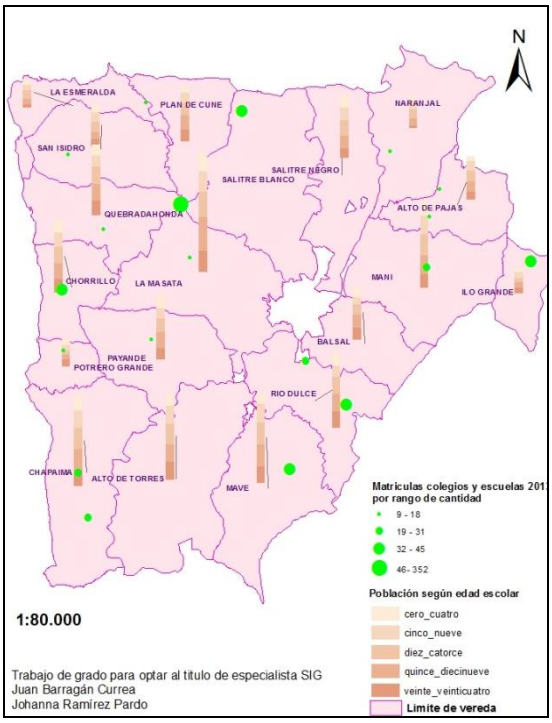



*Figura 6. Mapa de población en edad escolar por vereda versus Localización de establecimientos educativos (Área rural de Villeta).*

La conclusión general de que Villeta es un municipio fundamentalmente de población adulta se refuerza también al analizar la distribución de su población urbana a nivel barrial como bien se observa a continuación.

Solamente en los barrios de Cayunda, San Rafael, el Jardín y Bello Horizonte se concentra un alto porcentaje de población en edad escolar, poco más del 50% de su población total, en tanto que en el resto de barrios el porcentaje promedio es del 36 %.

Al contrastar la población en edad escolar con la cantidad de matrículas del año 2013 en cada establecimiento educativo, como bien se observa en figura 12. Se tiene que los barrios anteriormente mencionados tienen

menor cantidad de estudiantes activos en los colegios localizados al interior del barrio (en promedio 300 estudiantes) en comparación con otros barrios donde los colegios aparentemente tienen una mayor capacidad de albergar estudiantes. En particular en el barrio Jardín ni siquiera existe colegios o escuelas cercanas por lo que la población en edad escolar de este barrio es atendida en otros sectores.

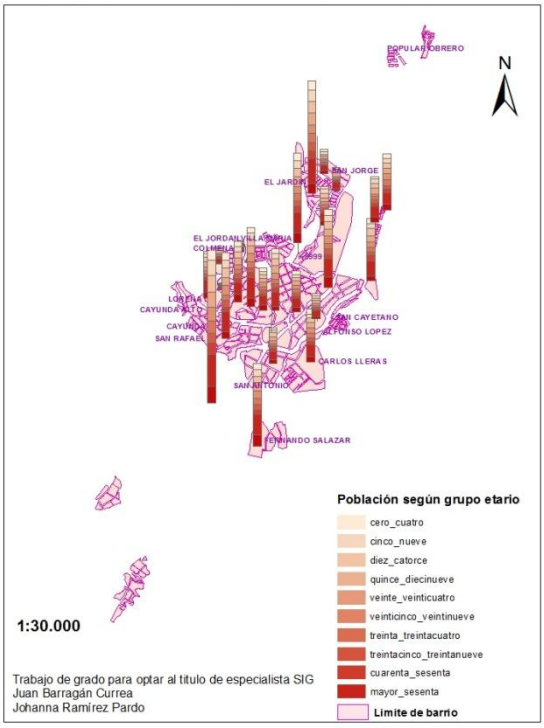



*Figura 7.3 Mapa cantidad de población en cada grupo etario y barrio (Área urbana de Villeta).*

## CONCLUSIONES

Villeta es un municipio formado fundamentalmente por población adulta. La demanda potencial de población en edad escolar es de 7.596 personas (37 %), en tanto que la población efectivamente matriculada es de 5.372 estudiantes, es decir, el 70 % de la demanda potencial.

En materia de oferta se observa una elevada concentración en los programas de preescolar y básica primaria. En el área urbana el 57 % de colegios ofrecen exclusivamente estos dos ciclos, mientras que un 33 % ofrece además secundaria. Un 10 % de establecimientos ofrece secundaria exclusivamente. Por su parte en el área rural el 73 % de establecimientos ofrecen exclusivamente preescolar y primaria y el 27 % secundaria.

En general las infraestructuras físicas de los colegios son precarias, en la medida que muchos están ubicados en casas o lotes, que se utilizan a la vez como viviendas o locales comerciales y tienen deficiencias en el

sistema de alcantarillado. Además poseen un bajo puntaje predial, aproximadamente el 75 % de todos los establecimientos tienen un puntaje catastral inferior a 52.

En términos de calidad en las infraestructuras seis (6) de estos colegios urbanos cuentan con el área mínima requerida por estudiante (1,6 metros). En el área rural todos los colegios se caracterizan por poseer grandes extensiones prediales en comparación con la cantidad de alumnos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOSQUE, Joaquín; MORENO, Antonio. Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos. 2004.
2. BUZAI, Gustavo; BAXENDALE, Claudia. Distribución espacial socioeducativa y localización de escuelas polimodales en ciudad Luján. 2008.
3. CEPAL Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá.
4. GARNICA, Rossana. Análisis espacial de los equipamientos educativos en la ciudad de Montería. 2012.
5. GÓMEZ, Montserrat; BARREDO, José. Sistema de información geográfica y evaluación multicriterio. España. 2005.
6. OCAÑA, Carmen; GALACHO Federico. Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio, al análisis de las capacidad del territorio en relación a funciones turísticas, 2002.
7. Ministerio de educación Nacional, Aportes y análisis en los procesos de gestión técnica y normativa en recurso humano docente de las entidades territoriales, los establecimientos educativos y algunas reflexiones sobre la política pública en Bogotá y Colombia. Abril de 2012.
8. MONTES, Eloy; ROMERO, Adelmo. Optimización de la eficiencia y justicia espacial de los planteles educativos al noroeste del municipio Maracaibo, Venezuela. Revista Geografía y sistemas de información geográfica (GEOSIG) 2011.
9. RAMÍREZ, Marta. ¿Dónde localizar hospitales públicos? Las nuevas tecnologías SIG como herramientas de apoyo a la planificación territorial. Un caso de estudio aplicado a la provincia del Chaco-Argentina. Serie Geográfica, N°10, 2002, pp.121-130.

10. RAMÍREZ, Marta. Las tecnologías de la información geográfica aplicadas a la planificación territorial sanitaria. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. 2005.
11. SENDRA, Joaquín. SIG y Evaluación Multicriterio. España: Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía. 2006.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# USO DE SIG PARA MAPEAMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS URBANAS: APLICAÇÕES NA ZONA SUL DO MUNICÍPIO DE MARÍLIA (SÃO PAULO, BRASIL)

**Ramos dos Santos, Vanessa[a]; Garcia Tommaselli, José Tadeu[b]**
**Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil**
**[a](vanessaramosgeo@gmail.com)**
**[a](tadeutommaselli@gmail.com)**

**RESUMEN**
Este artigo discute, dentro de uma perspectiva espaço-temporal, a relação entre a ocupação e expansão urbana e o meio natural, com foco na erosão dos solos urbanos da zona sul do município de Marília (São Paulo, Brasil). Analisou-se que os solos e vertentes da área mostram-se suscetíveis a processos erosivos, em função da geomorfologia e os tipos de solos predominantes neste ambiente. Utilizaram-se imagens de média resolução espacial dos satélites Landsat 5 e Landsat 8. Para análises detalhadas da área urbana, a EMPLASA disponibilizou ortofotos com um metro de resolução espacial. Todas as imagens foram georreferenciadas e trabalhadas em ambiente SIG. Verificou-se que os processos erosivos estão se intensificando em função da produção do espaço urbano, e tem atingido a população, sobretudo, as pessoas de baixa renda. Os dados levantados podem favorecer o planejamento e manejo destas áreas urbanas, auxiliando na busca de estratégias que minimizem os impactos negativos.

**Palabras claves:** Processos erosivos; área urbana; município de Marília (São Paulo, Brasil).

## INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, o uso e manejo dos recursos naturais é uma preocupação recorrente de estudos, pesquisas e debates. A retirada das matas, a ocupação das áreas de preservação permanente, a poluição e a erosão do solo, a contaminação dos aquíferos e o assoreamento dos rios e córregos, são alguns dos problemas mais evidenciados. Essa situação é determinante na relação entre as dinâmicas ambientais e os usos e ocupação antrópica. Sabe-se que as dinâmicas próprias à natureza são, potencialmente, agravadas pelos usos e falta de manejo adequado para cada ambiente. Essas atividades, sem o devido amparo técnico-conceitual, intensificam e aceleram problemas de erosões, notadamente urbana, e assoreamento de córregos e tributários. Sendo assim, como uma via de mão dupla, os problemas gerados pela ocupação e apropriação desordenadas acabam por afetar o próprio Homem, suas atividades socioeconômicas e suas moradias, causando até mesmo risco à vida. Nunes et al. (2006, p.120) afirmam que "a dinâmica da natureza e a sua organização sofrem modificações, em um grau e ritmo nunca antes observado, numa sincronia perversa, resultantes do acirramento das relações sociais de produção do modo capitalista".

A relação Homem e meio natural, no contexto de produção capitalista fica evidente nas análises das transformações do espaço urbano. Essas transformações tem trazido sérios problemas ambientais e sociais. Gonçalves e Guerra (2010) destacam que o meio urbano constitui hoje o maior exemplo de degradação ambiental. Os mesmos autores enfatizam que:

> [...] as áreas urbanas, por constituírem ambientes onde a ocupação e concentração humana se tornam intensas e muitas vezes desordenadas, tornam-se locais sensíveis às gradativas transformações antrópicas, à medida que se intensificam em frequência e intensidade o desmatamento, a ocupação irregular, a erosão e o assoreamento dos canais fluviais, entre outras coisas (GONÇALVES; GUERRA, 2010, p. 189).

Deste quadro de múltiplos impactos, destacam-se as erosões urbanas. As erosões são processos naturais bastante complexos, influenciados pelas condições climáticas, pela susceptibilidade natural dos diferentes tipos de solo e pelas características do relevo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993). No entanto, a ocupação urbana, planejada ou não, afeta diretamente o recurso natural solo. Nos ambientes urbanos, os solos naturalmente já existentes encontram-se revolvidos, danificados e impermeabilizados pela pavimentação das ruas e pelas edificações de casas, indústrias e por toda gama de equipamentos e serviços urbanos dos quais a população urbana necessita (BRANCO; CAVINATTO, 1999).

Sendo assim, associadas às características naturais, as erosões urbanas são potencializadas pela diminuição da capacidade de infiltração das águas, concentração e lançamento inadequado das águas superficiais, principalmente nas cabeceiras de drenagem que influenciam diretamente em perdas significativas à

população, ao poder público e à natureza. Entre as consequências desta grave situação, há o aumento do escoamento superficial, provocando enchentes e enxurradas, agravando focos erosivos principalmente em solos suscetíveis a esta dinâmica.

No Brasil, estes impactos erosivos nos solos urbanos são problemas notórios, sobretudo pela ocupação sem considerar as características do meio físico. No centro-oeste de São Paulo, devido às características dos solos e ao modelo de ocupação das vertentes, os processos erosivos ocorrem na maioria das áreas urbanas dos municípios. Em Marília (São Paulo – Brasil), situada nesta região, estes problemas são comuns e tem aumentado sua importância devido aos sérios impactos ambientais que o histórico da ação humana ocasiona sobre este ambiente. Atualmente há o risco das erosões atingirem casas e desabrigarem pessoas.

O Plano Diretor do município de Marília prevê que o uso do solo urbano deve priorizar, entre outros, o equilíbrio ambiental. O mesmo Plano contém objetivos e políticas para ocupação da Macrozona Urbana, considerada a porção urbanizada e a ser urbanizada da cidade. Dentre estas orientações, destaca-se a relação com o meio natural característico do município por meio da criação da Zona Especial de Interesse Ambiental (ZEIA) – *Parque dos Itambés*. Em função desta ZEIA há a regulamentação da ocupação do solo urbano sobre as áreas naturais.

Diante do exposto, verifica-se a "necessidade de se incluírem elementos sociais, bem como políticos e econômicos, nos programas de diagnósticos de erosão" (GUERRA, 1994, p.14).

A espacialização das características naturais e das informações sociais sobre imagens de satélites e fotografias aéreas, em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), bem como a criação de banco de dados tem otimizado o levantamento e a organização de informações espaciais, pois permitem trabalhar com a manipulação e cruzamento de grandes volumes de dados, o que melhora o manejo e a interpretação das informações trabalhadas e contribui para a tomada de decisões (PIROLI, 2010). Esses recursos permitem também uma análise temporal da área estudada pois há plena disponibilidade de imagens e dados em várias épocas, como por exemplo, as imagens de satélite.

O presente artigo apresenta considerações sobre os processos erosivos em solos urbanos da zona sul do município de Marília – SP, relacionando à utilização, ocupação e apropriação urbanas e os problemas ambientais nas vertentes e solos da área pesquisada. Estas informações são gerenciadas com apoio dos SIGs Idrisi, versão Taiga e ArcGIS 9.3. As análises tem possibilitado a elaboração de propostas de melhor utilização desses ambientes e de mitigação dos problemas já existentes.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A área abordada nesse artigo abrange a zona sul da área urbana do município de Marília – SP. O município situa-se no centro-oeste do estado de São Paulo, num contexto de relevo tabuliforme, parte ocidental da serra de Agudos, chamado de espigão dos rios Aguapeí e Peixe. A Figura 1 apresenta a localização do município de Marília.

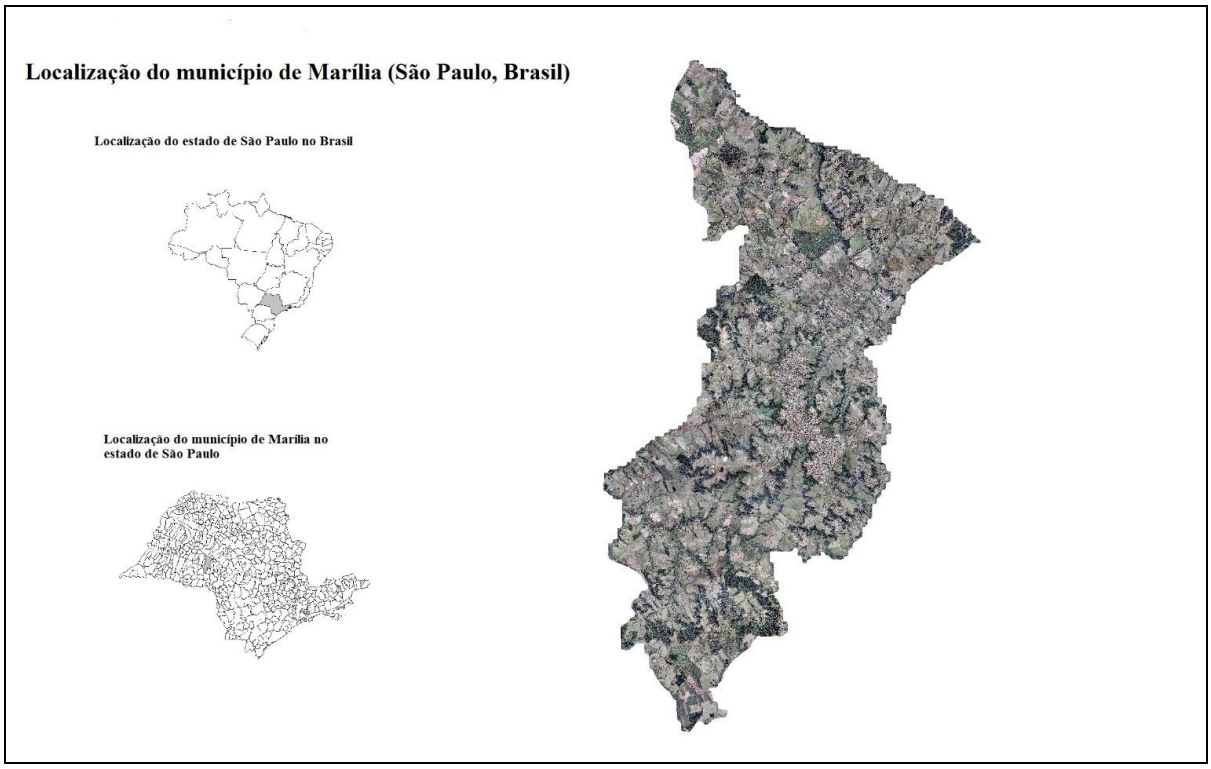



*Figura 1. Imagem de localização do município de Marília (São Paulo, Brasil).*

### Fonte de dados

As fontes de dados utilizadas nesta pesquisa são carta topográfica, mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos, imagens dos satélites Landsat 5, de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010; e do satélite Landsat 8, de 2014. Para análises detalhadas da área urbana, a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA) disponibilizou ortofotos com um metro de resolução espacial. Utilizam-se também os SIGs Idrisi, versão Taiga e ArcGIS 9.3. A base de dados também consiste de fontes bibliográficas acerca da problemática central e consultas documentais junto a Prefeitura Municipal de Marília e suas Secretarias.

**Técnicas**

Para a verificação da dinâmica urbana de ocupação do espaço e para a análise da influencia política e econômica no planejamento da área estudada, nas proximidades dos locais com focos erosivos, tem sido aplicados roteiros de análise para o levantamento de informações e verificação *in loco* das características naturais e sociais. Os dados avaliados são padrão residencial predominante, padrão dos equipamentos, serviços e infraestrutura urbanos, nível de renda dos residentes, grau de conhecimento sobre os processos naturais dos locais estudados e aspectos das vertentes e grau de degradação do ambiente.

Para avaliação das condições naturais dos processos de erosão tem-se realizado trabalhos de campo. No campo, identifica-se as áreas críticas, levantando informações sobre os tipos de solos e características de relevo. Esses dados são relacionados com as informações presentes nos Mapas Geomorfológico e Pedológico do estado de São Paulo.

Os trabalhos de campo permitem também a análise das dinâmicas ambientais. No campo, realiza-se a coleta das coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) de cada ponto analisado, com auxílio de GPS de navegação. A demarcação dessas coordenadas é importante para elaboração de um banco de dados, que associado às imagens de satélite ou às ortofotos da área de estudo, possibilita a consulta posterior e monitoramento destas áreas.

Nos SIGs os procedimentos consistem em atividades relacionadas à elaboração do mosaico e georreferência das imagens de satélite, álgebra e elaboração de mapas temáticos. A elaboração dos mapas temáticos tem permitido a análise dos principais fatores envolvidos na deflagração dos processos erosivos na zona sul da área urbana de Marília (São Paulo, Brasil).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente artigo apresenta análises preliminares de pesquisa realizada nas zonas leste e sul do município de Marília (estado de São Paulo, Brasil), em que pretende-se refletir sobre os impactos da produção do espaço urbano nos solos e vertentes da área. Essas análises são fundamentais no processo de estruturação das áreas urbanas em cidades médias do interior do estado de São Paulo (Brasil), cujo processo se intensificou a partir da década de 80.

O levantamento das características naturais das áreas com focos erosivos em mapas pedológicos e geomorfológicos de Marília foi feito para se obterem informações acerca das características, processos e formas de relevo e dos solos, relacionando se a área em questão é suscetível a processos erosivos.

De acordo com as informações coletadas no mapa pedológico do estado de São Paulo, o município de Marília possui as seguintes classes de solos: PVA 2 (Argissolo Vermelho-Amarelo), predominantemente, PVA 5, em pequenas porções e RL 4 (Neossolo Litólico), em cerca de 20% do território. Esses tipos de solos que predominam em Marília mostram-se suscetíveis a processos erosivos, no caso dos Argissolos pela presença de horizontes arenosos e de impedimento (A/E e B textural); e no caso do Neossolo Litólico por serem solos de pouca espessura e profundidade. A figura 2 apresenta a espacialização dos tipos de solos que ocorrem na área pesquisada.

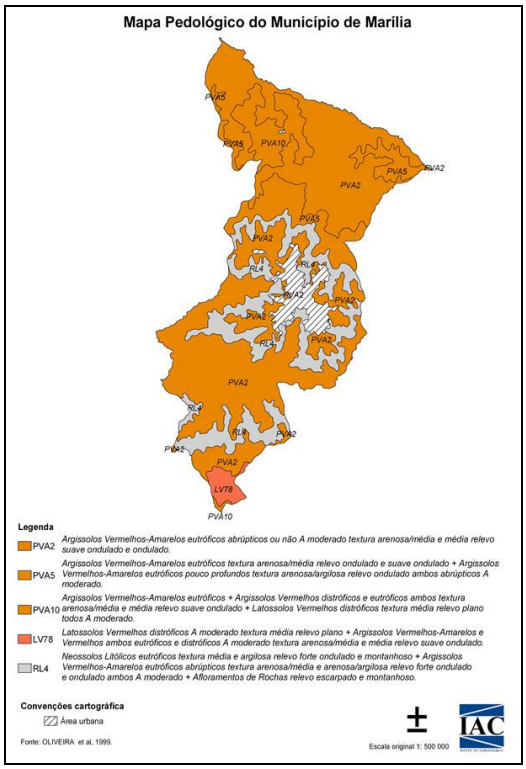



*Figura 2. Mapa pedológico do município de Marília (São Paulo, Brasil).*

As informações de contexto geomorfológico mostram que o município situa-se em relevo tabuliforme, na parte ocidental da serra de Agudos, chamado de espigão dos rios Aguapeí e Peixe. Nestes ambientes é comum a presença de escarpas, ou seja, linhas de ruptura entre as formas de relevo. Nas áreas urbanas de Marília, as escarpas são conhecidas por *itambés* e é nestas áreas onde encontram-se os principais focos erosivos.

Com relação aos aspectos do quadro natural levantados em Marília, pode-se inferir que as áreas urbanas são potencialmente susceptíveis ao desenvolvimento, eventualmente acelerado, de processos erosivos.

O levantamento e análise das informações em ambiente SIG tem consistido, inicialmente, da aquisição de imagens de satélite. Após a georreferencia das imagens, realizou a vetorização e análise visual do avanço da mancha urbana sobre as áreas mais declivosas. Tem-se verificado que a ocupação na zona sul ocorreu principalmente na década de 90. Nos anos 2000, o espaço urbano avançou sobre áreas de maior declive. A figura 3 mostra imagens do satélite Landsat 5, dos anos de 1990, 1995 e 2000, trabalhadas no SIG Idrisi, versão Taiga, as quais destacam os avanços da mancha urbana sobre as vertentes localizadas na zona sul do município de Marília.

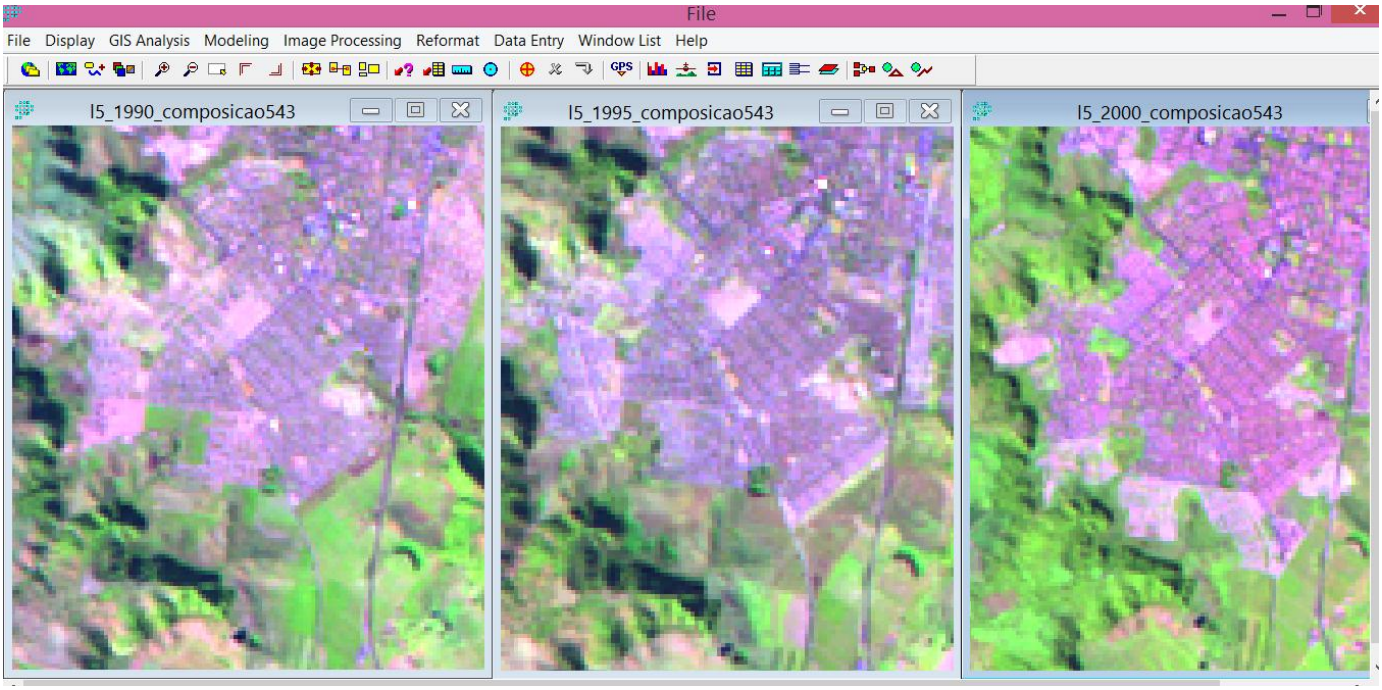



*Figura 3. Imagens do satélite Landsat 5 da zona sul da área urbana de Marília (São Paulo, Brasil), dos anos de 1990, 1995 e 2000.*

O processamento dessas informações e geração de mapas temáticos tem mostrado que a população que tem avançado sobre as áreas declivosas na zona sul de Marília (São Paulo, Brasil), são moradores de baixa renda, cujas condições de moradia são precárias. Os dados analisados até o presente momento da pesquisa evidenciam também que o planejamento e a infra-estrutura urbana nesses loteamentos são deficientes, causando sérios riscos ao meio natural e a qualidade de vida da população.

Os trabalhos de campo tem sido realizados para verificação *in loco* das características verificadas nas imagens de satélites. Nesses trabalhos realiza-se a demarcação das coordenadas geográficas e UTM, com uso do GPS e faz-se o levantamento fotográfico de áreas críticas. As informações de campo, os dados obtidos nas

imagens e a elaboração de mapas temáticos tem possibilitado a construção de um banco de dados da área, o qual contribuirá para consultas futuras, inserção de informações e monitoramento da zona sul de Marília.

## CONCLUSÕES

As discussões acerca da reflexão sobre os processos erosivos urbanos emergem em razão da relação contraditória das dinâmicas naturais no espaço urbano, pois, a produção e ocupação destes espaços é altamente impactante sobre relevos e solos; entretanto, por outro lado, necessitam de cuidados para manutenção desses ambientes para se prolongar a qualidade de vida do homem e o desenvolvimento de suas atividades. Diante desta situação, e no atual andamento desta pesquisa, pode-se afirmar que a ocupação do espaço urbano é marcada por características ambientais que, quando não respeitadas, potencializam dinâmicas naturais e geram consequências de ordem social e econômica, as quais precisam ser dimensionadas.

Acredita-se também que o ‘olhar’ às contradições espacializadas nas áreas urbanas possibilite uma reflexão acerca dos impactos causados pelos processos de erosão em Marília (SP). Pretende-se que essa reflexão não separe sociedade e natureza, ou processos sociais e naturais; ao contrário, acredita-se que o caminho percorrido deva ser trilhado com a adoção de princípios e metodologias que permitam uma visão integradora do espaço, que contém componentes naturais e sociais.

A investigação temporal dos processos erosivos ocorrentes na área de estudo com uso de imagens de satélites e ortofotos de diferentes períodos mostraram-se essenciais para o estudo, devido à extensão e dinâmica urbana da área pesquisada. As imagens do Landsat 5 e Landsat 8, pela sua resolução (30 metros) não ofereceram grande precisão pontual, mas permitiram a visualização das características, considerando que no período anterior aos anos 2000, a pouca e praticamente inexistente fonte de dados de sensoriamento remoto, prejudicava o desenvolvimento de pesquisas desta natureza. As ortofotos disponibilizadas pelo EMPLASA, permitiram a interpretação precisa das características do espaço urbano de Marília, devido à sua alta resolução.

De modo geral, o caminho adotado para reflexão sobre a produção do espaço urbano e a relação no desenvolvimento de processos erosivos da zona sul da área urbana de Marília (São Paulo, Brasil) tem sido pelos processamentos realizados em ambiente SIG. A multifuncionalidade dessas ferramentas são fundamentais para o cruzamento de informações sobre aspectos naturais e sociais. Os SIGs permitem também a formação de um banco de dados, o qual poderá auxiliar futuras tomadas de decisões, apontando os prováveis fatores envolvidos nos impactos causados pelos processos erosivos ao Homem e ao meio natural.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Brasil) pelo apoio financeiro. Também agradecem à Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA) pela cessão das ortofotos do município de Marília (São Paulo, Brasil).

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ed Ícone, 1993.
2. BRANCO, S. M.; CAVINATTO, V. M. **Solos**: a base da vida terrestre. São Paulo: Moderna, 1999.
3. COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas – Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. C. (Orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
4. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Brasília, DF: Embrapa/Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.
5. GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (RJ). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. C. (Orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
6. GUERRA, A. J. T. **A erosão de solos no contexto social**. Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v. 17, p. 14-23, 1994.
7. MARÍLIA (município). **Plano Diretor do município de Marília**. Marília: EPLAN/Prefeitura Municipal de Marília, 2006.
8. NUNES, J. O. R; et al. A influência dos métodos científicos na Geografia Física. **Revista Terra Livre**, nº 27, 2º semestre/2006. São Paulo, Associação dos Geógrafos Brasileiros.
9. NUNES, M. **Produção do espaço urbano e exclusão social em Marília-SP**. Presidente Prudente, 2007. 173 f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Câmpus de Presidente Prudente, 2007.
10. OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: Descrição das Classes Registradas no Mapa Pedológico: legenda expandida. **Boletim Científico, Instituto Agronômico de Campinas**, v. 45, p. 1-112, 1999.
11. PIROLI, E. L. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos: UNESP/Campus Experimental de Ourinhos. 2010.
12. SANTOS, C. A. M. **Formas de relevo da cidade de Marília – SP**. Trabalho de Graduação. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciência e Tecnologia, curso de Geografia, Presidente Prudente – SP, 2006.

13. SANTOS, C. A. M. **O relevo e o sistema de afastamento e tratamento de esgoto da cidade de Marília – SP.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2009.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA SIG-WEB PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE – GESITRAN BIOBIO

**Martínez, Marcela[a]; Rojas, Carolina[a]; Gutiérrez, Jhonny[b]; Woywood, Mónica[b]; Echaveguren, Tomás[b]; Tudela, Alejandro[b]; Carrasco, Juan[b]; Lima, Claudia[c]**
**Universidad de Concepción**
**[a](Departamento de Geografía, mamartinezb@udec.cl - crojasq@udec.cl)**
**[b](Departamento de Ingeniería Civil)**
**[c](Departamento de Urbanismo.)**

**RESUMEN**
La plataforma tecnológica para la gestión integral del sistema de transporte en la Región del Biobío – GESITRAN BIOBÍO – corresponde a un proyecto ejecutado por la Universidad de Concepción y financiado por Innova Biobío, cuya finalidad es recopilar, generar, procesar y publicar información territorial asociada al sistema de transporte y de actividades del Gran Concepción. Se basa en el desarrollo de dos componentes: Plataforma SAGI y ESTU (información geográfica base e indicadores espaciales procesados en ambiente SIG) y un componente WEB (que permite la gestión y publicación de contenido espacial). El resultado corresponde a la obtención de un conjunto de visores de mapas con capas de información de transporte y usos de suelo, además de visores avanzados de filtros y geoprocesos. Finalmente el desarrollo de esta plataforma implica grandes aportes a la gestión del sistema de transporte, así como también a los diferentes niveles de usuarios que interactúan con ella.

**Palabras claves:** Plataforma Tecnológica, Información Territorial, Visores de Mapas, Indicadores Espaciales.

## INTRODUCCIÓN

El Terremoto ocurrido en la ciudad de Concepción Chile el 27 de Febrero del 2010, puso en evidencia tres situaciones: (i) la falta de datos geoespaciales en cantidad, calidad, homogeneidad y pertinencia para tomar decisiones rápidas, respecto de la gestión del sistema de transporte en situaciones de emergencia; (ii) la fragilidad del sistema de transporte ante incidentes de cualquier naturaleza (sismos, accidentes, manifestaciones, etc.); (iii), la fragilidad de los sistemas de almacenamiento de datos existentes (en diversos y disímiles formatos) ante eventos que pudiesen causar su destrucción total o parcial.

Ante esta situación, la Universidad de Concepción, a través del Área de Transporte del Departamento de Ingeniería Civil, el Departamento de Geografía y el Departamento de Urbanismo, en conjunto con la Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones de la Región del Biobío, junto a la Asociación Provincial de Dueños de Taxibuses, acometieron el desafío de crear una plataforma tecnológica en base a sistemas de información geográfica (SIG) que permita la gestión eficiente de datos de transporte para una toma de decisiones rápida e integrada a los sistemas tradicionales de planificación del sistema de transporte urbano (STU).

El objetivo general del proyecto es crear una plataforma tecnológica de interfaz web de servicios de mapas con datos del sistema de transporte urbano y usos de suelo del Gran Concepción, destinada a la gestión y consulta de datos geoespaciales y a la construcción de indicadores socio-espaciales agregados, basados en información existente de transporte.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La plataforma desarrollada presenta dos componentes: un Sistema de Información Geográfica (SIG) y una Web.

El SIG reúne las plataformas SAGI y ESTU, que corresponden a la información geográfica de base y a los indicadores espaciales de Sistema de Transporte, Actividades y Patrón de flujos, respectivamente. EL SIG es el componente a través del cual es posible procesar, administrar y visualizar toda la información geoespacial. Por otra parte, la web es el servicio que permite dar a conocer la información contenida en el SIG a todos los niveles de usuario, teniendo la funcionalidad además de entregar información adicional del proyecto.

En su conjunto, las plataformas SIG (SAGI y ESTU) y Web componen la Plataforma GESITRAN, que consta de varios visores de información geoespacial, y puede ser consultada a través de la dirección electrónica www.gesitranbiobio.cl.

Dentro de sus principales características se pueden definir las siguientes:

- Producción cartográfica (como ilustración, elementos gráficos o conjunto empaquetado de datos georreferenciados).
- Superposición visual de capas de información temática, en diferentes estructuras de datos (raster y/o vectorial).
- Responder a la petición de información descriptiva de algún elemento espacial contenido en la cartografía desplegada.
- Gestión de la base de datos espacial y temática.

Entre las principales funcionalidades de la plataforma, se considera la consulta y extracción de información geoespacial de la base de datos en aquellos aspectos de interés, facilidad de actualización y salida de información consultada, mediante la visualización cartográfica de la información espacial y salida tabular de la información almacenada. Esta salida gráfica se obtiene directamente a la pantalla o se podrá derivar a dispositivos de impresión.

Se han considerado los siguientes niveles de acceso a la plataforma:

En primer lugar el nivel de acceso público, en el que se permite visualizar, consultar y obtener información gráfica, sin permisos de edición o descarga, a través de un visor en la plataforma de datos de *ArcGIS Server*.

Un segundo nivel corresponde al de acceso restringido a la comunidad GESITRAN, correspondiente a las instituciones gubernamentales colaboradoras y entidades que se estimen convenientes. En este nivel se permite compartir y solicitar información geoespacial de transporte en base a una evaluación profesional previa.

El tercer nivel está restringido a investigadores y profesionales en SIG del proyecto GESITRAN, quienes tienen los permisos para administrar, gestionar, modificar, ingresar y editar, ya sea los datos, metadatos e indicadores.

## RESULTADOS

### Visores de Mapas

La interfaz web de la Plataforma GESITRAN o página de inicio se puede ver en la Figura 1, que corresponde al menú de inicio, incluyendo distintas pestañas y noticias relevantes del proyecto. Como información destacada se encuentra el visor de mapas "Recorridos de Transporte Público del Gran Concepción", el cual permite a los usuarios acceder directamente a los trazados de taxibuses según terminal de origen.

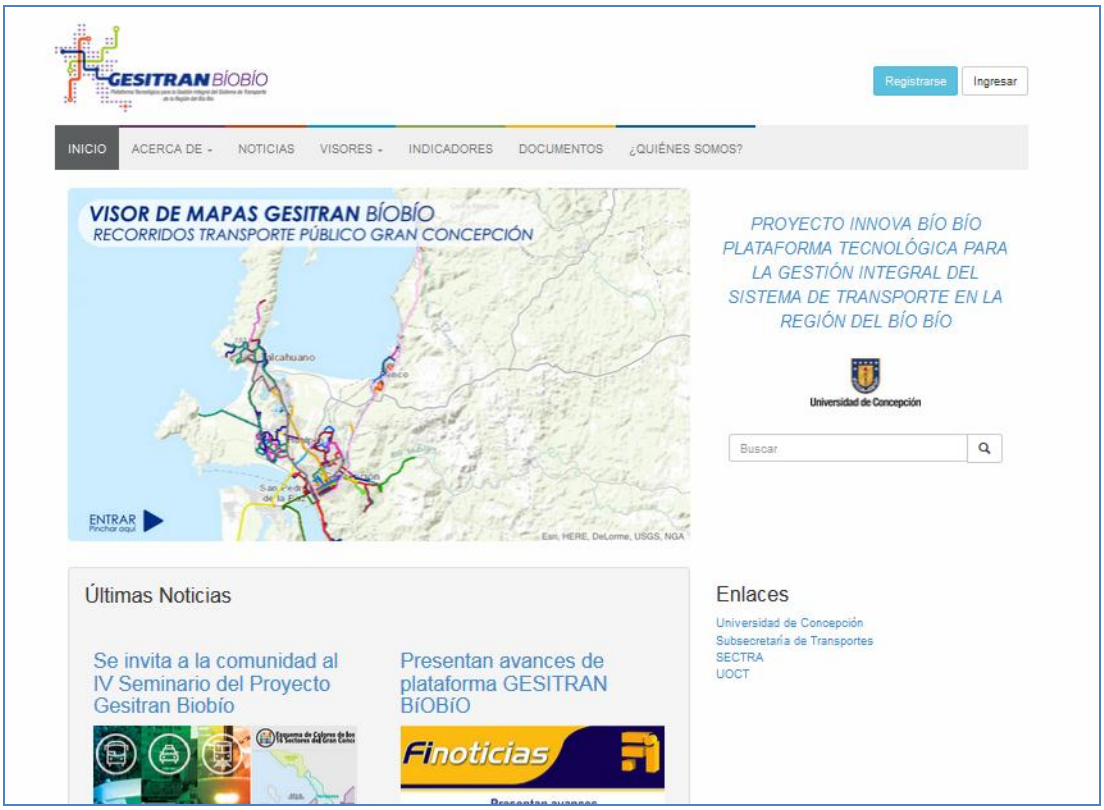



*Figura 1. Inicio Plataforma GESITRAN.*

A la fecha, la plataforma cuenta con once visores de información geográfica (Figura 2), correspondientes tanto a información base obtenida de diversas fuentes como a indicadores de transporte, sistema de actividades y patrón de flujos, los que pasan a detallarse a continuación:

- Visor Infraestructura y Equipamiento: permite la visualización y consulta de información georreferenciada de tipo base referente a establecimientos educacionales, universidades,

semaforización, hospitales públicos, aeropuerto, centros de atención primaria, estaciones de Biotren, red Biotren, estacionamientos y paraderos de taxibuses.

- Visor Planificación: permite la visualización y consulta de información georreferenciada de tipo base referente a usos de suelo, Planes Reguladores Comunales, proyectos inmobiliarios, unidades vecinales/barrios, senderos y áreas verdes.

- Visor Transporte y Tránsito: permite la visualización y consulta de información georreferenciada de tipo base referente a accidentes de tránsito, mediciones de flujos vehiculares periódicas y continuas, mediciones de flujos de saturación, puntos censales TMDA de la Región y jerarquización vial.

- Visor Indicadores Sistema de Transporte: permite la visualización y consulta de información georreferenciada de tipo procesada referente a indicadores de estado de ciclovías, veredas, rampas, soleras, asfalto hormigón; índices de densidad de intersecciones, intersecciones de cuatro arcos, conectividad, densidad de la red vial, espacio destinado a vialidad; y cobertura de transporte público.

- Visor Indicadores Sistema de Actividades: permite la visualización y consulta de información georreferenciada de tipo procesada referente a consumo de suelo, entropía/diversidad de usos de suelo, proximidad a centros de atención primaria, ocupación de suelo por actividad, índices de cluster y oferta de trabajo, comercio y servicios.

- Visor Indicadores Patrón de Flujos: permite la visualización y consulta de información georreferenciada de tipo procesada referente a viajes atraídos/generados según período, modo y propósito por zonas de transporte y comunas, índices de severidad y siniestralidad de accidentes de tránsito y gasto mensual en transporte público.

- Visor Recorridos de Transporte Público: muestra la información referente al trazado de taxibuses en el Gran Concepción, terminales de origen – destino, y su frecuencia oficial por línea y servicio.

- Visor Accidentes Sistema de Actividades: muestra la información referente a accidentes de tránsito ocurridos en el área de influencia de colegios, universidades, paraderos de taxibuses, unidades vecinales, y en vías primarias y secundarias del Gran Concepción.

- Visor Accidentes Temporales 2009-2011: muestra la información referente a accidentes de tránsito por año, mes, día, hora, y densidades de kernel.

- Visor Accidentes de Tránsito 2009-2013: contiene la base de datos actualizada al año 2013 y desagregada según características temporales, cantidad, comuna, causas, severidad, entre otras.
- Visor de Recorridos de Taxicolectivos: muestra la información referente al trazado de taxicolectivos por comuna en el Gran Concepción.

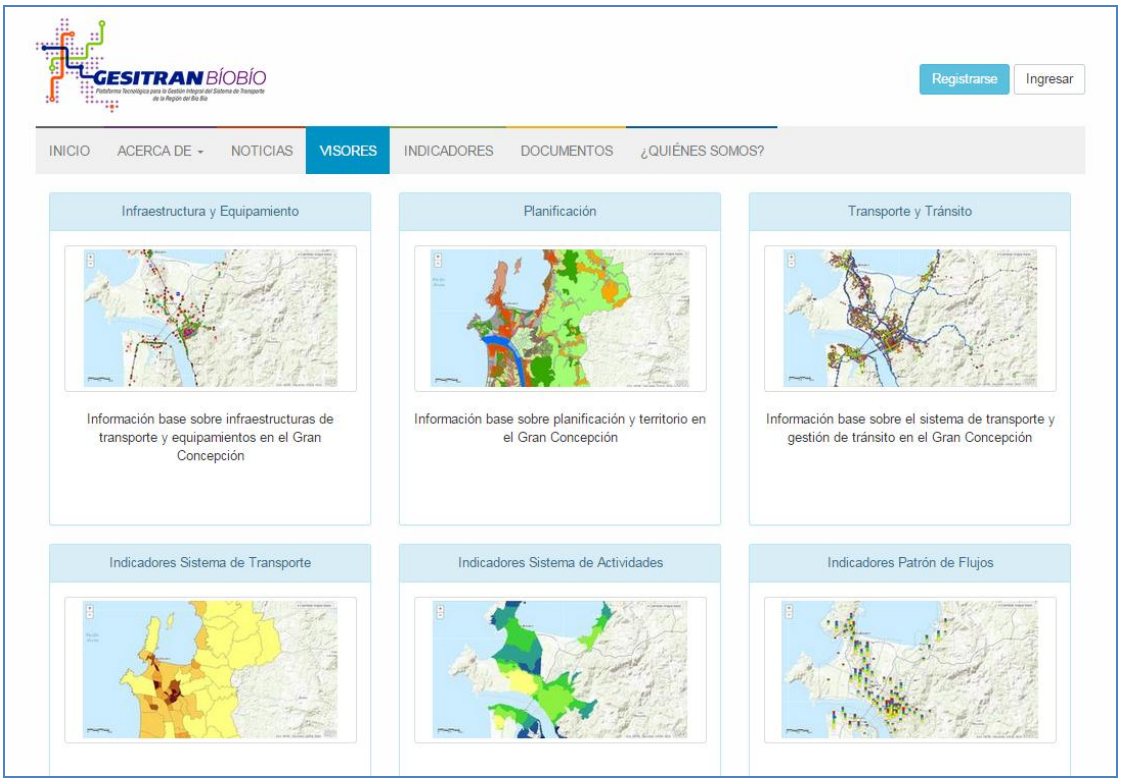



*Figura 2. Visores de mapas publicados en la Plataforma.*

**Visores de Análisis**

La Plataforma Gesitran Biobío cuenta con visores de análisis referidos a dos tipos (Figura 3): filtros espaciales y geoprocesos.

Los filtros de consulta de información geoespacial, específicamente referidos a la base de datos de Transporte Público y Accidentes de Tránsito, son alojados en visores avanzados en la plataforma, permitiendo desagregar la búsqueda según diferentes campos de interés. Por otra parte, los visores de

geoprocesos contienen herramientas de análisis espacial para la resolución de problemáticas referidas a localización de infraestructuras de transporte y equipamiento urbano. A continuación se describen cada uno de ellos.

***Visor de filtros de accidentes del Gran Concepción***

La base de datos geográfica asociada a los accidentes de tránsito 2009-2013 presenta una importante cantidad de registros (13.802) y de variables o atributos que los caracterizan, por lo que realizar consultas específicas es necesario para este tipo de datos. La Figura 3 muestra la interfaz de este visor de filtros, donde la columna al costado izquierdo del mapa indica las opciones de consultas agrupadas en cinco temáticas: temporales, entorno e infraestructura, tipología y severidad, personas y vehículos involucrados.

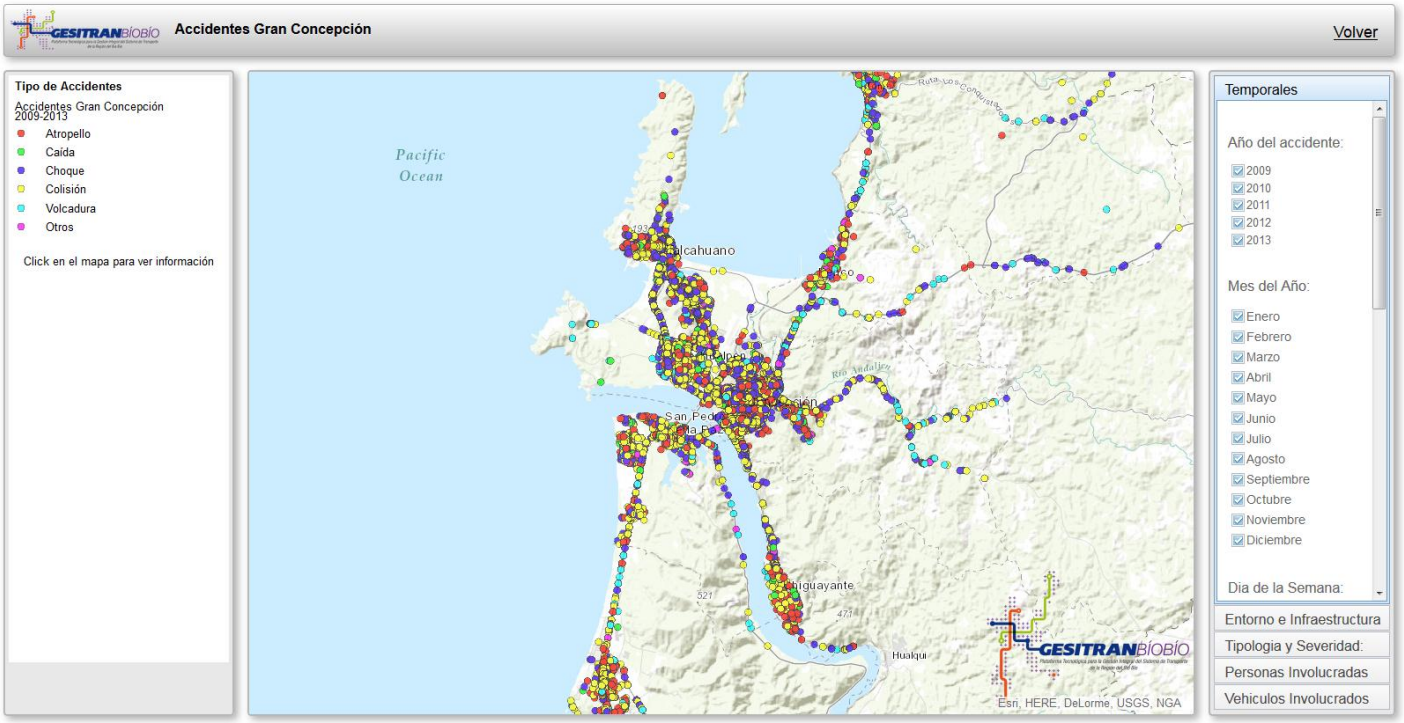



*Figura 3. Visor de Filtros Accidentes Gran Concepción.*

- Accidentes temporales: permite filtrar los accidentes según características temporales, como año, mes, día de la semana, fecha y hora de ocurrencia, permitiendo realizar una búsqueda muy específica.

- Entorno e infraestructura: permite filtrar los accidentes por comuna, área rural o urbana, causas preliminares, calzada, tipo y estado de la calzada, condición climática, y estado atmosférico.

- Tipología y severidad: permite filtrar accidentes según tipo y gravedad (número de ilesos, graves, menos graves y fallecidos).

- Personas involucradas: permite filtrar según las personas involucradas por accidente, como conductor, pasajero, peatón, género, y rango etario, según número en cada categoría.

- Vehículos involucrados: permite filtrar según el tipo de vehículo involucrado por accidente, como ambulancia, automóvil, bicicleta, taxibus, camión, entre otras categorías.

***Visor de filtros de Recorridos de Transporte Público***

Otra base de datos geográfica relevante desde el punto de vista de las necesidades de los usuarios y servicios para la gestión del transporte, está asociada a recorridos de transporte público, la que presenta numerosos registros (190 recorridos) y atributos específicos. Por lo tanto, un visor de filtros de este tipo permite visualizar espacialmente tanto el recorrido como su origen y destino, entre otras consultas que se detallan a continuación. La Figura 4 muestra el visor de filtros de transporte público, según consultas de recorridos y comuna.

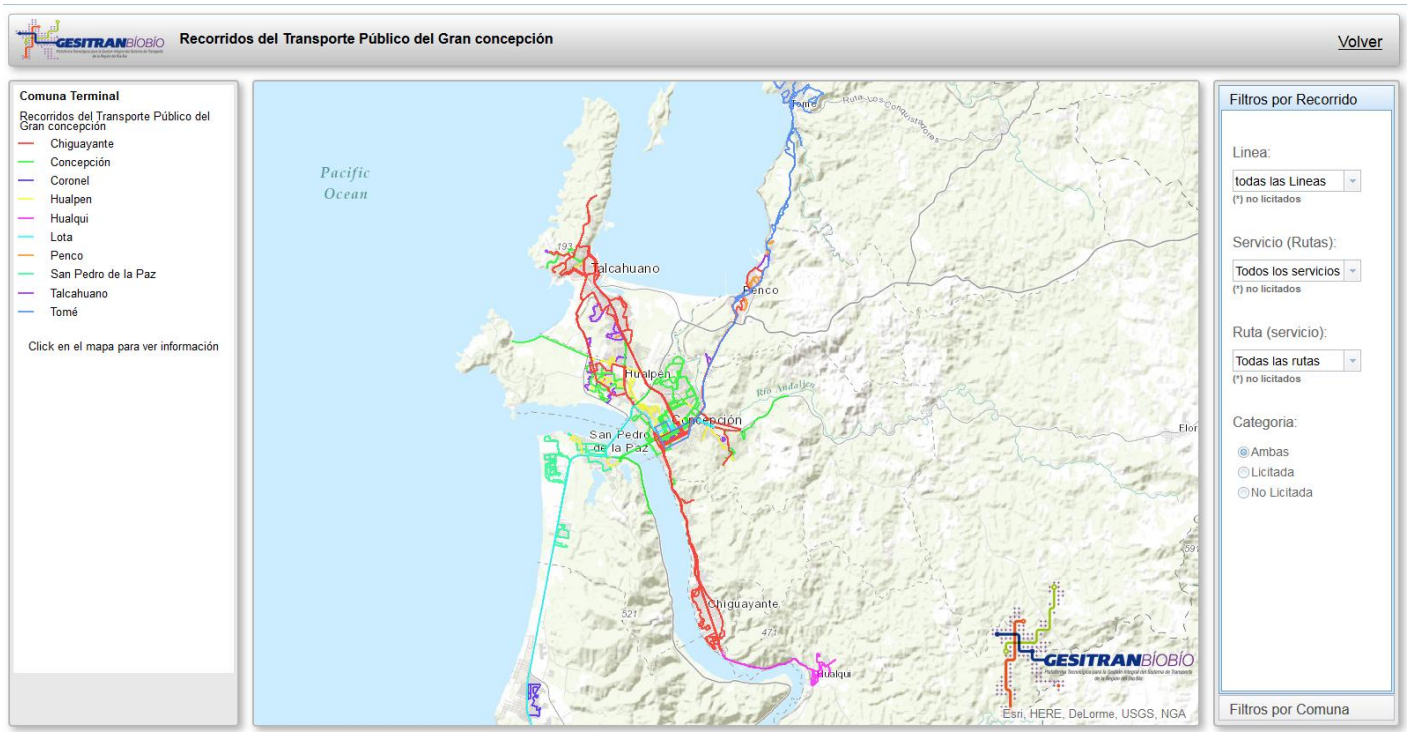



*Figura 4. Visor de Filtros Recorridos de Transporte Público del Gran Concepción.*

- Recorrido: permite filtrar los recorridos según línea, número de servicio, ruta y categorías (licitadas, no licitadas y ambas).

- Comuna: permite filtrar los recorridos por comuna de origen y destino, y comuna donde se encuentra emplazado su terminal.

***Visor de geoprocesos: Localización de accidentes en el área de influencia de Colegios***

En este visor es posible realizar consultas sobre los accidentes de tránsito que se localicen dentro del área de influencia de los establecimientos educacionales, por lo tanto, se le permite al usuario interactuar con las distancias empleadas para obtener esta consulta espacial. Las herramientas de geoprocesamiento insertas en estos visores avanzados corresponden a la definición de un *buffer* (zona de influencia) y una intersección entre dicha zona y los accidentes de tránsito del Gran Concepción. Este visor se muestra en la Figura 5.

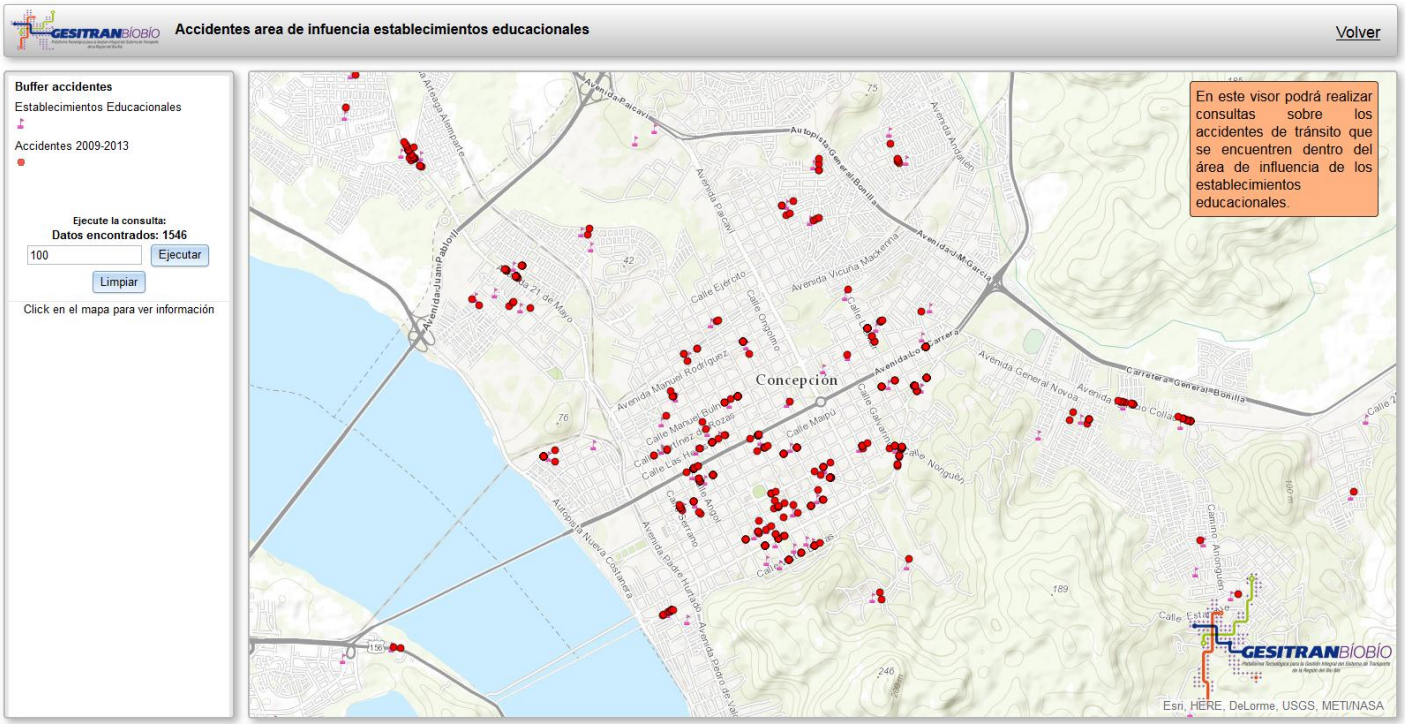



*Figura 5. Visor de Geoprocesos: Accidentes en el área de influencia de Colegios.*

***Visor de geoprocesos: Generación de zonas de influencia***

La generación de zonas de influencia están referidas a equipamientos urbanos del transporte y sistema de actividades, tales como paraderos, estaciones de Biotren, estacionamientos céntricos, aeropuerto, centros de atención primaria, hospitales públicos, colegios y establecimientos de educación superior.

A través de este visor es posible obtener la cobertura espacial de cada uno de los equipamientos del Gran Concepción indicados anteriormente, permitiéndole al usuario interactuar con las distancias empleadas para obtener los resultados de esta consulta espacial (Figura 6).

La Figura 7 Muestra por otra parte, la interfaz de los visores de análisis publicados en la Plataforma Gesitran.

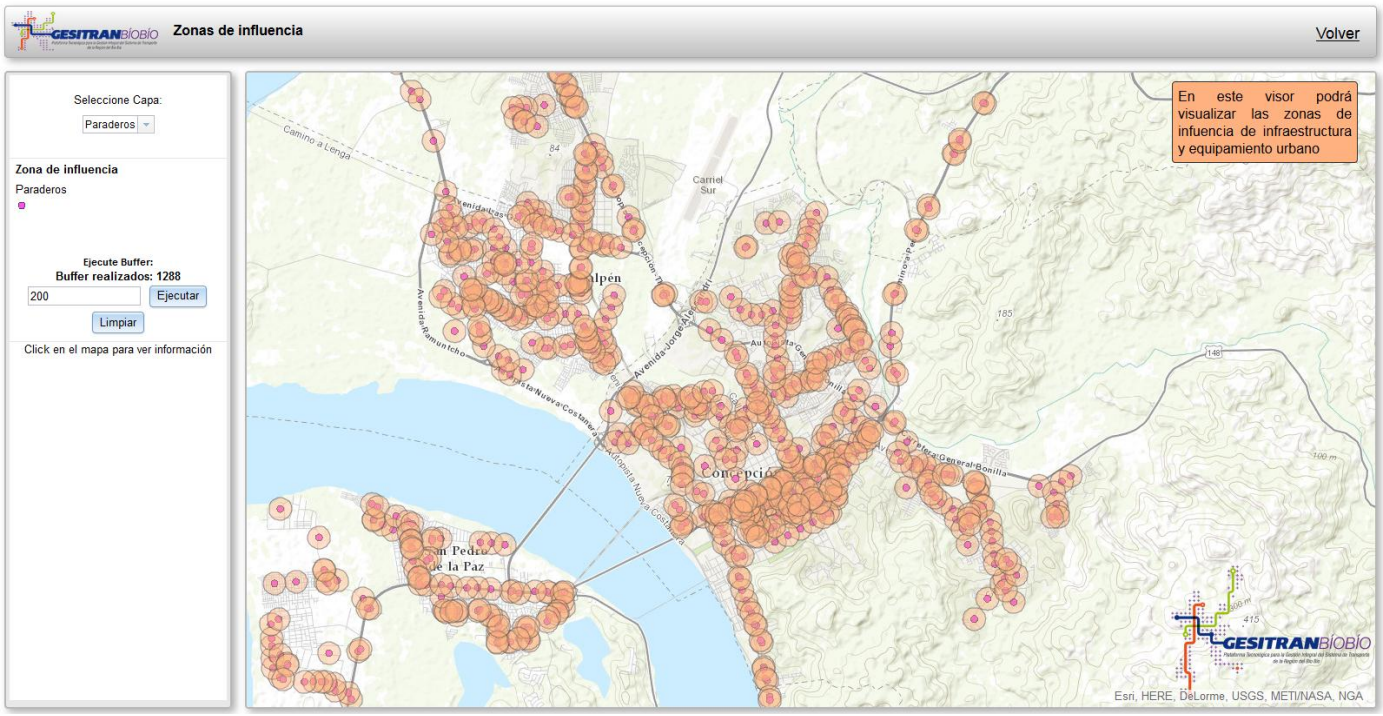



*Figura 6. Visores de Geoprocesos: Zonas de influencia de equipamientos urbanos.*

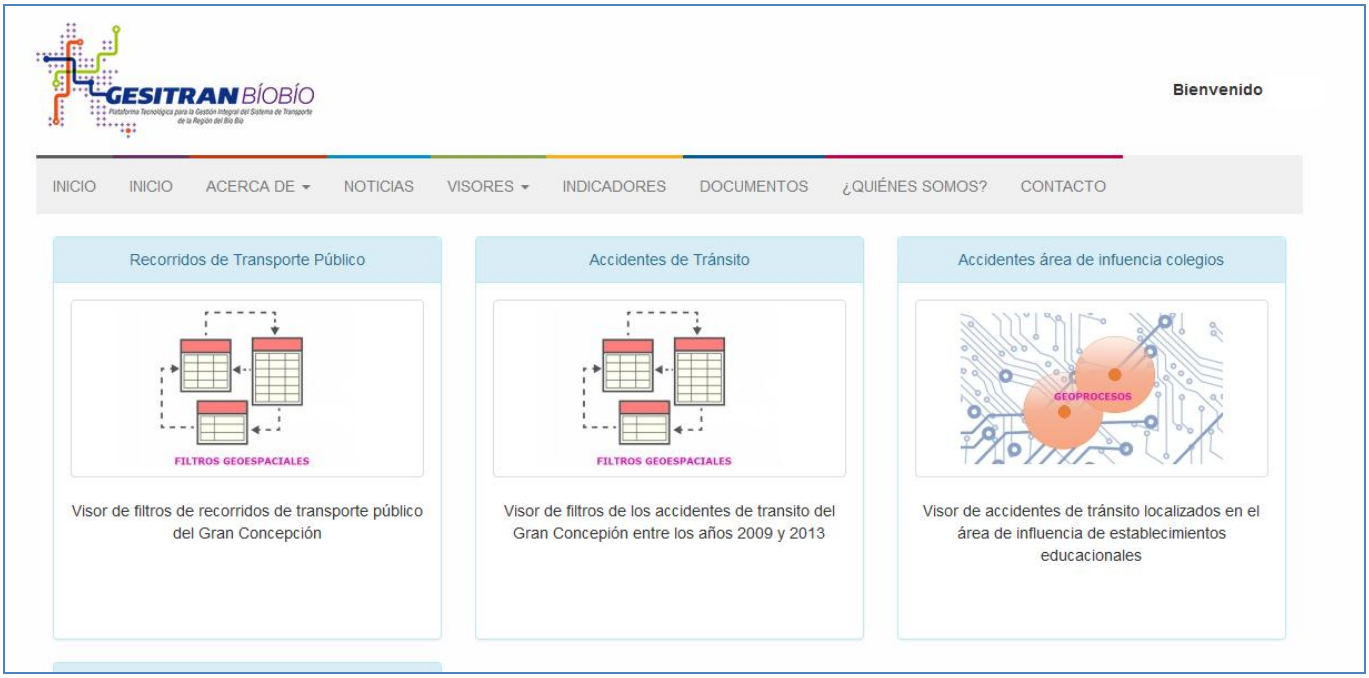



*Figura 7. Visores de análisis publicados en la plataforma.*

## CONCLUSIONES

La plataforma tecnológica GESITRAN BIOBÍO, se constituye como una importante iniciativa para la gestión integral de la información espacial referida al transporte, sistema de actividades y patrón de flujos en el Gran Concepción, que permitirá ofrecer distintos servicios respondiendo a las necesidades de cada tipo de usuario.

Desde el punto de vista del diseño y arquitectura de la plataforma, la implementación de los servicios de mapas presentan diversas funcionalidades que permiten la publicación de visores de mapas y de análisis a través de la sincronización entre ArcGIS Desktop y Server, la gestión y administración de datos web, la disposición de niveles de usuarios diferenciados, y la publicación de indicadores y sus fichas técnicas en la web.

Una funcionalidad relevante desde la perspectiva de la interacción con la información territorial es la publicación de visores de mapas avanzados (visores de filtros), que permiten la consulta específica de información referente a los accidentes de tránsito y recorridos de transporte público en el Gran Concepción. Se generaron categorías o subgrupos donde se encuentran contenidos los atributos de cada información, lo que permite una mayor especificación espacial.

De esta forma es posible contar con una plataforma tecnológica SIG-Web, capaz de integrar distintos niveles de acceso, presentar diversidad de contenidos como visores de mapas, indicadores espaciales y documentación relevante, y contribuir con la disposición de información territorial recopilada y generada para la consulta a través de la web www.gesitranbiobio.cl.

Uno de los aspectos a considerar para su adecuado funcionamiento a mediano y largo plazo, es la necesidad de generar mayor eficiencia en la captura, estandarización y actualización de los datos, así como establecer los mecanismos de continuidad que le permita mantenerse en el tiempo. Para este objetivo, se ha construido un documento que reúne los protocolos de comunicaciones referentes a los estándares mínimos requeridos para la generación y entrega de información geográfica por parte de las instituciones públicas asociadas al proyecto, con el objetivo de generar un sistema interoperable y fácil de integrarse a la base de datos de la plataforma.

La realización de este proyecto implica grandes aportes a la gestión del sistema de transporte, al integrar distintas visiones provenientes de la ingeniería vial, de la gestión de tránsito, de la planificación de transporte, de la interpretación del espacio urbano provisto por el urbanismo y la geografía, y de la interacción que el sistema de transporte induce sobre la vida de los ciudadanos.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TRANSPORTE CON TECNOLOGÍAS DE LIBRE DISPOSICIÓN

**Navarrete, Mónica[a]; Valdivia, Ricardo[b]; Cornejo, Rodrigo[c]**
[a] **ESUN,CEUTA, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile. mnavarre@uta.cl**
[b] **EUIIIS, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile. rvaldivi @uta.cl**
[c] **EUIIIS, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile. rjcm_21@hotmail.com**

**RESUMEN**

Una planificación eficiente de la movilidad urbana es un anhelo común a muchas ciudades que evidencian expansión urbana y aumentos en su población tal como le sucede a la ciudad de Arica-Chile. La falta de un soporte tecnológico no hace sino acrecentar el problema de gestión y planificación de los servicios de transporte público y que en este caso, ocurre en un momento en que se reduce cada vez más la oferta pública de transporte debido a la pérdida de competitividad frente al automóvil como medio de movilización urbana.

En este trabajo, presentamos la elaboración de un Sistema de Información Geográfica para el transporte (SIG-T) que pone a disposición de los usuarios, mayor y mejor acceso a la información del transporte público de la ciudad de Arica. Se describen las etapas realizadas y el uso preferente de herramientas de libre disposición (OpenTripPlanner), datos abiertos (OpenStreetMap) y estándares abiertos (GTFS).

**Palabras claves:** Sistemas de Información Geográfica, Transporte Público, GTFS, Herramientas del Libre Disposición, Planificación de viajes.

## INTRODUCCIÓN

La construcción de bloques de viviendas en altura o la aparición de nuevos centros comerciales, de supermercados, colegios o centros de atención de salud representan algunos de los síntomas de la expansión económica y social que está experimentando la ciudad de Arica durante el último tiempo y que sin duda impactan en el panorama urbano y en su sistema de conexión vial mediante una mayor demanda de movilidad urbana. Sin embargo, el parque automotriz destinado al transporte público mayor en la ciudad de Arica pareciera estar ajeno a estas demandas. Basta un recorrido por las principales arterias de la ciudad para observar que el automóvil particular ha desplazado al transporte por taxi colectivo y al uso del taxibus como principales medios de movilización con la consecuente pérdida de participación del transporte público.

La Encuesta de Origen y Destino (EOD) elaborada por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones del año 2010 [1], muestra que, entre los años 1998 y 2010, la variación en número de viajes dentro de la ciudad de Arica aumentó un 68,32%. El medio más utilizado fue el automóvil privado que aumentó su uso en un 150,72% aunque también los hicieron los viajes por taxi colectivos un 17,92%, a pesar de su pérdida en la participación como modo de transporte (-5,23%). Mientras que, el taxibus no solo disminuyó su participación sino que se redujo en un 13,53%, con lo cual se puede decir que hoy la ciudad de Arica muestra una menor participación del transporte público y con tasas crecientes y negativas en el uso del taxibus.

*Tabla 1. Fuente: Elaboración propia en base a datos de EOD 1998 y 2010. MTT*

| Modo | EOD 1998 | | EOD 2010 | | Variación de tasas de participación | | %Variación en número de viajes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Número de viajes | % | Número de viajes | % | | | |
| Auto (Chofer y acompañante) | 76.527 | 21,98 | 191.866 | 32,74 | 10,76 | | 150,72 |
| Taxis colectivos | 60.828 | 17,47 | 71.731 | 12,24 | -5,23 | -14,98 | 17,92 |
| Taxibus | 69.770 | 20,04 | 60.333 | 10,30 | -9,75 | | -13,53 |
| Otros (bici, a pie, otros..) | 140.989 | 40,50 | 262.017 | 44,72 | 4,22 | | 85,84 |
| **Total Viajes** | **348.114** | **100** | **585.947** | **100** | | | **68,32** |

Se requiere un replanteamiento en el sistema de transporte público, para cubrir lugares que no estaban contemplados anteriormente en las líneas de recorrido, y que actualmente carecen de transporte mediante taxibus. Sin embargo, ésta es tarea de largo plazo. Por ahora, es posible contribuir con una acción remediadora mediante la introducción de herramientas tecnológicas que permita la planificación de viajes de los usuarios del transporte público mayor. La ciudad de Arica carece de un sistema de apoyo logístico que informe a la comunidad, las alternativas de transporte entre un punto y otro, las rutas del transporte urbano en la ciudad, puntos estratégicos, como llegar de un lugar a otro con las alternativas disponibles, etc. Por tanto, este trabajo muestra el desarrollo de un sistema de apoyo a la planificación de viajes e información para los

usuarios y administradores del Transporte Urbano en la ciudad de Arica, utilizando SIG con herramientas de libre disposición.

## METODOLOGIA

Esquemáticamente, la solución técnica propuesta sigue los pasos de la figura 1 compuesto por una etapa de recopilación y procesamiento de la información que se inicia con el levantamiento de una encuesta a usuarios del transporte público mayor (taxibus) que validan la necesidad y pertinencia de la solución propuesta por cuanto un 65,8% de la población que utiliza los taxibuses, lo hacen de modo frecuente. El 90,6% de los encuestados cree necesario una plataforma que recabe la información sobre el transporte público. El 85% de los encuestados que utiliza este medio de transporte, es usuaria de Internet y el 67% lo utiliza en formato móvil. Por último, la nota promedio de un 4,5 (en la escala de 1 a 7) asignada al servicio del Transporte Público por los usuarios, otorga espacio para la mejora del servicio a través de una plataforma tecnológica.

El paso siguiente de la plataforma, viene dado por la recolección y georreferenciación de paraderos, recorridos de taxibuses, información turística y de interés en la ciudad de Arica (hoteles, colegios, comisarias, cajeros automáticos, centros de salud, farmacias, estaciones de bomberos, supermercados, jardines infantiles y otros), lo cual se realizó con la herramienta del Google Earth y el programa de libre disposición GvSig. Este programa permite acceder a información vectorial y raster, así como a servidores de mapas que cumplan las especificaciones del OGC (Open GIS Consorsium) [2]. La información recolectada y almacenada se trabaja en formato de archivos Shapefiles, para luego ser almacenada en una base de datos centralizada. Posteriormente, la información recolectada se alojó en un servidor de mapas Web conocido como GeoServer que entrega como complemento la visualización cartográfica mediante la extensión GeoExplorer. Para almacenar la información recolectada en una base de datos, se utilizó PostgreSQL junto a su extensión PostGIS[3], la que permite tener una base de datos espacial.

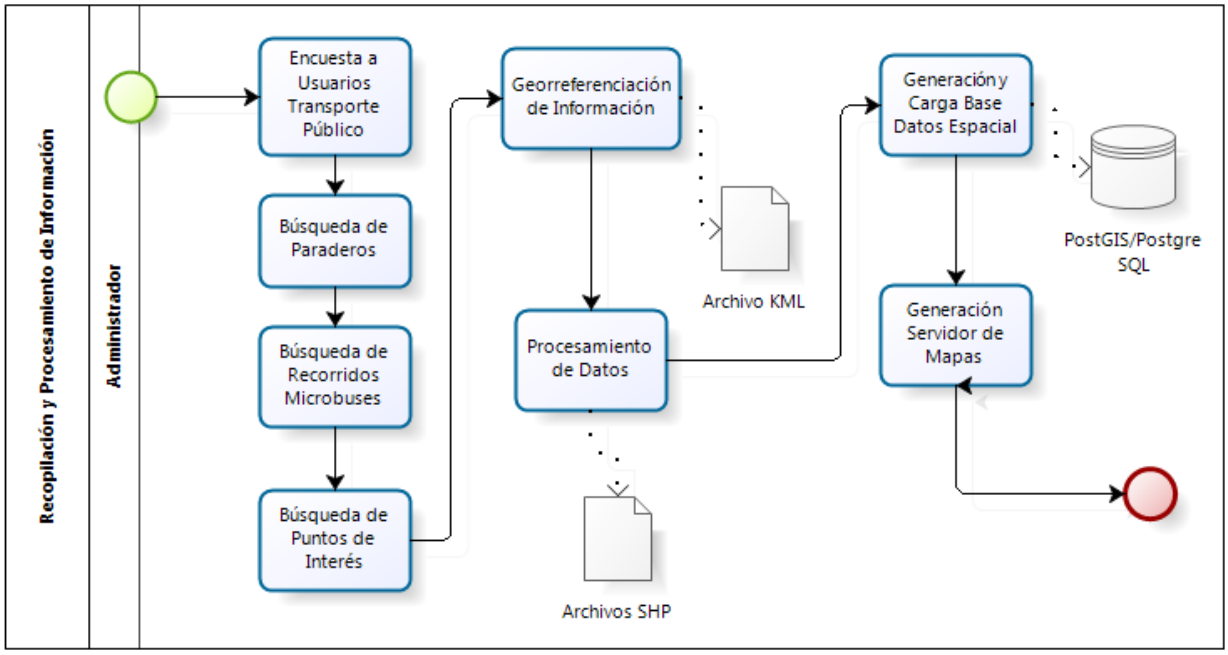



*Figura 1. Modelo Procesos Recopilación y Procesamiento de Datos*
*Fuente: Elaboración Propia.*

La construcción de la base de datos espacial llevo a la utilización de tecnología SIG (Sistema de Información Geográfica), que permite el análisis espacial de datos de manera más eficiente, logrando resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica. Para esta finalidad, se utilizó la herramienta SIG Desktop para la manipulación de la cartografía e información espacial a través de una interfaz gráfica, y la implementación de un Servidor de Mapas Web para almacenar la información de Líneas de Transporte, paraderos y puntos de interés. La figura 2 muestra el modelo de Procesos de la etapa de Diseño e Implementación del SIG.

Para la obtención de la cartografía de Arica, se utilizó la plataforma OpenStreetMap (OSM). Éste, es un proyecto basado en datos abiertos, orientado a crear un mapa colaborativo del mundo. Permite la edición de cartografía y su uso en el cálculo de rutas. Hoy en día existen diversas aplicaciones para teléfonos móviles que utilizan los mapas de esta iniciativa [4].

Una vez obtenido la cartografía de Arica, se creó el GTFS de la ciudad. La especificación GTFS (General Transit Feed Specification) define un estándar abierto para la planificación de transporte y la distribución de la información geográfica asociada [5]. Permite que los organismos públicos de tráfico publiquen sus datos de tráfico y que los desarrolladores de aplicaciones implementen aplicaciones que utilicen estos datos [6].

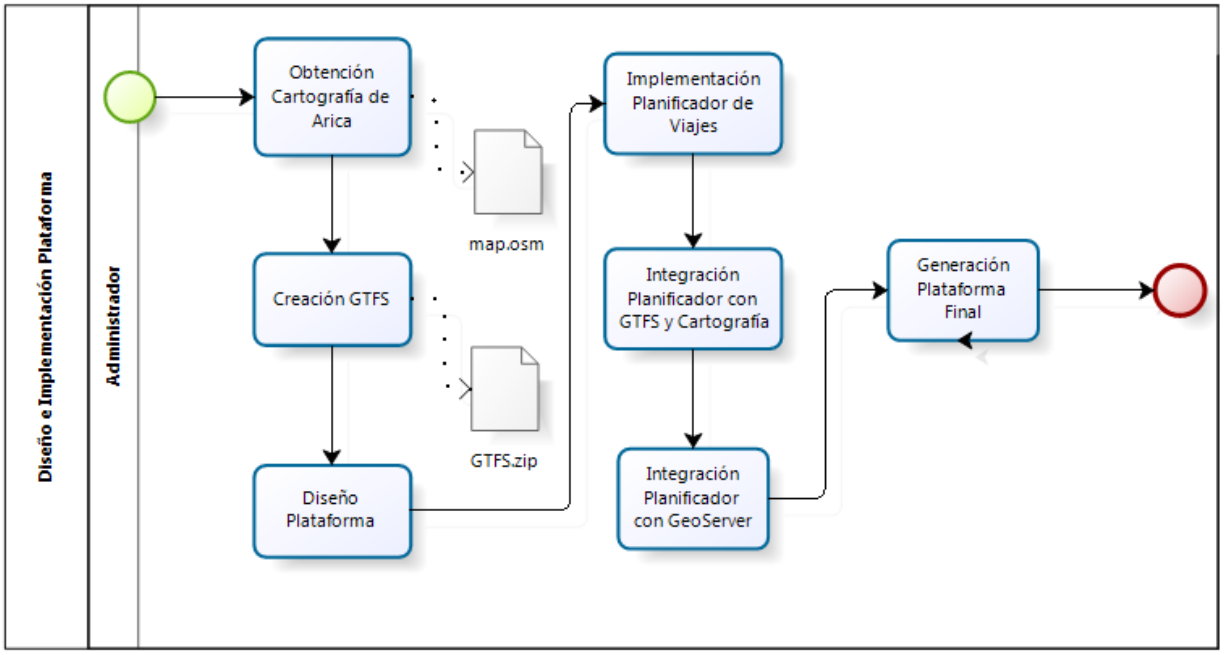



*Figura 2. Diagrama de Procesos Diseño e Implementación Plataforma.*
*Fuente: Elaboración Propia.*

Un feed GTFS se compone de una serie de archivos de texto recopilados en un archivo ZIP [7]. Cada archivo modela un aspecto particular de información de tránsito: paradas, rutas, viajes y otros datos relacionados con los horarios. Una empresa de transporte puede producir un feed GTFS para compartir su información de transporte público con programadores, quienes luego escribirán las herramientas que consumen feeds GTFS para incorporar la información de transporte público a sus aplicaciones. Los feeds GTFS se pueden utilizar para impulsar a planificadores de viajes, editores de horarios y diversas aplicaciones, a que usen la información de transporte público de alguna manera [8].

Para el desarrollo del GTFS se utilizó Mobilibus una plataforma online desarrollada por Marco Littig [9], que proporciona un Panel de Gestión GIS que permite gestionar los datos de transporte público y ofrecerlos a través de servicios de información como Google Maps.

La especificación del modelo GTFS divide la información en distintas entidades, como se aprecia en el modelo presentado en la figura 3. Existen agencias (Agency) que pueden tener una o más rutas (Route). Cada ruta se compone de uno o más viajes (Trips). Cada viaje tiene una o más detenciones en paradas (Stop Times), es decir el taxibus tarda cierto tiempo en llegar a una parada y luego retoma el viaje. Una parada (Stop) puede estar asociada a una o más detenciones en paradas, debido a que varios taxibuses pasan por esa parada. El calendario (Calendar) posee las fechas y horarios sobre cuando comienza y termina el servicio del

microbus. La entidad Shape posee los trazados de los viajes, mientras que coordenadas (Coordinate), almacena las coordenadas de cada trazado o shape.

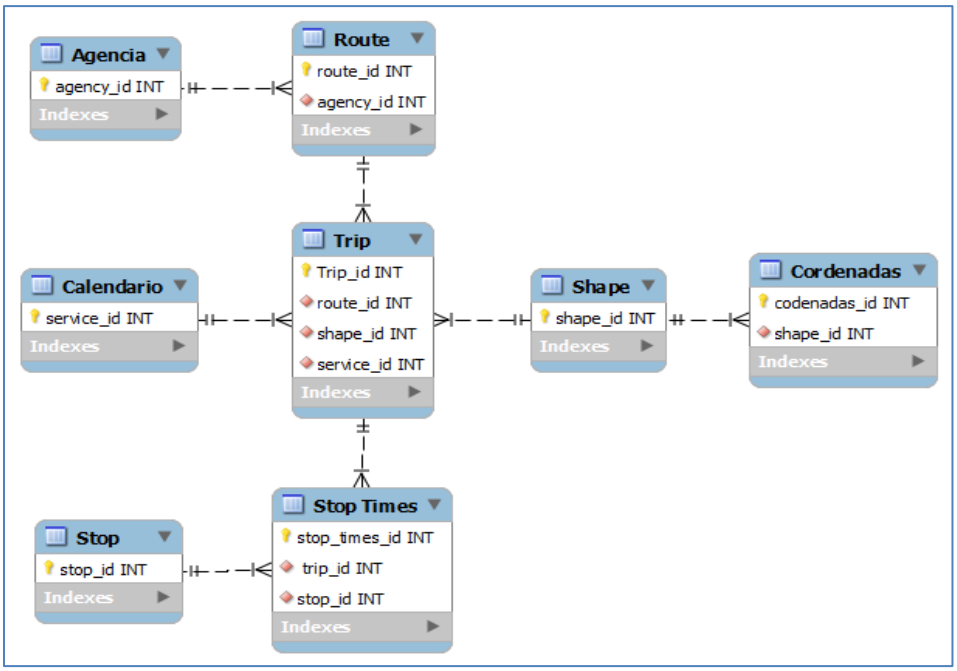



*Figura 3. Modelo de Datos GTFS.*

La aplicación final fue implementada utilizando una plataforma de código abierto llamada OpenTripPlanner [10], que permite la planificación de rutas multimodal entre sistemas independientemente de su tamaño y complejidad. Permite combinar información de peatones, automóviles y transporte público en un interfaz web e integrarlo con el Servidor de mapas web GeoServer, por medio de estándares de datos abiertos. Esto permite ofrecer a los usuarios la posibilidad de acceder por intermedio de un navegador, a la cartografía e indicadores de interés asociados a la ciudad de Arica y también a la posibilidad de planificar sus viajes por las distintas vías.

En la Figura 4 se aprecian los componentes requeridos por la plataforma OTP.




*Figura 4. Diagrama para la configuración del Planificador de Viajes [11].*

En primer lugar, necesita generar un grafo específico a partir de los datos en bruto de los transportes y la cartografía de la zona (1,2). Este grafo permite al planificador realizar búsquedas de viajes de forma óptima sobre los datos. Para ello, un constructor consulta la información de las líneas de transporte y la cartografía de la zona cercana a la actuación de dicho sistema de transporte. La zona puede calcularse a través del área que delimitan la red de paradas de los transportes o simplemente a través de una delimitación explícita.

Los datos se procesan y se genera un grafo (Graph.obj) comprimido estático (3,4). Este proceso no se vuelve a repetir, a excepción de que se requiera actualizar el grafo. El planificador siempre generará los viajes a través de este grafo.

Cuando el planificador recibe una petición para calcular un viaje (5) a través de su interfaz, éste delega la acción al analizador o enrutador (6) que a través del grafo generado (7) obtiene un plan para dicha consulta y la transmite a la interfaz (8) y ésta la retorna al usuario en el formato adecuado (9).

En resumen, las principales herramientas utilizadas para llevar a cabo la solución SIG fueron: PostgreSQL mediante su extensión para manejo de datos espaciales PostGIS, gvSIG, GeoServer y OpenTripPlanner respectivamente.

## PLANIFICADOR DE VIAJES CON SIG-T

La última etapa de este trabajo involucró la puesta en marcha del sistema, de forma permitir a los usuarios del transporte público de Arica visualizar, y planificar sus viajes. Así como también, visualizar información relevante sobre puntos turísticos de la ciudad.

Los módulos necesarios para correr la plataforma se instalaron en un servidor Apache Tomcat 7.0 para su ejecución y su utilizó Netbeans 7.1 para la configuración y edición del sistema.

Así, en la Figura 5 se puede apreciar como la plataforma muestra, en el mapa de Arica, el viaje que debe hacer la persona para llegar de un punto a otro. Mientras que al lado izquierdo se muestra la planificación, especificando que debe caminar hacia Renato Rocca alrededor de 5 minutos, para tomar el Autobus Línea 4, que va hacia Playa Brava. El viaje dura aproximadamente 12 minutos. Posteriormente llega a la calle Edmundo Flores. Luego debe caminar 1 minuto hasta llegar a la esquina de Los Vilos con Edmundo Flores. Se específica que el tiempo de viaje dura 19 minutos y no realiza transbordos.

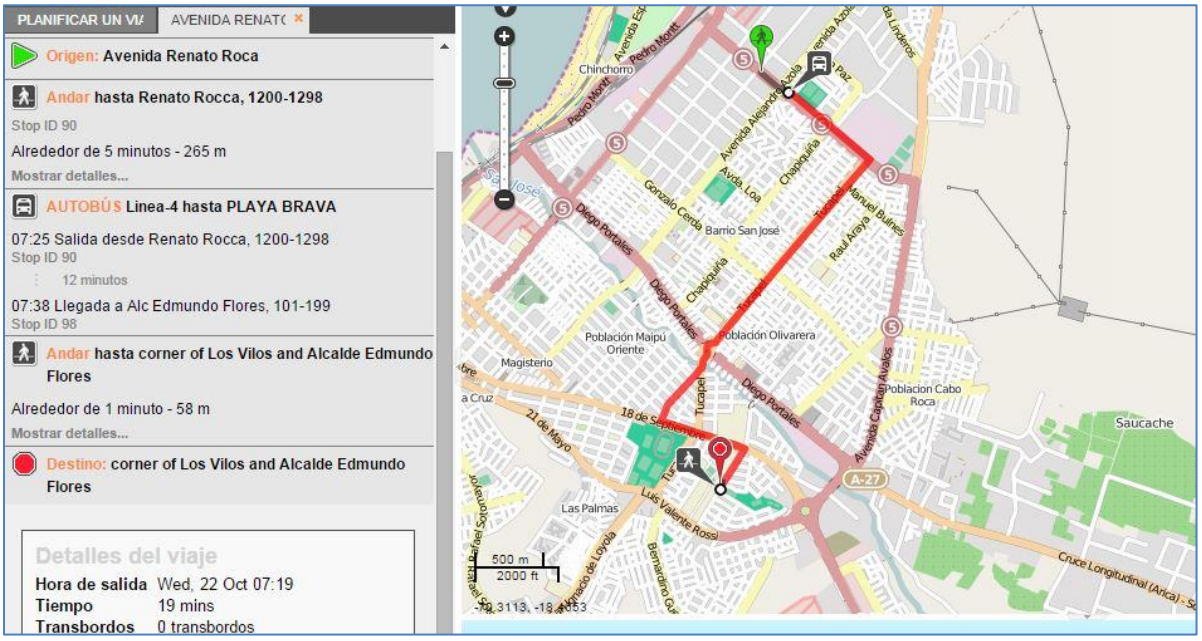



*Figura 5. Planificación de Viajes en Arica.*

En la figura 6 se puede apreciar el módulo de información que posee la plataforma. En el recuadro superior derecho se aprecian los Puntos de Interés, tales como: Hospitales, Colegios, Playas. En el mapa, los puntos destacados representan a los Hospitales, cliqueados en el recuadro indicado. Al cliquear en alguno de los

puntos que representan los hospitales, se expande un recuadro quel muestra la información que posee dicho punto, como Nombre o Descripción.

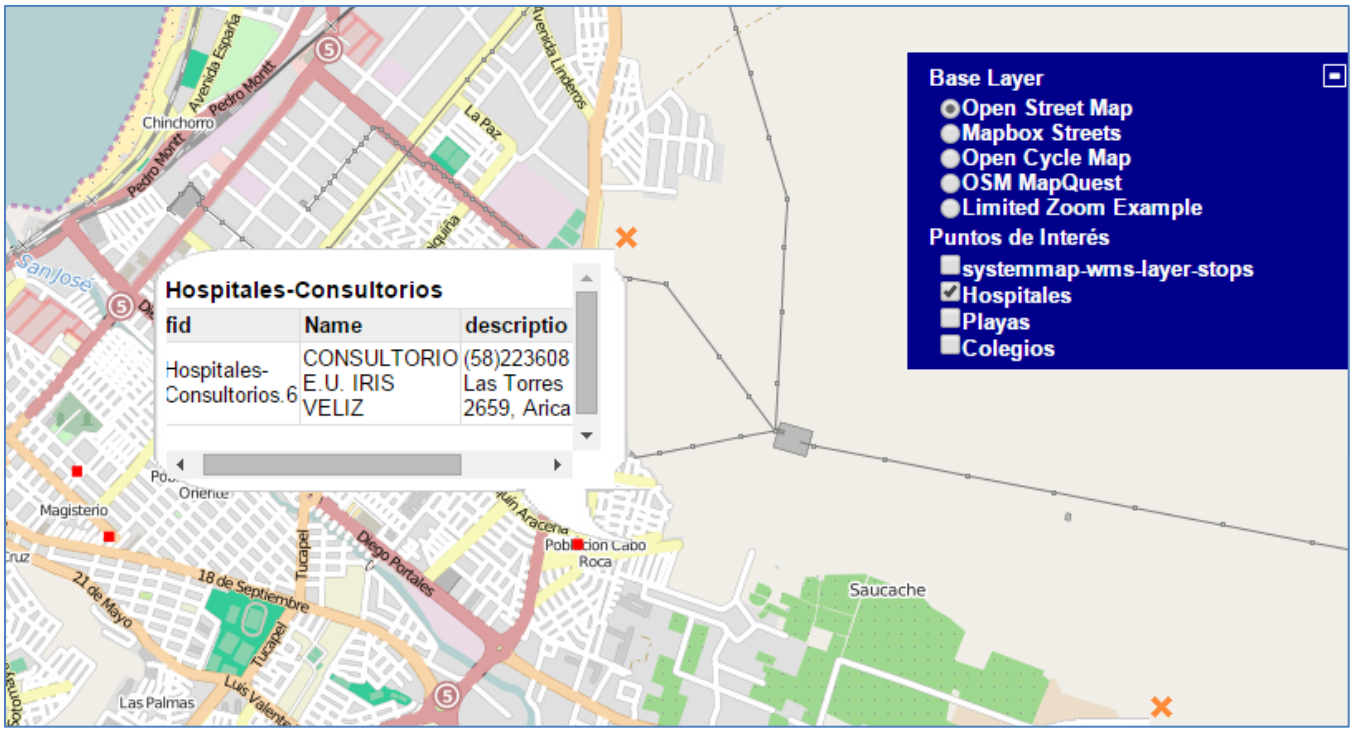



*Figura 6. Visualización de Información sobre puntos de Interés.*

La planificación de viajes funciona en base a la información proporcionada por el GTFS, en el cual se especifica los días y horarios de salida, inicio y, frecuencia. Por tanto, el planificador realiza la operación según tales indicaciones. Por ejemplo si se planifica el viaje por taxibus a las 02 am, el sistema hará el cálculo a pie debido a que en ese horario no hay taxibuses funcionando.

El sistema permite la planificación multimodal, es decir se puede planificar viajes ya sea por transporte público, como bicicletas, a pie, en auto y otros.

La visualización de la información de puntos de interés es proporcionada mediante el estándar WMS, a través de la información de las capas almacenadas en GeoServer como muestra la figura 7.

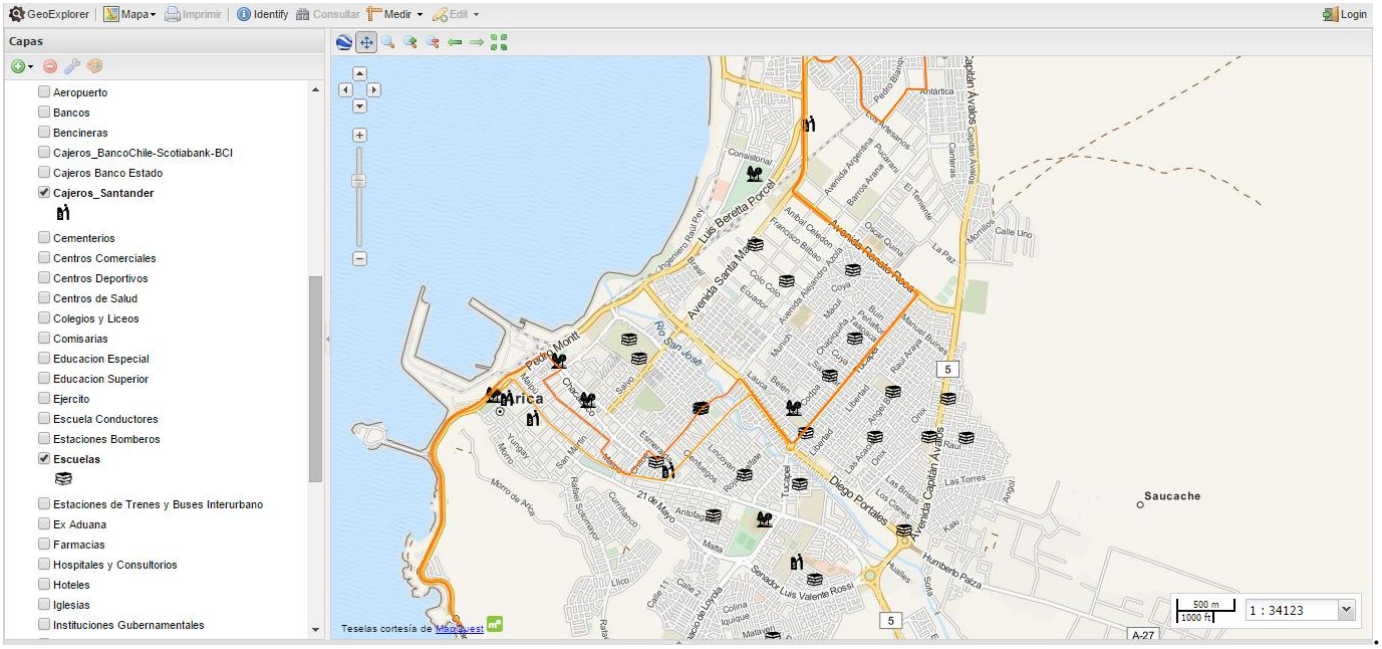



*Figura 7. Visualización de Información almacenada en Servidor de Mapas Web.*

## CONCLUSIONES

No cabe duda que en la actualidad el problema del transporte público es una realidad en muchas partes del mundo. Cada vez las personas evitan con mayor frecuencia el uso de éste por los diversos problemas que enfrenta hoy en día y opta por el uso de automóvil o locomoción privada y Arica es una ciudad no ajena a ésta realidad. Hoy la tecnología está cada vez más inmersa en éste mundo, logrando un impacto importante ya que gracias a ella se han solucionado una infinidad de problemas de diversa índole, tal como pretende este trabajo.

Cabe destacar que se han estudiado algunos de los estándares OGC más utilizados actualmente en los SIG, y las posibilidades que en estos momentos ofrecen gracias al crecimiento en su desarrollo, y su aparición en cada vez más en proyectos de diversa índole. A su vez se ha profundizado en librerías importantes para el desarrollo de mapas dinámicos en web destacando que es tecnología Open Source, lo que implica la capacidad de lograr proyectos de gran envergadura sin una gran inversión, debido a que los costos de crear una solución de tales características, no supondría un costo tan elevado para una ciudad pequeña y turística como lo es Arica.

La utilización de sistema de código abierto de estas herramientas y las tecnologías SIG, permite el desarrollo de la plataforma web, tanto para publicar y editar información cartográfica (GeoExplorer) a fin de que los

usuarios del transporte público en la ciudad, se beneficien del ordenamiento y mejora en la gestión vial y que tengan un mayor y mejor acceso a la información del transporte público de la ciudad de Arica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SECTRA, «Actualización Diagnóstico del STU de la Ciudad de Arica,» Arica, 2006.
2. F. P. Álvarez, «Desarrollo de un SIG para dispositivos móviles utilizando gvSIG mobile,» Universidad de Oviedo, 2012.
3. PostGIS, «PostGIS, Spatial and Geographic objects for PostgreSQL,» [En línea]. Available: http://postgis.net/. [Último acceso: 4 Mayo 2015].
4. J. L. V. S. David Escuín, «T&TNET – Solución de Movilidad Inteligente para Personas Mayores por Medio de Datos Abiertos,» de CIT2014 - XI Congreso de Ingeniería del Transporte, Santander - España, 2014.
5. G. Transit, «GTFS and GTFS-realtime,» Google Transit, 6 Febrero 2013. [En línea]. Available: https://developers.google.com/transit/. [Último acceso: 14 Marzo 2015].
6. S. J. B. Aaron Antrim, «The Many Uses of GTFS Data - Opening the Door to Transit and Multimodal Applications,» [En línea]. Available: [www.locationaware.usf.edu. [Último acceso: 14 Mayo 2015].
7. Q. Zervaas, The Definitive Guide to GTFS, 2014.
8. S. A. Pacheco, «GEOSIG: Generación de Consultas en un Sistema de Información Geográfica,» Puebla, Mexico, 2002.
9. M. Littig, «Mobilibus,» [En línea]. Available: http://www.mobilibus.com.br/. [Último acceso: 4 Mayo 2015].
10. OpenTripPlanner, «Multimodal Trip Planning & Analysis,» [En línea]. Available: http://www.opentripplanner.org/. [Último acceso: 4 Mayo 2015].
11. J. L. Montesinos, «Smart Transport Guide: Guía inteligente en movilidad por ciudad: planificador multimodal, informador de transportes y lugares de interés bajo dispositivos móviles y personas con discapacidad móvil,» Universidad de granada, 2012.

# EJE 6

# Gestión y Ordenamiento Territorial

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN CUENCA

**Delgado Inga Omar [a], Martínez Gavilanes Julia [b], Gómez Orea Domingo [c]**
[a] **Universidad del Azuay, Ecuador, (odelgado@uazuay.edu.ec)**
[b] **Universidad del Azuay, Ecuador, (jumartinez@uazuay.edu.ec)**
[c] **Melissa – Consultoría e Ingeniería Ambiental, España, (domingo.gomez.orea@gmail.com)**

**RESUMEN**

La formulación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Cuenca al 2030, fue elaborado en el año 2011 en atención a lo señalado en la Constitución de la República del Ecuador de octubre de 2008, al Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización COOTAD, Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas; y la Ley Orgánica de Participación Ciudadana.

Los PDOT deben ser actualizados al inicio de cada período de gestión y deben estar articulados al Plan Nacional de Desarrollo y a la Estrategia Territorial Nacional. En el presente documento se hace una reseña histórica de los planes que han sido elaborados en el cantón Cuenca en el período 2000 a 2010, para luego dar a conocer las etapas y productos obtenidos en la formulación de plan al 2030.

**Palabras claves:** Planificación, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, PDOT.

## INTRODUCCIÓN

En la Constitución de la República del Ecuador de octubre de 2008, se reconoce como elemento fundamental del desarrollo la planificación y el la ordenación del territorio y señala la obligatoriedad con el Plan Nacional de Desarrollo como "instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados"

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización COOTAD, vigente desde octubre de 2010, determina la organización del territorio: regiones, provincias, cantones y parroquias. Así mismo se establecen las funciones, competencias exclusivas para cada uno de los niveles de Gobiernos Autónomos descentralizados, así como las atribuciones de autoridades.

En el art. 295 Planificación del desarrollo.- se indica los elementos mínimos de los planes de desarrollo y en el Art. 467 Ejecución de los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial.- señala la obligatoriedad para actualizar los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al inicio de cada gestión.
A finales del 2011 la Secretaría Nacional de Planificación SENPLADES, es la entidad encargada de receptar los planes de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) de 221 cantones y a marzo de 2015 se receptaron los PDOT actualizado de los cantones para el período 2014-2019. En el presente documento se dará conocer los procedimientos en la formulación del PDOT elaborado para el cantón Cuenca en el año 2011.

### Antecedentes sobre los planes del cantón Cuenca

Previo al COOTAD, la Ley de Régimen Municipal, determinaba que los municipios planifiquen su territorio, sin embargo son pocos los que cumplen con la disposición debido a limitaciones de diferente índole sobre de carácter técnico y económico. Por lo que los esfuerzos de planificación se han centrado en las áreas urbanas de las cabeceras cantonales. (Moreno, 2007); y, en municipios organizados llegan a la cabeceras urbano parroquiales.

Según Moreno (2007), en el Ecuador, son escasos los municipios que tienen un historial de planificación urbana y más reducido es el número de municipios cuando se trata de planificación territorial a nivel de cantón. En el presente documento, se abordará la planificación territorial a nivel cantonal.

***El Plan Estratégico de Cuenca 2020***

El Plan Estratégico de Cuenca (PEC) 2020, elaborado desde el año 2001 y publicado en junio de 2004, fue construido de manera participativa con la ciudadanía y actores claves del cantón. El PEC 2020 sienta las bases de la institucionalización de la Planificación Local que se fortalece por el Sistema de Información para la Planificación Local, conformado por un Sistema de Información Territorial (SIT) que dispone de información a nivel predial de la ciudad de Cuenca, de cabeceras urbano parroquiales y de información social a nivel rural. El propósito del SIT es contar con información georreferenciada del cantón Cuenca para lo cual se apoyan desde 1998 en el uso de Sistemas de información Geográfica para la gestión, análisis de la información cartográfica.

El PEC 2020 se establece como modelo de desarrollo para el cantón y la ciudad a través de cinco ejes estratégicos: Económico, Ambiental, Territorial, Social y Cultural; y, Político. Para lo cual se sustentan en:

- 32 Planes Sectoriales y Programas
- 21 Planes Estratégicos de las parroquias rurales de Cuenca
- El Plan de Igualdad de Oportunidades; y,
- El Plan Estratégico de Turismo.

El PEC 2020, marca un hito en la planificación del cantón y de la ciudad por cuanto se sienta las bases sobre la que se estructuran nuevas propuestas de desarrollo territorial.

***Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, 2007***

El Plan de Ordenamiento del cantón Cuenca fue desarrollado entre el 2005 y 2007; y tenía un horizonte temporal al 2030. Este plan abarca todo el territorio cantonal e integra el sector rural con el urbano, para lo cual valida los cinco ejes del PEC 2020 y los agrupa en tres pares: El político y cultural, el económico y social y el territorial y ambiental. La propuesta de Plan tiene una visión integradora del territorio en su conjunto, sin embargo se plantea una propuesta de orden territorial y ambiental y se espera que más adelante se desarrollen los temas social, económico, político y cultural. (Moreno 2007). El POT del 2007 está conformado por tres documentos: Libro Uno - Plan de Ordenamiento Rural del Cantón; Libro Dos - Plan Especial para la Ciudad de Cuenca y Libro Tres - Plan Especial para el Centro Histórico de Cuenca. (PDOT, 2007). Junto con el plan también se elaboró un "borrador de Ordenanza Única para la organización y control del territorio", que lastimosamente no fue aprobada por el Concejo Cantonal.

El POT del 2007, se convierte en el primer estudio a nivel del cantón Cuenca, el mismo que fue liderado por Eugenio Molinet de la Vega, que fue el precursor de propuestas de ordenamiento territorial rural en nuestro medio y probablemente a nivel país, y a quien le debemos un gran número de profesionales, gratitud por sus enseñanzas en temas de ordenación del territorio y de análisis espacial empleando sistemas de información geográfica orientadas a la planificación del espacio físico.

***El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, 2011***

En enero de 2010, la municipalidad de Cuenca firma un convenio con la Universidad del Azuay para la trabajar en la Formulación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca. El rol de la Universidad del Azuay fue brindar asesoramiento y seguimiento en la construcción el Plan, para lo cual conforma un equipo técnico liderado por el Dr. Domingo Gómez Orea, catedrático de la Politécnica de Madrid y especialista en temas de ordenación del territorio; quien ha sido el conductor y asesor en la formulación del Plan más la participación de Alejandro Gómez Villarino y dos equipos de técnicos de la Universidad del Azuay y del GAD Municipal de Cuenca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio es el cantón Cuenca, provincia del Azuay, que tiene una superficie de 319.000 ha y alberga a la tercera ciudad en importancia del Ecuador, cuya capital de cantón y provincia es la ciudad de Cuenca. La población del cantón al año 2010 es de 505.585 habitantes (266.088 mujeres y 239.479 hombres) de los cuales el 65,6 % viven en la ciudad (331.888 habitantes).

### Fuente de datos

La información geográfica con la cual se trabajó en la formulación del PDOT, corresponde a:

- imágenes satélite Rapid Eye 2009 – 2010 para el cantón Cuenca,
- imágenes satélite GeoEye 2008, 2010 para la ciudad de Cuenca y alrededores
- información cartográfica base de diferentes años a escala 1:50.000, 1:25.000, 1:10.000 del Instituto Geográfico Militar
- información temática de diferentes escalas y fuentes de información.

**Formulación del Plan**

La formulación se efectuó en dos etapas:

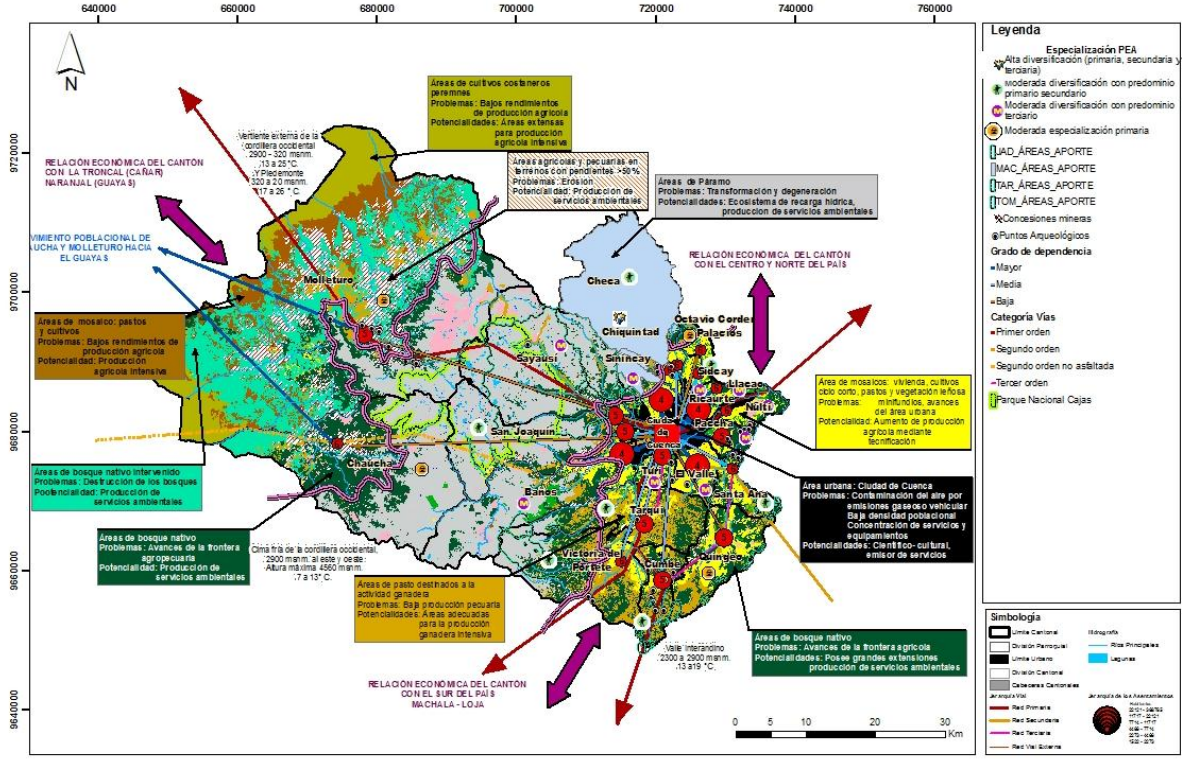
1.- Diagnósticos sectoriales y diagnóstico territorial integrado

2.- Planificación: prospectiva, formulación de escenarios territoriales, definición del modelo territorial a largo plazo, medidas de regulación y medidas de intervención

***Diagnóstico sectorial e integrado***

El Diagnóstico Sectorial se realizó sobre cuatro sistemas: medio físico, población y actividades económicas, asentamientos e infraestructura; y, marco legal e institucional. El objetivo del diagnóstico sectorial fue conocer la situación del sistema territorial.

Con el Diagnóstico Integrado se determinó la estructura y funcionamiento del sistema territorial, los problemas que afectan, que recursos y potenciales tiene y qué limitaciones existen sobre el sistema territorial. El diagnóstico integrado está conformado por tres elementos: 1) plano que da cuenta del modelo territorial actual: que en nuestro caso se base en las unidades territoriales ambientales, el sistema de asentamientos poblacionales con sus jerarquías, la red de comunicación entre ellos; 2) Problemática; y 3) Diagnóstico de Potencialidades.




*Mapa 1. Modelo Territorial Actual (al 2011) del cantón Cuenca.*

***Planificación***

La etapa de Planificación Territorial se inició con la prospectiva del sistema territorial a través de la generación de tres escenarios territoriales: tendencial, óptimo y consensuado, siendo este último el modelo territorial objetivo al 2030, que está conformado por el uso primario del suelo a través de las categorías de ordenación, el sistema de asentamientos poblacionales; y, las infraestructuras de transporte. Una vez determinado el modelo territorial al 2030 del cantón Cuenca, se estableció el sistema de objetivos para cada sistema: medio físico, población y actividades, asentamientos e infraestructura; y, marco legal e institucional; que permitan mejorar el nivel de ingresos económicos, mejorar la calidad de vida; y, garantizar la calidad ambiental.

Para llegar al modelo territorial objetivo al 2030, se trabajó en medidas de regulación y control, de intervención. Estas medidas se hacen operativas a través de los siguientes instrumentos:

Las medidas de regulación, mediante una normativa general y otra particular asociada a una zonificación en categorías de ordenación que guarda íntima relación con la imagen objetivo o modelo territorial a alcanzar.

Las medidas de intervención o acción positiva, mediante programas, subprogramas y proyecto o acciones concretas localizadas en ciertos lugares, según la imagen objetivo.

## RESULTADOS

En la formulación del PDOT de cantón Cuenca se han generado los siguientes productos:

***Documentos***

Tomo I - Diagnóstico Sectorial y Diagnóstico Integrado
Tomo II – Modelo de Desarrollo Estratégico y Ordenamiento Territorial al 2030.

***Medida de Regulación***

Ordenanza de Aprobación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca, sancionada por el Concejo Cantonal el 03.diciembre.2011.

Borrador de Ordenanza que regula el uso y ocupación del suelo en el cantón Cuenca de conformidad con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

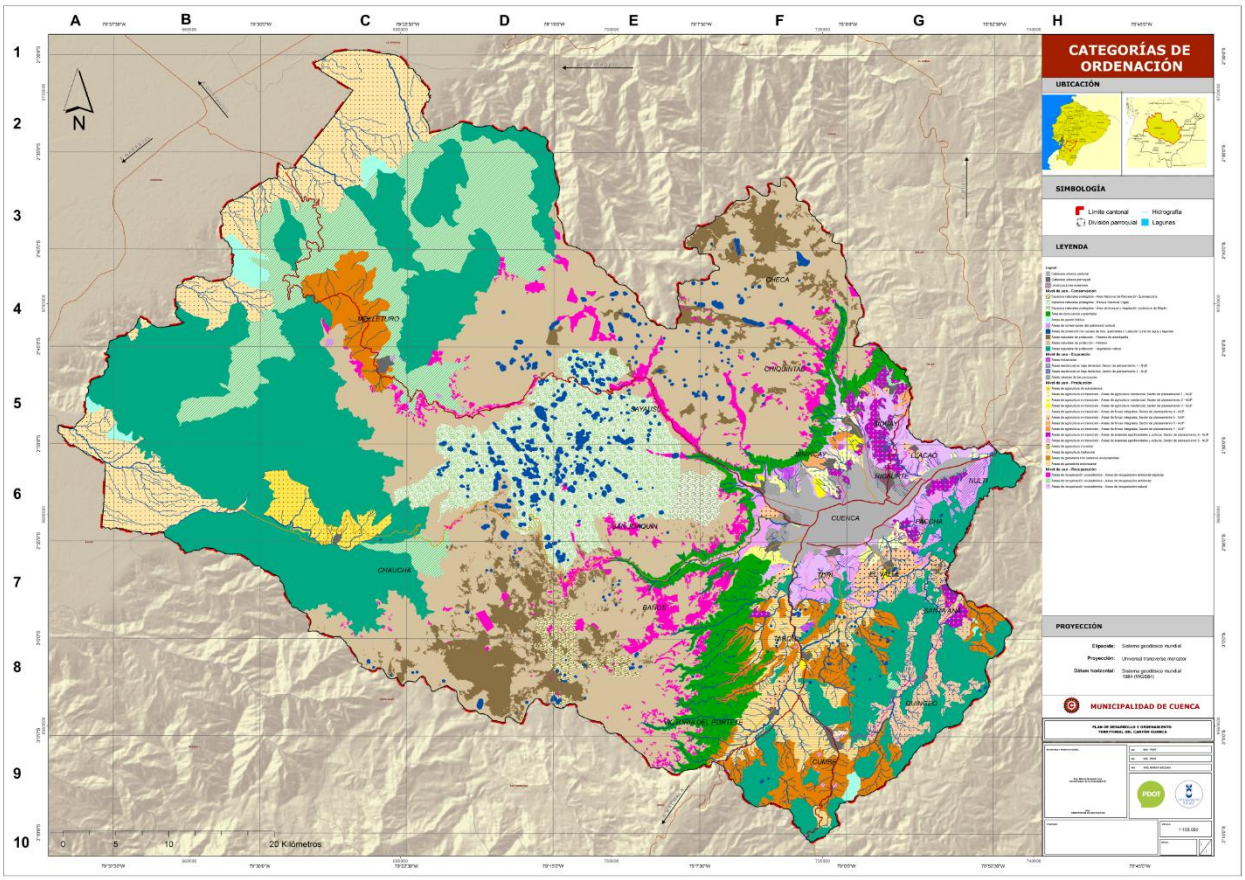
### *Cartografía Digital*

Cartografía digital base oficial del Instituto Geográfico Militar e información temática del cantón Cuenca, en formato SIG a diferentes escalas, y cada archivo contiene su respectivo metadato. La información se encuentra organizada y sistematizada en el sistema de coordenadas geográficas UTM, en el datum: WGS84.

### *Talento Humano*

Personal técnico de la municipalidad capacitado para hacerse cargo del sistema de información geográfica, actualización de información cartográfica, gestión y administración de información; y, en la actualización del diagnóstico y planificación territorial.

Sobre la base del diagnóstico integrado y la construcción de escenarios se elaboró una propuesta de ordenación del territorio partiendo del medio físico, obteniéndose 4 niveles de uso que contiene 31 categorías de ordenación.




*Mapa 2. Categorías de Ordenación.*

## DISCUSIÓN

La formulación del PDOT como instrumento técnico fue elaborada en un plazo de 10 meses. La información que sustenta el PDOT del cantón Cuenca, requiere de permanente actualización por la dinámica propia del espacio territorial frente a las intervenciones humanas, actividades de actualización que deberán ser asumidas por los equipos técnicos de la municipalidad, por tanto es necesario pensar en cómo actualizar los planes de desarrollo y ordenamiento territorial.

### ¿Qué información se dispone para actualizar los PD y OT?

Para formular las actualizaciones de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial se pone en evidencia la pregunta ¿qué información disponemos para actualizar los PD y OT?. Domingo Gómez Orea, en su libro Ordenación Territorial 3ª edición, (2013), indica que se encuentra íntimamente ligado el ámbito del plan con la escala de trabajo y propone los siguientes ámbitos y escalas.

*Tabla 1. Escalas de trabajo según ámbito del plan.*

| Ámbito | Escala |
|---|---|
| Nivel estatal | 1:1´000.000 a 1.100.000 |
| Nivel regional | 1:100.000 a 1:50.000 |
| Nivel subregional (provincial) | 1:50.000 a 1:10.000 |
| Nivel local (municipal) | 1:25.000 a 1: 5.000 |
| Nivel particular (parroquial rural) | 1:5.000 a 1:1.000 |

La información cartográfica disponible para Ecuador se encuentra a través del Sistema Nacional de Información SIN, que tiene publicada en su página web información cartográfica base y temática en formato digital, específicamente en formatos SIG, a diferentes escalas desde 1:1´000.000 hasta 1:50.000 que corresponde a diferentes años de producción, información que cubre los ámbitos desde lo nacional hasta lo provincial. Entonces con qué información se puede actualizar los planes a nivel municipal y parroquial.

El estado ecuatoriano, a través del proyecto SIG Tierras del MAGAP ha contratado la toma de fotografía aérea y la ortofotografía a nivel nacional a escala 1:5.000. Entre los beneficios esperados del proyecto SIGTierras se resalta “Planificar el ordenamiento territorial a nivel parroquial, cantonal, provincial, regional y nacional”. A marzo de 2015 se cuenta con 192.608 km2 registrados en ortofotografía, que representan el 77.60% del Ecuador continental. Fuente www.sigtierras.gob.ec, fecha de consulta 08.marzo.2015.

**Información del proyecto SIGTierras**

La información levantada en el proyecto SIGTierras se realizó en cuatro fases:

- Vuelo fotogramétrico digital (sierra, selva y costa),
- Vuelo con sensor láser (Lidar) del 80 % de la zona de trabajo,
- Trabajos complementarios de campo y aerotriangulación, modelo digital del terreno y de superficie,
- Generación de ortofotografía.

***Foto Aérea***

La foto aérea fue registrada con una escala de vuelo: 1:20.000 con resolución espacial de 30 cm, empleando una cámara digital DMC Z/I Intergraph, con resolución radiométrica 12-bit por canal. Cada imagen se registra en 5 canales espectrales capturados simultáneamente: Pancromático, Rojo, Azul, Verde, IR Cercano. En la Tabla No.2 se indica las bandas registradas en foto aérea.

*Tabla No.2. Resolución espectral de 5 canales registrados en fotografía aérea.*

| Banda | Pancromático | Azul | Verde Azul | Rojo | Infrarrojo Cercano |
|---|---|---|---|---|---|
| Longitud de onda [λ (nm)] | 400 – 800* | 400 – 580 | 500 – 650 | 590 – 675 | 675 – 850 |

* Valores estimados

***Ortofotografía a escala 1:5.000***

A partir de la toma de fotografía aérea a escala 1:20.000 con una GSD (Ground Sample Distance) de 30 cm para la sierra, 40 cm para la costa y 50 cm para el oriente; se generó la ortofotografía a escala 1:5.000.
Las ortofotos que se entrega por parte de SENPLADES a los diferentes niveles de GAD para la actualización de los PD y OT contienen cuatro canales o bandas. Las ortofotos se encuentran en el sistema de referencia SIRGAS 2000, coordenadas UTM ZONA 17 sur. Para el cantón Cuenca se dispone de ortofotografía del 80% de la superficie, debida a la presencia permanente de nubes en la parte baja del cantón.

De la ortofoto se pueden obtener los siguientes productos:

1. Digitalización de elementos geográficos: cuerpos de agua, cursos de agua, construcciones, vías, suelo arado, zonas de cultivos, zona de bosque, suelo descubierto, entre otros.
2. Índices de vegetación: de manera específica se puede obtener el índice de vegetación normalizados NDVI aprovechando que las ortofotos tienen la información en la banda roja e infrarroja.
3. Mapas de cobertura vegetal a partir de clasificación digital.

Considerando que a partir de las ortofotos y del modelo digital del terreno se han obtenido el mapa de cobertura vegetal y el mapa de pendientes respectivamente, se pueden generar unidades territoriales o unidades ambientales para caracterizar y planificar un espacio geográfico.

## CONCLUSIONES

La formulación del PDOT del cantón Cuenca al 2030 ha sido un proceso participativo y cuenta con información actualizada 2010, entre las que se puede destacar:

1. Información cartográfica actualizada al 2010 de cobertura vegetal.
2. Dispone de imágenes de satélite del 2010 de alta resolución espacial de 1m adquiridas por el satélite IKONOS para la ciudad de Cuenca y sus alrededores.
3. A nivel cantonal se adquirió imágenes del sistema satelital RapidEye 2010, con resolución espacial de 5m, insumos que fueron empleados en la generación de las unidades territoriales y como producto derivada se obtuvo las categorías de ordenación del cantón Cuenca.
4. El análisis de población se realizó sobre las bases de datos del censo de población y vivienda del 2010.
5. Se cuenta con un diagnóstico sectorial e integrado que permite conocer el funcionamiento del sistema territorial a nivel de cantón Cuenca.
6. Se dispone de un Modelo de Desarrollo Estratégico y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca (PDOT), que contiene objetivos, planes y programas que se reflejan en las políticas que se llevarán a cabo para la consecución del modelo objetivo al 2030.
7. Cartografía digital base y temática que se encuentra sistematizada y estandarizada, para que sea operada en programas de sistemas de información geográfica SIG comerciales, libres o de código abierto.
8. Se cuenta con la Ordenanza de Aprobación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca, sancionada por el Concejo Cantonal el 03.diciembre.2011.
9. Borrador de Ordenanza que regule el Uso y Ocupación del Suelo en el cantón Cuenca a partir de las categorías de ordenación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este documento queremos dejar constancia de nuestro sincero agradecimiento al equipo de técnicos de la Municipalidad de Cuenca y de la Universidad del Azuay por sus aportes y colaboración en la formulación del PDOT del cantón Cuenca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, 2010. Registro Oficial No. 303. Función Ejecutiva, Presidencia de la República.
2. Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, 2010. Registro Oficial No. 306. Asamblea Nacional.
3. Constitución de la República del Ecuador, 2008. Asamblea Nacional.
4. Delgado O., Editor. 2012. Ordenamiento Territorial. Revista Universidad Verdad. No.57 – Universidad del Azuay, Cuenca – Ecuador.
5. Gómez Orea D., 2013. Ordenación Territorial. 3ra. Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
6. Gómez Orea D., 2010. Evaluación de Impacto Ambiental, reimpresión de la 2da. Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
7. Massiris Cabeza A., 2002. Ordenación del territorio en América Latina. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Vol. VI, núm 125.
8. Municipalidad de Cuenca Administración 2000 – 2004. 2004. Plan Estratégico Cuenca 2020, Cuenca, Ecuador.
9. Secretaría General de Planificación, Administración 2004 – 2009. Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, 2007. Municipalidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
10. Secretaría Nacional de Planificación. 2010. Agenda Zonal para el Buen Vivir: propuesta de Desarrollo y Lineamientos para el Ordenamiento Territorial. Zona de planificación 6. Provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# EL MAPA DE LA COBERTURA DE SUELOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN. ARGENTINA

**del CID, María Concepción**[a]
**Universidad Nacional de San Juan, Argentina**
[a]**(mdelcid@unsj.edu.ar)**

**RESUMEN**
El mapa de la cobertura de suelos permite identificar y analizar los cambios de los usos del suelo, en este caso de una zona que concentra la mayor cantidad de población, las actividades económicas, administrativas y culturales de la provincia de San Juan, el Área Metropolitana; de esta provincia situada al centro-oeste de la República Argentina.

El proceso de urbanización presenta importantes cambios en los usos del suelo; por lo que el mapa resultante permite tener información, a partir de adaptación de la clasificación establecida por Corine Land Cover, sobre la cobertura de suelos del territorio, diferenciando las áreas naturales y antrópicas y su extensión.

La imagen territorial de la cobertura de suelos es un instrumento que contribuye al Ordenamiento Territorial, permite observar y dimensionar la distribución de los usos del suelo; constituyendo un enfoque integral del área de estudio y de este modo, un instrumento que aporte a un desarrollo territorial sostenible, equilibrado y equitativo.

**Palabras claves:** Cobertura de suelos, sistemas de información geográfica, sensores remotos, ordenamiento territorial, desarrollo territorial sustentable.

## INTRODUCCIÓN

Los distintos usos del suelo presentan coberturas o manifestaciones físicas que representan la actividad realizada sobre ese espacio físico. El reconocimiento de esas coberturas y su representación permite armar el mapa de coberturas del suelo.

El objetivo del trabajo es representar el mapa de estas coberturas de suelos del Área Metropolitana de San Juan, Argentina.

Los usos del suelo y, especialmente, conocer su distribución es una base fundamental para la planificación y ordenación del territorio. Los distintos usos reconocen la utilización que los seres humanos hacen del espacio físico que ocupan, muestran una ocupación para uso residencial, comercial, industrial, agrícola, de movilidad, entre las más importantes. También se considera el espacio natural y el reservado porque tiene especies vegetales y/o animales que se deben cuidar; además los espacios ocupados por agua: ríos y lagos.

El desarrollo de las tareas involucra a parte del territorio de la Provincia de San Juan. Ésta se ubica al centro oeste de la República Argentina, como se observa en la Figura 1a. La mayor parte del territorio está surcado por montañas; es una zona desértica surcada por ríos que bajan de la cordillera y que el hombre ha aprovechado para el desarrollo de sus actividades en las zonas más bajas; los oasis. (Figura 1b)

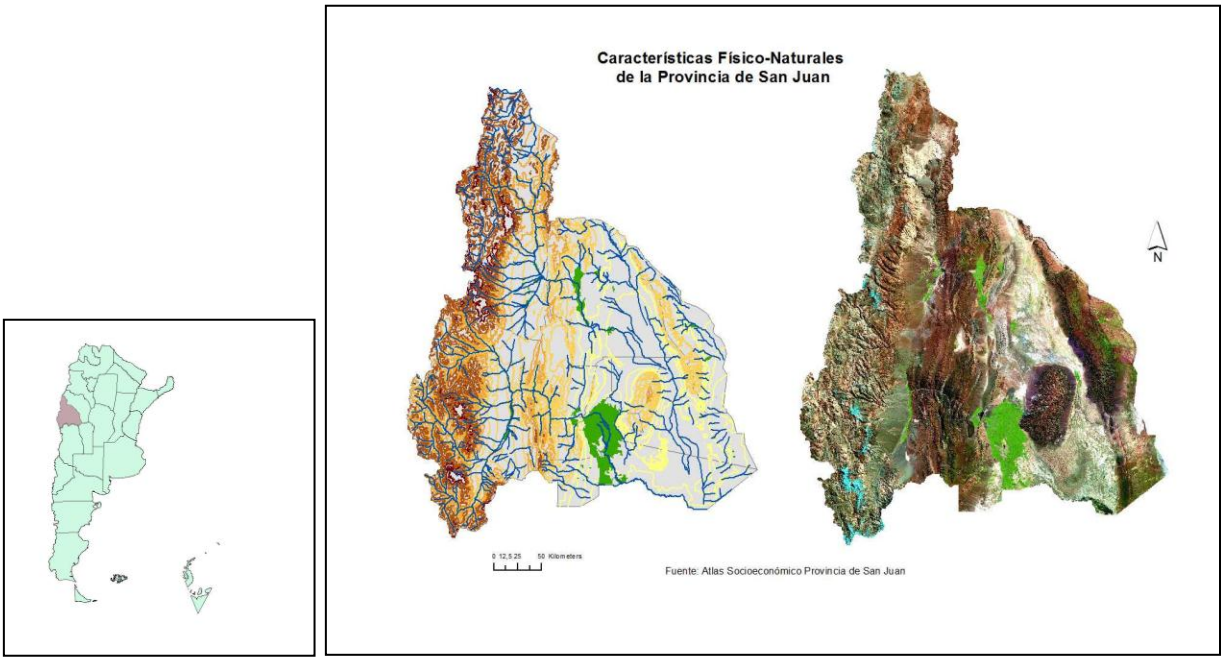



*Figura 1. Localización del área de estudio.*

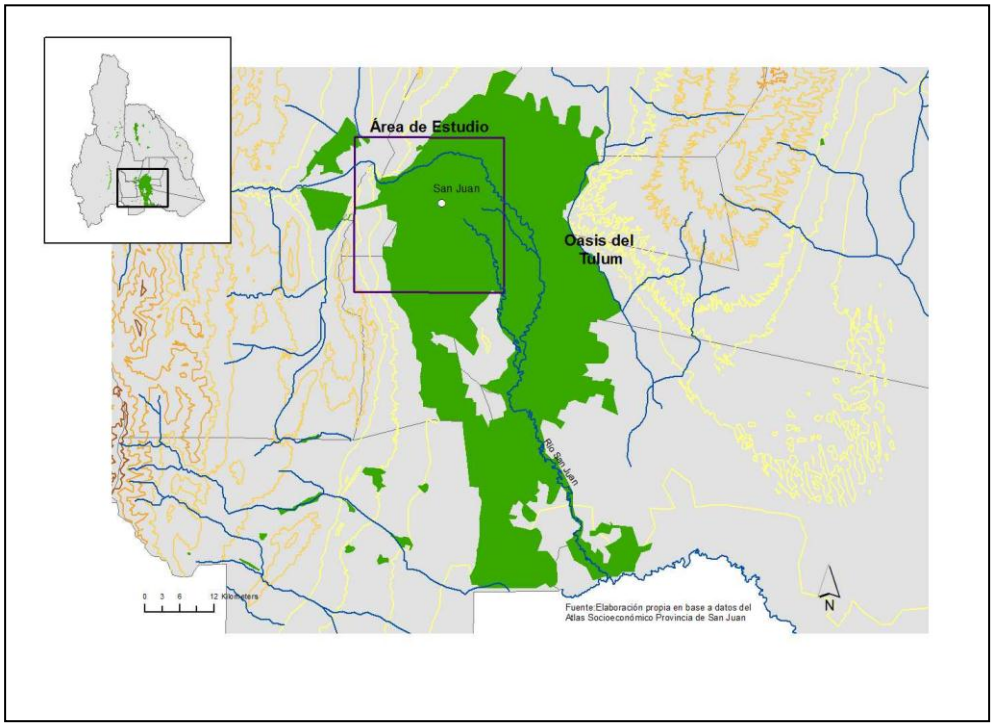



*Figura 2. Oasis del Tulum.*

El Oasis del Tulum surcado por el río San Juan se emplaza en el centro sur del territorio y es donde se asienta la mayor cantidad de la población y sus actividades, donde se encuentra la Ciudad de San Juan, capital provincial, localización que se puede observar en la Figura 2.

El área de aplicación del trabajo comprende a la ciudad Capital provincial y los departamentos de Chimbas al norte; Santa Lucía al este; Rawson y Pocito al sur y Rivadavia al oeste, constituyendo un continuo urbano que compone el Área Metropolitana de la Provincia de San Juan; espacio que concentra la mayor cantidad de población, las actividades comerciales, de servicios, administrativas y culturales de la provincia; presentado en la Figura 3.

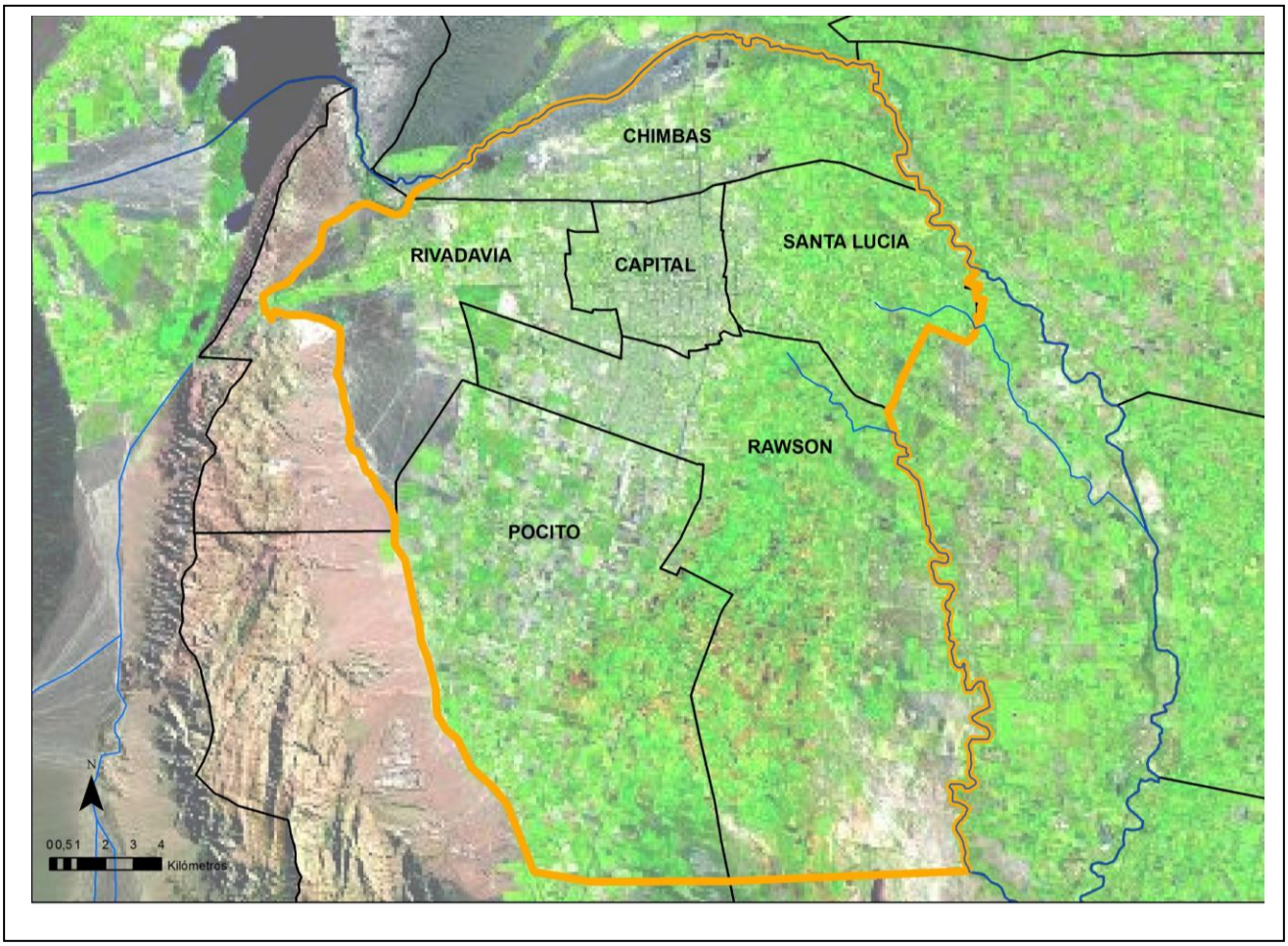



*Figura 3. Área Metropolitana de la Provincia de San Juan.*

Esta área urbana, al igual que otras ciudades argentinas en las últimas décadas, tiene un incremento en su población por lo que requiere espacio de uso residencial, en muchos casos ocupa áreas rurales cambiando el uso del suelo, hay una mayor demanda en cantidad y calidad de servicios, un aumento en la movilidad con mayor usos de infraestructura, se especializan zonas como el caso de los parques industriales, etc.. Para analizar y corroborar esta hipótesis es que el mapa de coberturas de suelo es una herramienta importante y fundamental para identificar localizaciones de usos, cuantificar y estudiar cambios en estas coberturas del suelo.

Esta representación constituye una base fundamental e importante dentro de las etapas de desarrollo de un plan de Ordenamiento Territorial pues aporta al diagnóstico de las características y problemáticas del espacio considerado y, a partir de allí, estudiar pérdidas o ganancias de coberturas y usos del suelo.

Para la clasificación y determinación de las distintas coberturas y luego la construcción del mapa de usos se recurre al estudio de metodologías y nomencladores utilizados y aplicados en otros países. En este caso se adopta y, más especialmente se adapta el del Programa CORINE LAND COVER (CLC) desarrollado por la Unión Europea.

Las coberturas de suelo del CLC se representan a partir de un nomenclador que establece cinco grandes unidades, que son: Territorios artificializados; Bosques y áreas semi-naturales; Áreas húmedas y Superficies de agua. Las clasificaciones y representaciones resultantes abarcan los territorios nacionales y se han implementado para distintos años, con el objeto de analizar los cambios y la posibilidad de comparación entre los países miembros. También se ha aplicado en otros países como el caso de Colombia, que adapta la nomenclatura según sus características ambientales.

La construcción del nomenclador para determinar y seleccionar las coberturas de suelo se ha realizado a partir de adaptar las variables consideradas en el proyecto CORINE Land Cover de la Comunidad Europea y de Colombia, que mejor representen las características del área de estudio. Esto se ha realizado en el proyecto "*Mapa de la cobertura de suelos 2000 y 2010. Aplicación de la clasificación CORINE Land Cover a un área de la provincia de San Juan, a partir del uso de las Tecnologías de Información Geográfica*"[1] que se desarrolla en el Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.

Las unidades de cobertura consideradas se organizan en cuatro Niveles de primer orden, que a su vez se subdividen en niveles de segundo y tercer orden para delimitar y precisar con más detalle cada zona a determinar, y se detallan en la tabla 1.

[1] Equipo de investigación: del CID, María Concepción (director); GARCÉS OLSEN, Guillermo David; HERRERA, Norma; LLOVERAS, Alejandro Emilio; MÁRQUEZ, Eduardo Jaime; MARTÍNEZ CALDERÓ, Norma Amelia; ONTIVERO, Marcela Del Valle; RODRÍGUEZ RONDÓN, Juan Manuel; VELÁZQUEZ NUÑEZ, Silvia Beatriz; VELÁZQUEZ NUÑEZ, Laura Elizabeth

*Tabla 1. Unidades de cobertura consideradas.*

| **Nivel 1** | **Nivel 2** | **Nivel 3** |
|---|---|---|
| 1. TERRITORIOS ARTIFICIALES | 1.1 Zonas urbanizadas | 1.1.1. Tejido urbano continuo<br>1.1.2 Tejido urbano discontinuo |
| | 1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación | 1.2.1 Zonas comerciales o industriales<br>1.2.2 Redes viales<br>1.2.3 Aeropuertos |
| | 1.3. Zonas de extracción minera y escombreras | 1.3.1 Zonas de extracción mineral<br>1.3.2 Zonas de depósito de residuos |
| | 1.4 Zonas verdes artificiales, no agrícolas | 1.4.1 Áreas verdes urbanas<br>1.1.2 Instalaciones recreativas y deportivas |
| 2. ÁREAS AGRÍCOLAS | | |
| 3 ÁREAS NATURALES Y SEMINATURALES | 3.1 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva. | |
| | 3.2 Áreas abiertas sin o con poca vegetación. | 3.2.1 Afloramientos rocosos<br>3.2.2 Planicie fluvial<br>3.2.3 Áreas con vegetación dispersa<br>3.2.4 Zonas quemadas |
| 4 SUPERIFICIES DE AGUA | 4.1 Aguas continentales | 4.1.1 Ríos<br>4.1.2Cuerpos de agua artificiales |

## MATERIALES Y MÉTODO

Los Sensores Remotos constituyen la base de datos imprescindible para las tareas, las imágenes de resolución media existentes permiten tener la imagen global del área de estudio. A esto se suma el soporte de imágenes y fotografías aéreas, que con mayor resolución, brindan más detalle y precisión para la delimitación de áreas. Luego, a partir del uso de distintos softwares de Sistemas de Información Geográfica, se digitalizan y georreferencian las distintas áreas de cobertura de suelos y, como paso final, se realiza la representación.

Esta tarea cuenta con el apoyo de información auxiliar, en formato raster y vectorial, para la precisión y seguridad de las clasificaciones, datos tales como imágenes satelitales de alta resolución, fotografías aéreas, información censal, catastral, de vías de comunicación, de servicio, de equipamiento entre otras.

El análisis socio-espacial exploratorio, a través de la localización, distribución e interacción espacial es el sustento para determinar las distintas coberturas de suelo del área de estudio y que, incluso, permitirán posteriores análisis comparativos y cuantitativos para determinar el crecimiento o contracción de las diferentes áreas.

En este tratamiento Ander-Egg (1995) define un nivel clasificatorio o de clasificación, que es "*cuando los datos y fenómenos se ordenan, disponen o agrupan en clases sobre la base del descubrimiento de propiedades comunes, (...) como intermedio entre la descripción y la explicación, (...) exige un mayor esfuerzo de sistematización, categorización y ordenación*…". (p.62)

En lo vinculado con la tarea de localización, distribución e interacción espacial se recurre a la "cartografía temática" ya que "…*tiene por objetivo la realización de mapas de cualquier tipo de tema que exceda la única representación de los rasgos del terreno, según Fitz (2000)…."* en Buzai y Baxendale (2012b). (p.54)
Como primer paso se estudiaron y analizaron las clasificaciones del nomenclador de Corine Land Cover aplicado a la Unión Europea y a Colombia; para determinar las coberturas aplicables al área de estudio.

La metodología CLC se basa en la digitalización en pantalla de las unidades a partir de imágenes satelitales; la escala de trabajo de la representación es 1:100.000 y se acude a la interpretación y uso de imágenes Landsat ETM; considerando como superficie mínima para la representación 25 has. y 5 has. en los territorios artificiales.

En el caso de este trabajo la escala trabajo es 1:25.000 por lo que se debe considerar un detalle mayor; un área de representación mínima más pequeña que la mencionada; para ello se han considerado en el análisis otras aplicaciones a escala comunal vinculadas al nomencladro CLC; como por ejemplo el caso del proyecto SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España) aplicado a la comunidad autónoma de Andalucía en 2009. Este "…*consiste en la creación de una Base de Referencia que integre la información de las bases de datos de coberturas y usos del suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado, generándose un producto a escala de semidetalle (1:25.000)".* Junta de Andalucía.

También se han estudiado las aplicaciones a escala 1:25.000 que se ha hecho en otros espacios europeos, Arezzo en Italia y Cataluña en España. Para la aplicación del proyecto se ha tomado como referencia el desarrollo de Andalucía ampliamente sistematizado y publicado. Este considera como unidad mínima 1 ha. en el caso de superficies artificiales y de láminas de agua y de 2 has. en las zonas agrícolas, forestales y naturales.

El siguiente paso, a partir del uso de distintos softwares de manejo de imágenes satelitales, se han hecho las correcciones geométricas y radiométricas necesarias para el trabajo con ellas.
Luego, con el apoyo técnico de los Sistemas de Información Geográfica y, a partir del manejo de información georreferenciada tanto en el modelo raster (imágenes satelitales) como en el vectorial, (base parcelaria, cartografía censal, límites urbanos, áreas de las plantas urbanas, red vial, red hídrica, etc.), se van realizado representaciones, de modo de analizar y determinar con precisión cada tema.

Para las tareas específicas de la digitalización en pantalla, además de las imágenes, se recurre a una serie de datos secundarios de fuentes oficiales. Así las capas temáticas consideradas para el análisis son: la base de manzanas, parcelas y edificaciones y los espacios verdes de la Dirección de Catastro y Geodesia, la red vial nacional de la Dirección de Vialidad Nacional; la red vial provincial de la Dirección de Vialidad de la Provincia de San Juan; el límite del área urbana considerada por la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano; entre otras.

El trabajo, actualmente va cumpliendo con la etapa de determinación y delimitación de las distintas coberturas de suelos. Para ello las tareas consisten en delimitar cada cobertura a partir de las imágenes. Además del apoyo de distintos geoprocesos, cruces de variables, etc. entre los diferentes niveles temáticos para precisar los límites, la localización y distribución de los usos del suelo; en función de la adecuación del nomenclador CLC a las características del área de estudio. En la Figura 4, que se presenta a continuación, se muestra una pantalla con un detalle del trabajo.

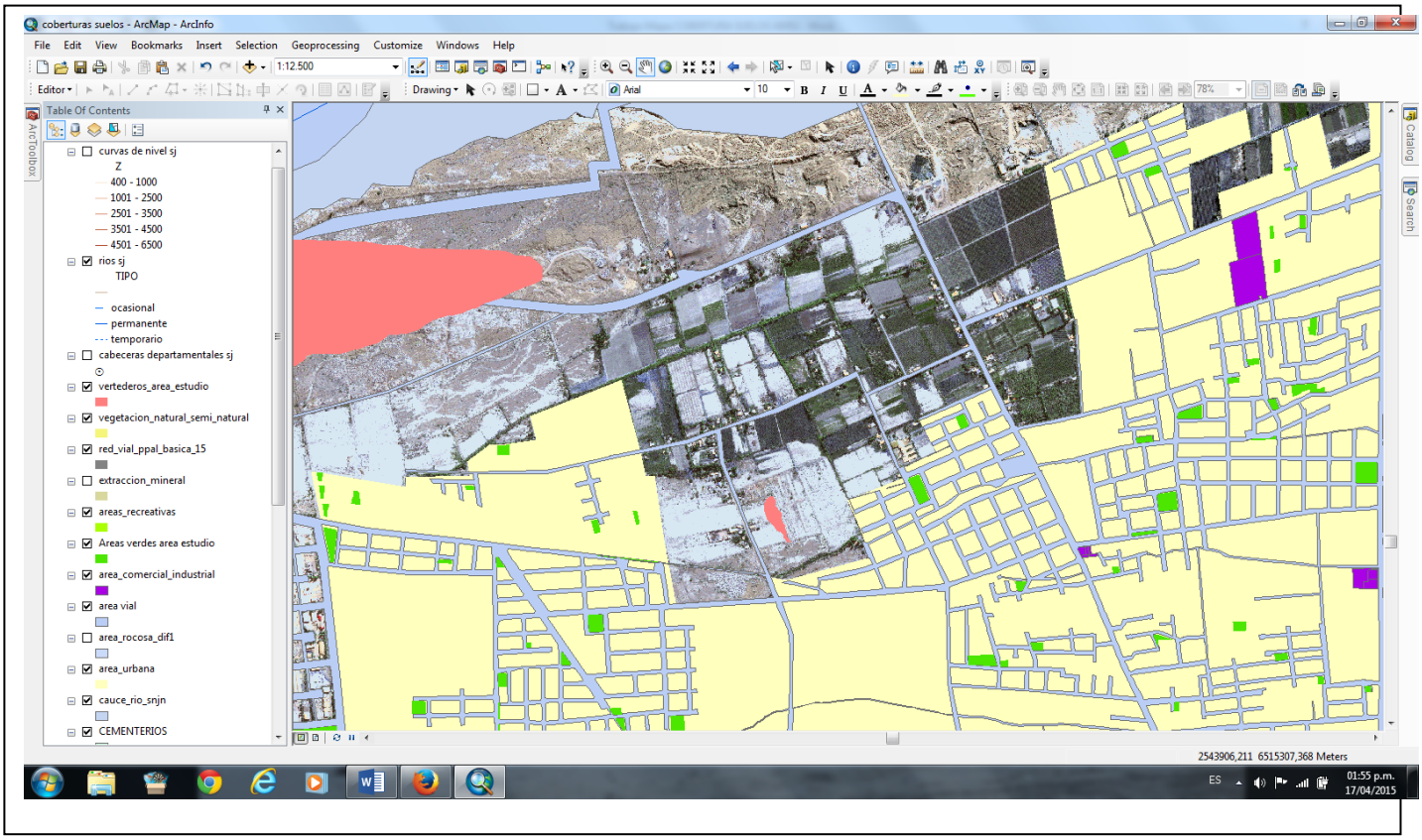



*Figura 4. Determinación y delimitación de las distintas coberturas de suelos.*

## RESULTADOS

Al momento de la redacción de este informe se han digitalizado gran parte de las coberturas de suelo y se están precisando los límites a los efectos de sanear posibles superposiciones.

Luego las distintas variables se representarán a partir de mapas coropléticos, como por ejemplo los límites de las áreas de depósito de escombros, la planta urbana continua y/o discontinua, la distribución de las áreas recreativas, etc..; se relacionan por superposición temática, se delimitarán áreas homogéneas en la consecución de las tareas de delimitación y determinación de las distintas coberturas de suelo, etc..

El resultado final será el mapa, como el que se va construyendo y se muestra en la Figura 5, que represente las coberturas de suelo del área de estudio. Luego este nomenclador y metodología, aplicados a distintos momentos temporales, permitirá construir los mapas de las coberturas de suelo en distintas épocas y así

estudiar y analizar los cambios en las áreas consideradas, permitiendo determinar expansiones o contracciones de las áreas de las coberturas de suelo; es decir el avance de algunas sobre otras, visualizando los cambios.

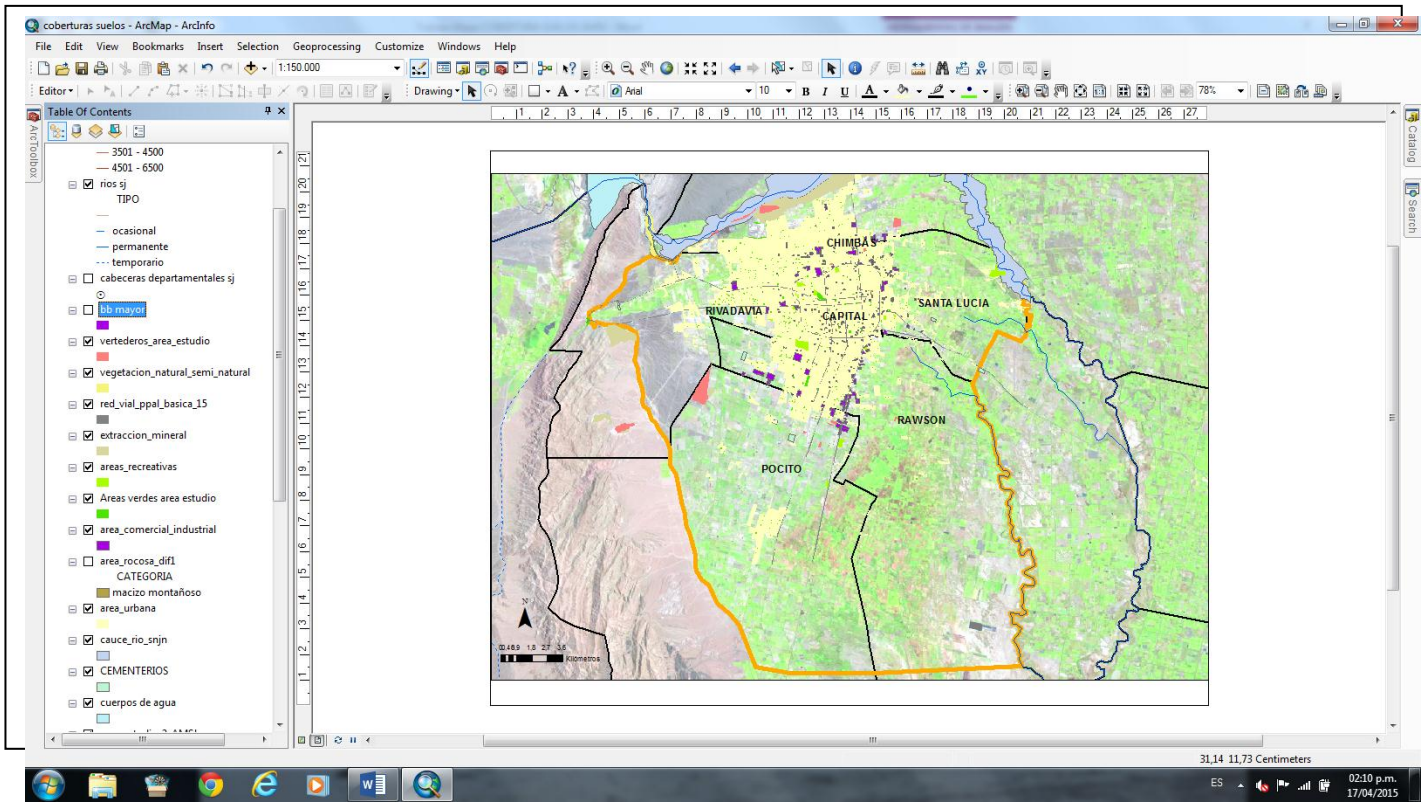



*Figura 5. Coberturas de suelo del área de estudio.*

## DISCUSIÓN

El ordenamiento territorial, en su fase de planificación, requiere de un conocimiento del sistema territorial, específicamente en la etapa del diagnóstico para conocer las condiciones vigentes al momento de la investigación, con sus problemáticas y realidades. Es aquí en que el mapa de coberturas de suelo cumple su rol principal, pues presenta las características y la extensión de cada uno de ellos como apoyo a esta fase que es el sustento para las posteriores propuestas y acciones.

## CONCLUSIÓN

Esta metodología y el establecimiento de un nomenclador útil aplicable a distintas escalas temporales para la zona de estudio, permite tener un seguimiento de los cambios en la cobertura de suelo, y así realizar estudios posteriores.

Cabe destacar la importancia y ventaja de establecer esta nomenclatura de clasificación de coberturas de suelos. Su metodología y estructura jerárquica es conveniente para un modelo que, aunque tiene un nivel de detalle mayor al aplicado en el Proyecto Corine Land Cover; facilita la representación por la simplicidad de establecer un polígono a una cobertura de suelo y la posibilidad de comparación entre éstos a través del tiempo.

En este caso en el proyecto de tesis doctoral "*La dinámica urbana del área metropolitana de San Juan. Un aporte al Ordenamiento Territorial y al Desarrollo Sostenible*"[1], en que se busca hacer un análisis de crecimiento espacial temporal; a partir de matrices de transición analizando los cambios en la cobertura y usos del suelo, definiendo sus pérdidas y sus ganancias a partir del estudio matricial de los datos en diferentes escalas temporales.

El mapa de la cobertura de suelos y el posterior análisis de los cambios de éstos presentará un modelo territorial que permitirá orientar el crecimiento urbano. Este aporte es importante para consensuar estrategias y lineamientos de acción para la planificación del AMSJ.

A partir de los modelos territoriales se podrá guiar los pasos para alcanzar un área metropolitana más equilibrada, integral y funcional, que considere como fundamento básico la preservación de la calidad de vida de sus habitantes y el desarrollo territorial sustentable.

## AGRADECIMIENTOS

Es importante destacar el trabajo del equipo de investigación del proyecto "*Mapa de la cobertura de suelos 2000 y 2010. Aplicación de la clasificación CORINE Land Cover a un área de la provincia de San Juan, a partir del uso de las Tecnologías de Información Geográfica*"[2] que se desarrolla en el Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan; a partir del cual se toma la adaptación realizada del nomenclador y partes de las coberturas de suelo realizadas; puesto que las áreas de estudio difieren en extensión.

[1] Proyecto de tesis doctoral que la autora desarrolla en el Doctorado de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible, en la Universidad Nacional de Cuyo.

[2] Equipo de investigación: del CID, María Concepción (director); GARCÉS OLSEN, Guillermo David; HERRERA, Norma; LLOVERAS, Alejandro Emilio; MÁRQUEZ, Eduardo Jaime; MARTÍNEZ CALDERÓ, Norma Amelia; ONTIVERO, Marcela Del Valle; RODRÍGUEZ RONDÓN, Juan Manuel; VELÁZQUEZ NUÑEZ, Silvia Beatriz; VELÁZQUEZ NUÑEZ, Laura Elizabeth

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. ANDER-EGG, E. (1995). **Técnicas de investigación social** (24ma ed.), Buenos Aires: Lumen.
2. BUZAI, G. y BAXENDALE, C. (2012a). **Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica: Perspectiva científica, temáticas de base raster** (Tomo 1). Buenos Aires: Lugar
3. BUZAI, G. y BAXENDALE, C. (2012b). **Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica: Ordenamiento territorial, temáticas de base vectorial** (Tomo 2). Buenos Aires: Lugar
4. BOSQUE SENDRA, J. (1992). **Sistemas de Información Geográfica**. Madrid: Rialp
5. BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. **Global Mapper v.12**.
6. CHUVIECO, E. (2000). **Fundamentos de Teledetección espacial**. Madrid: Rialp
7. CONAE. (2014). **Banco de imágenes de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales**.
8. ESRI. **ArcGis 10**.
9. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2007). **CLC2006 technical guidelines**. Copenhagen. EEA.
10. FALCUCCI, A.; MAIORANO, L. Y BOITANI, L.. 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. **Landscape Ecol** (2007) 22:617–631.
11. GOBIERNO DE SAN JUAN. Ministerio de Hacienda y Finanzas. Dirección de Geodesia y Catastro. **Base parcelaria catastral 2011**.
12. GOBIERNO DE SAN JUAN. Ministerio de Infraestructura y Tecnología. Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano. **Límite urbano 2006.**
13. GOBIERNO DE SAN JUAN. Ministerio de Infraestructura y Tecnología. Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano. **Límite urbano 2014.**
14. GOBIERNO DE SAN JUAN. Ministerio de Infraestructura y Tecnología. Dirección Provincial de Vialidad. **Red vial provincial**.
15. GÓMEZ OREA, D. (2002) **Ordenación Territorial**. Madrid: Mundi-Prensa y Agrícola Española.
16. JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Medioambiente y Ordenación del Territorio. **SIOSE**. En; http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=fbec73f552215310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnextchannel=637c545f021f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD
17. IDEAM; IGAC y CORMAGDALENA. (2008). **Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena - Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000**. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia
18. MARTÍNEZ DE ANGUITA, P. (coord.). (2006). **Planificación física y Ordenación del territorio**. Madrid. Dykinson SL.

19. PRESIDENCIA DE LA NACIÓN. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Obras Públicas. Dirección Nacional de Vialidad. **Red vial nacional**.
20. RESEARCH SYSTEM INC**. Envi 4.8.**
21. USGS. (2014). **Banco de datos satelitales del Servicio Geológico de EEUU**.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# REGIONALIZACIÓN ACUÍCOLA DEL TERRITORIO URUGUAYO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN SIG–EMC-ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO

**Díaz, Ismael[a]; Mello, Ana Laura[b]; Salhi, María[c]; Achkar, Marcel[d]**

[a] Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del territorio, Facultad de Ciencias – Universidad de la República, Uruguay, idiaz@fcien.edu.uy

[b] Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del territorio, Facultad de Ciencias – Universidad de la República, Uruguay, amello@fcien.edu.uy

[c] Laboratorio de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias – Universidad de la República –Uruguay, msalhi@fcien.edu.uy

[d] Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del territorio, Facultad de Ciencias – Universidad de la República, Uruguay, achkar@fcien.edu.uy

**RESUMEN**

La integración de los Sistemas de Información de Geográfica (SIG) y las Evaluaciones Multicriterio (EMC) presenta un importante potencial para la generación y sistematización de la información necesaria para evaluar la aptitud de uso del suelo. Adicionalmente la estadística espacial se presenta como una herramienta poderosa para el análisis espacial y la definición de unidades territoriales homogéneas, posibilitando de esta manera la definición de regiones de especialización productiva.

El objetivo de este trabajo fue identificar y definir regiones de aptitud para la producción acuícola en Uruguay. Se trabajó en base a 5 sistemas de producción acuícola y con 41 variables, geofísicas, sociales, económicas y productivas. La información fue sistematizada a escala de grilla cuadrada de 1km y luego agrupada a escala de cuenca hidrográfica. La estrategia metodológica integró en primera instancia el desarrollo de un SIG, consultas a expertos y herramientas de EMC. Posteriormente, la información se analizó utilizando autocorrelaciones espaciales (Índice de Moran global) y análisis de agrupamiento.

Se logró identificar la potencialidad del territorio uruguayo para el desarrollo de la producción acuícola para los 5 sistemas analizados. La aptitud acuícola para cada sistema presenta una elevada correlación espacial (I de Moran >0.7) lo cual permitió la identificación y definición de regiones para cada sistema productivo y finalmente una regionalización para el conjunto de la actividad.

La regionalización propuesta se presenta como un insumo de base para la planificación del desarrollo del sector acuícola, así como también para la elaboración de instrumentos de ordenamiento territorial.

**Palabras claves:** SIG, estadística espacial, regionalización, aptitud del suelo

## INTRODUCCIÓN

La evaluación e identificación de aptitud del suelo es una etapa indispensable para la definición del uso del suelo de una región. Esto además es un primer insumo para avanzar en el proceso de regionalización productiva, lo cual se presenta como una instancia básica para la definición de planes de ordenamiento territorial.

La identificación de la potencialidad y aptitud del suelo requiere la consideración de múltiples dimensiones (Rossiter 1996) dado que se encuentran determinadas tanto por factores físico-biológicos, como sociales, económicos y políticos. Es en este sentido que las evaluaciones de aptitud para el desarrollo de una actividad en el territorio se presentan como un proceso multidimensional y complejo.

En este contexto es que la integración de los sistemas de información geográfica (SIG) y la evaluación multicriterio (EMC) se han posicionado como herramientas básicas para las evaluaciones de aptitud del suelo. Por un lado, debido a la potencialidad que presentan los SIG para capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos espacialmente referenciados (Moreno 2007). En adición y en lo que respecta a la aptitud del suelo, los SIG han permitido el procesamiento computacional de criterios de aptitud y selección de sitios (Meaden & Kapetsky, 1991, Kapetsky and Nath, 1997, Arnold et al. 2000).

Paralelamente, las herramientas de EMC ofrecen un marco de análisis para identificar y combinar diferentes criterios en función de objetivos y reglas de decisión. En los casos concretos de mapeo de índices de aptitud del suelo para diferentes usos, estas herramientas facilitan la integración de factores cuantitativos y cualitativos, así como factores físicos, biológicos, o socio-económicos.

La combinación de los SIG y las EMC se han posicionado como las principales herramientas para la modelación y análisis del territorio relacionadas a la evaluación de diferentes alternativas espaciales sobre la base de criterios de aptitud (Jankowski et al 2001; Malczewski 2006).

En general estas herramientas se han combinado en evaluaciones de aptitud para una actividad o un tipo de uso del suelo específico, cuyos resultados avanzan sobre propuestas de delimitación y caracterización de zonas de aptitud. Sin embargo, el proceso de planificación del territorio demanda la necesidad de integrar en la definición de las zonas productivas, la variabilidad y heterogeneidad existente dentro de un mismo rubro productivo, el cual se expresa como el desarrollo de diferentes sistemas de producción en una zona determinada.

Las EMC que presentan como objetivo mapear un índice de aptitud para un área de estudio dada, en general presentan limitaciones en la instancia de generar una regionalización de la aptitud del suelo (Joerin et al, 2001; Nayak et al, 2014). Estas limitaciones se encuentran asociadas principalmente a las dificultades existentes en la instancia de combinación de diferentes tipos o formas en las que se puede desarrollar la actividad. Por este motivo y a pesar de los avances que han posibilitado estas herramientas, la instancia de regionalización productiva requiere auxiliarse de otras técnicas que permitan combinar y espacializar la aptitud que presenta cada uso del suelo, en función de la variabilidad de los diferentes sistemas de productivos.

En este marco, la estadística espacial presenta elevado potencial para contribuir en la identificación de patrones espaciales y en la regionalización productiva. En este campo se presentan diversos métodos, aplicados en numerosos ámbitos y con diferentes resultados (Anselin 1996, Anselin 1998, Assuncao et al 2006, Long et al 2010). Dentro de la estadística multivariada, un método ampliamente utilizado que se destaca es el Análisis de Clusters. Dichos análisis permite encontrar grupos en un conjunto de datos (Kaufman and Rousseeuw 1990) siendo un procedimiento de clasificación que consiste en identificar los clusters naturales en una serie de datos, donde la solución está dada por aquel agrupamiento que minimice las distancias entre los elementos de un grupo (lo más similares posibles), y que las maximice con respecto a otros grupos (sean lo más diferentes posibles). Los análisis de agrupamiento espaciales adicionan a los

métodos clásicos de análisis de agrupamiento, la posibilidad de incorporar la posición geográfica - espacial como una nueva variable para la asignación de restricciones en la definición de agrupamientos. En este sentido es que permite agrupamiento en función de sus atributos y de su localización.

La acuicultura en Uruguay es una actividad marginal y practicada principalmente en zonas continentales. Desde 2002 se ha identificado la necesidad de fortalecer el sector, y se ha desarrollado el Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible. Esta iniciativa identifica la necesidad de avanzar hacia una zonificación de la acuicultura nacional, proceso en el cual se ha avanzado mediante proyecto ejecutado entre DINARA, UDELAR y FAO en 2013. Actualmente Uruguay dispone de una evaluación de aptitud para el desarrollo de acuicultura, según 5 sistemas de producción acuícola (UDELAR- DINARA 2014).

En este trabajo se destaca que gran parte del territorio uruguayo presenta aptitud media o superior para el desarrollo de la acuicultura, y a excepción de las zonas urbana y zonas serranas y de suelos superficiales localizadas en las zonas este y noroeste del país, el resto del territorio en general no presenta restricciones geofísicas para su desarrollo (figura 1). Asimismo, presenta alta aptitud para el desarrollo mediante más de un sistema productico acuícola (UDELAR- DINARA 2014).

Sin embargo dicho antecedente proporciona la evaluación de aptitud acuícola que surge como producto de la combinación de la evaluación individual de cada sistema de producción, por lo cual avanzar hacia la regionalización de la aptitud acuícola es actualmente un desafío vigente.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo fue identificar y definir regiones de aptitud para la producción acuícola en Uruguay, que contribuyan con la definición de planes de ordenamiento para actividad.

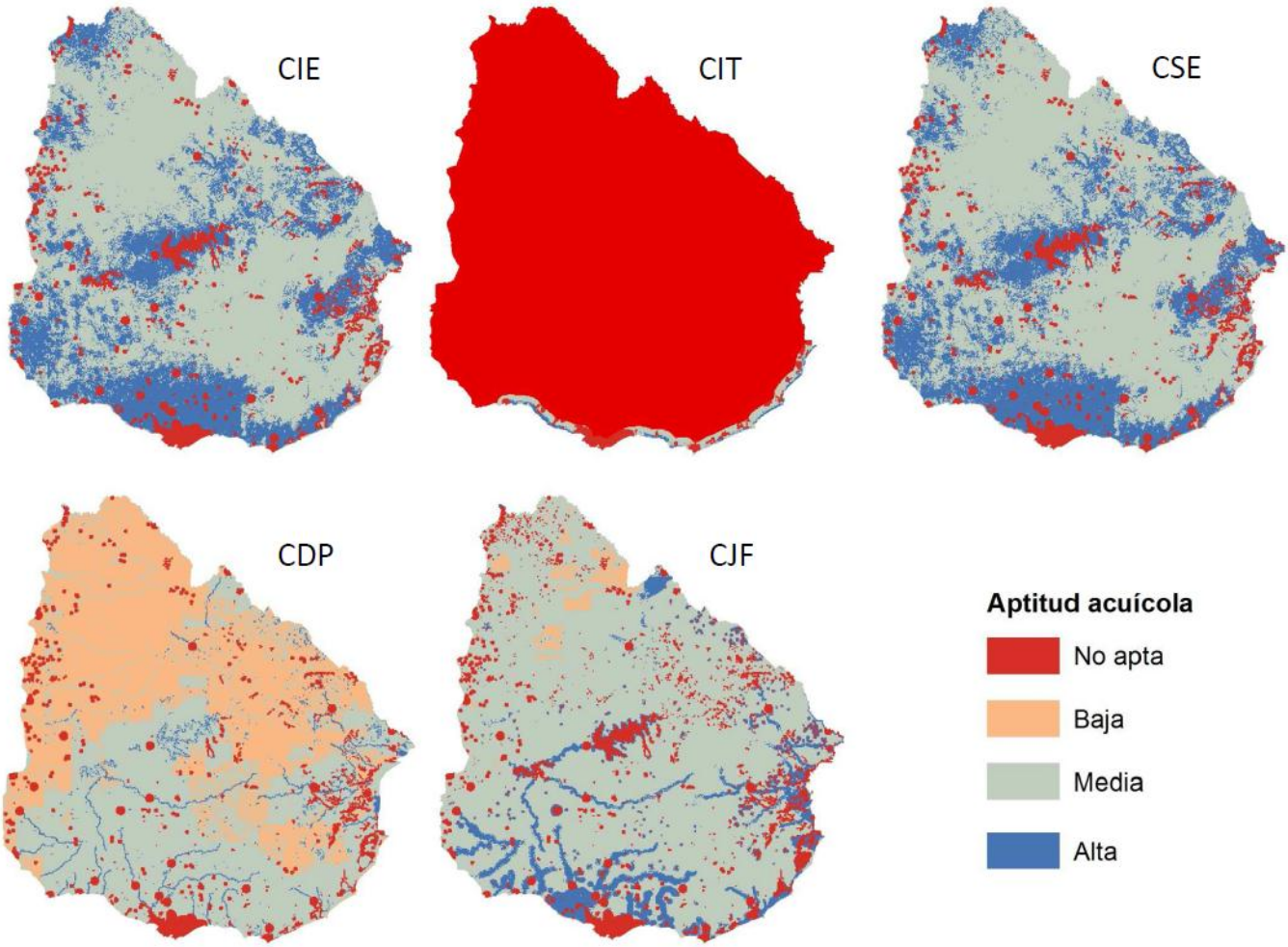



*Figura 1. Aptitud acuícola para las los 5 sistemas de producción considerados (UDELAR- DINARA 2014). Cultivos intensivos en estanques construidos en tierra (CIE), Cultivos semi-intensivos en estanques construidos en tierra (CSE), Cultivos dulceacuícolas en piletas (CDP), Cultivos en jaulas flotantes de agua dulce (CJF), Cultivos marinos o estuarinos en instalaciones en tierra (CIT).*

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La zona de estudio comprendió todo el territorio nacional terrestre de Uruguay (situado entre los 30° 05´ y 34° 58´ de latitud sur y los 53° 11´ y 58° 26´ de longitud oeste). Ocupa una superficie total que supera los 176.000 km$^2$. Su población es de 3.286.314 habitantes, siendo más del 95% población urbana.

El clima es templado, húmedo y ventoso, con pocas variaciones microregionales. La temperatura media anual presenta un leve gradiente descendente de 3°C de occidente (17°C) a oriente (20°C). Las precipitaciones acumuladas anuales varían entre 900 y 1500mm entre el oriente y el occidente del país. Las principales

actividades agropecuarias son la ganadería extensiva, los cultivos de verano (soja y arroz) y la forestación de especies exóticas. La actividad acuícola es marginal dentro del sector pesquero uruguayo y se basa principalmente en producción de especies de agua dulce, mayormente peces.

**Datos y técnicas**

La información utilizada corresponde a la evaluación de aptitud acuícola del territorio uruguayo, para 5 sistemas de producción acuícola (UDELAR- DINARA 2014). Los 5 sistemas de producción analizados fueron:

i. Cultivos intensivos en estanques construidos en tierra (CIE).
ii. Cultivos semi-intensivos estanques construidos en tierra (CSE).
iii. Cultivos dulceacuícolas en piletas (CDP).
iv. Cultivos en jaulas flotantes de agua dulce (CJF).
v. Cultivos marinos o estuarinos en instalaciones en tierra (CIT).

La construcción de la aptitud acuícola se desarrolló en un proceso que integró el relevamiento y sistematización de 41 variables pertenecientes a las dimisiones biofísicas, productivas, económicas y política normativa. Estas variables posteriormente se agruparon en 19 factores los cuales se integraron mediante el desarrollo de un modelo de estructuración jerárquica (Malczewiski 2000). Dicho proceso demandó la integración de consultas a especialistas, el desarrollo de un SIG y EMC.

La información de aptitud acuícola se sistematizó y se referenció en una malla que cubre todo el territorio terrestre uruguayo y que presenta celdas de 1x1km. Posteriormente se agrupó la información según la delimitación de 50 cuencas hidrográficas que abarcan todo el territorio nacional. Se trabajó con los 5 sistemas de producción de forma independiente.

Posteriormente se analizó la existencia de autocorrelaciones espaciales para los 5 sistemas de producción utilizando el Índice de Moran (Moran 1950), y trabajando en todos los casos con método de distancia euclideano y conceptualizando las distancias mediante el inverso de éstas.

Tras constatar la existencia de autocorreleciones espaciales elevadas y significativas estadísticamente, se trabajó con análisis de agrupamiento. En primer lugar se estimó el número óptimo de grupos de acuerdo al pseudo índice estadístico F Calinski-Harabasz. Posteriormente se identificaron los grupos asignando como condición la existencia de contigüidad espacial entre las cuencas. La totalidad de los procesamientos se realizaron utilizando software ArcGis 10.1 (ESRI, 2012).

## RESULTADOS

Mediante análisis de autocorrelación espacial, utilizando el índice global de Moran, se descartó en todos los casos la hipótesis nula. Dicha hipótesis se rechazó en los casos en los que la puntuación z fue mayor a 2.58 (o menor a -2.58) y los valores p fueron inferiores a 0.05, lo cual indica una probabilidad muy baja que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una probabilidad aleatoria. Los análisis realizados arrojaron elevados valores del índice de Moran, entre 0.72 y 0.98, con valores z superiores a 4 y con p valores inferiores a 0.01 en todos los casos, lo cual indica la existencia de una autocorrelación espacial fuerte para los valores de aptitud de la totalidad de los sistemas de producción acuícola considerados (tabla 1).

Dado el alto valor de autocorrelación identificado en la etapa anterior, se procedió a la identificación de grupos mediante análisis de agrupamiento.

Primariamente se estimó el número óptimo de grupos (pseudo índice estadístico F Calinski-Harabasz ). De acuerdo a los valores obtenidos se procedió al agrupamiento de los valores en 6 grupos.

*Tabla 1. Autocorrelación espacial de acuerdo al Índice de Moran para los 5 sistemas productivos acuícolas considerados. Se presenta valor del índice, puntuación z y p valor.*

| Sistema | Índice de Moran | p | z | Observación |
|---|---|---|---|---|
| CIE | 0.98 | <0.01 | >10 | Probabilidad < al 1% que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una probabilidad aleatoria |
| CSE | 0.97 | <0.01 | >10 | Probabilidad < al 1% que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una probabilidad aleatoria |
| CDP | 0.95 | <0.01 | >10 | Probabilidad < al 1% que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una probabilidad aleatoria |
| CJF | 0,89 | <0.01 | >9 | Probabilidad < al 1% que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una probabilidad aleatoria |
| CIT | 0,42 | <0.01 | >4 | Probabilidad < al 1% que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una probabilidad aleatoria |

A partir del diagrama de cajas (figura 2) se desprende que el grupo de cuencas Nº6 (región marrón) presenta los menores valores de aptitud acuícola, presentando para 3 de los 5 sistemas de producción los valores más bajos. Este grupo de cuencas, localizadas la zona norte del litoral oeste del país presenta importantes limitaciones para la producción acuícola ya sea por razones geofísicas (suelos superficiales al este) o por competencia con otros usos del suelo (agricultura intensiva en la zona sur y forestación de especies exóticas en la zona norte).

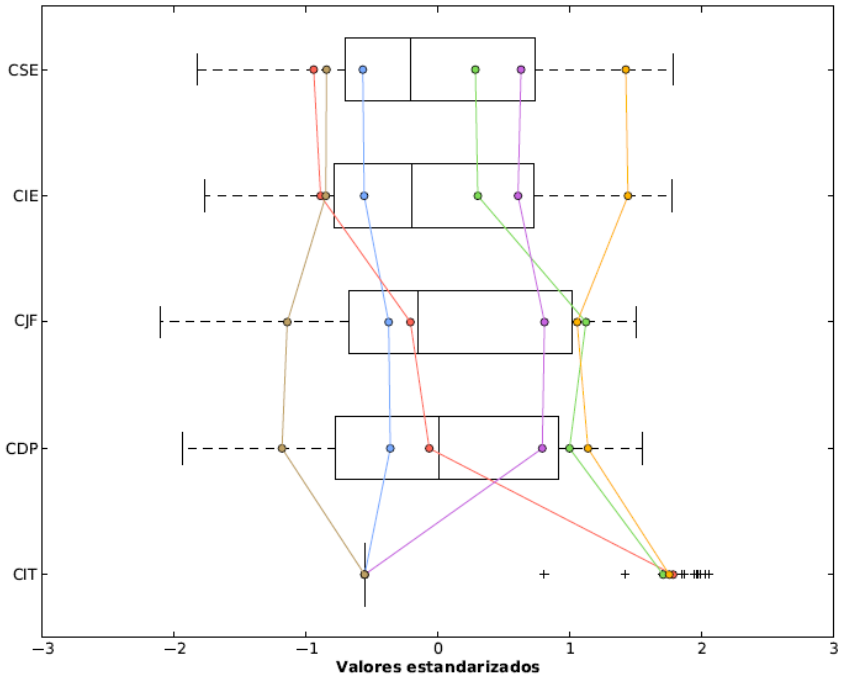



*Figura 2. Diagrama de cajas para las 6 regiones y los 5 sistemas de producción considerados.*

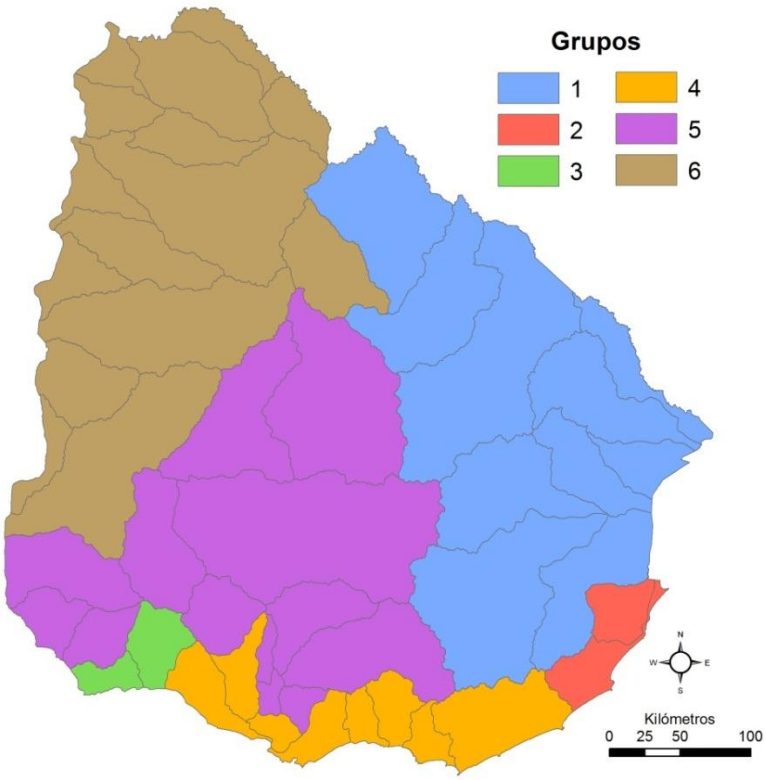



*Figura 3. Regiones acuícolas definidas a partir de los 5 sistemas de producción considerados.*

Este grupo es seguido por el grupo Nº1 (región celeste) que presenta el segundo lugar de valores más bajos en 3 de los 5 sistemas. Estos grupos de cuencas localizadas en la zona este del país presenta importantes superficies de planicies inundables y humedales en la zona este, y zonas serranas en la zona oeste. En adición presenta extensas superficies destinadas al cultivo de arroz, uso del suelo actualmente entendido en Uruguay como competencia con la acuicultura y no como actividades que se puedan integrar.

Posteriormente y con un comportamiento muy similar al grupo Nº1 se encuentra el grupo Nº2 (región roja). Este grupo presenta valores bajos para la construcción de estanques en tierra principalmente debido a condiciones geofísicas, pero por otro lado su cercanía a la costa le brinda la posibilidad del desarrollo de cultivos marinos en instalaciones en tierra, alcanzando los mayores valores en ese sistema.

El grupo Nº3 (región verde) y Nº5 (región violeta) presentan valores medios a altos, y además un comportamiento similar. Su principal diferencia se encuentra en la cercanía a la costa y su posibilidad de desarrollar cultivos estuarinos en instalaciones en tierra. Ambos grupos cuentan con muy buenas condiciones para el desarrollo de la acuicultura.

Finalmente el grupo con mayores valores de aptitud resultó ser el grupo Nº4 (región anaranjada) presentando los mayores valores en 4 de los 5 sistemas. Esta región reúne un conjunto de variables que determinan los valores altos, principalmente condiciones geofísicas apropiadas, cercanía a mercados consumidores, buenas infraestructuras, y además cercanía a la costa.

A partir de los agrupamientos realizados se destacan las regiones Nº 4, 5 y 3, las cuales determinarían las zonas de mayor potencial para el desarrollo de agricultura. Por otro lado las regiones Nº 1, 2 y 6 no determinan un conjunto de cuencas prioritarias, independientemente que presenten zonas con elevado potencial para el desarrollo de algún sistema productivo.

En este sentido se aprecia un claro gradiente de aptitud acuícola de norte a sur en la definición de las regiones de aptitud productiva (figura 4).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se constató una elevada autocorrelación espacial en los valores detectados de aptitud acuícola en el territorio uruguayo. Este resultado era esperado debido a la correlación existente entre los valores de las variables geofísicas consideradas en la elaboración del modelo de aptitud acuícola. Asimismo, existe también una clara correlación entre determinadas variables geofísicas y otras variables sociales y económicas (principalmente

asociadas a infraestructuras). Este escenario redunda en condiciones que determinan las altas autocorrelaciones positivas encontradas para los 5 sistemas considerados.




*Figura 4. Regionalización de la aptitud acuícola para el territorio uruguayo.*

De esta forma es posible la identificación de agrupamientos según los valores de aptitud. La agrupación de cuencas generada diferencia 6 regiones que se vinculan con la distribución espacial de las variables geofísicas, de los principales usos del suelo y de los principales mercados consumidores.

La regionalización refleja claramente la existencia de un gradiente espacial de aptitud de norte a sur, generado a partir de la combinación de diversas variables, dónde se destacan, mayor aptitud edáfica, usos del suelo que generan menor compencia por el uso del agua, presencia de un mayor mercado laboral y consumidor, cercanía a puertos y presencia de puertos pesqueros artesanales.

En este sentido se detectó que la concentración de las zonas con elevado potencial acuícola se encuentran asociadas a zonas con importante concentración de otras actividades económica (industrial, servicios y

turística). En este contexto el potencial acuícola en el escenario económico y territorial actual de Uruguay, se vincula en mayor medida a la diversificación de zonas de gran actividad, que a la generación de alternativas en las zonas de menor desarrollo del país.

Esta regionalización recoge los supuestos adoptados en la etapa de evaluación de aptitud acuícola. En esta etapa no se consideró la presencia de mercados consumidores en países fronterizos y tampoco sistemas de producción no utilizados en Uruguay. Estos supuestos podrían presentar variaciones en el corto y mediano plazo, lo cual demandaría una actualización en los valores de aptitud a escala nacional y por tanto en la regionalización realizada.

La agrupación se presenta como un primer paso para la caracterización de la distribución espacial de la acuicultura en Uruguay, y una primera regionalización a escala de cuencas hidrográfica del potencial acuícola del país. La regionalización identificada junto al importante nivel de detalle de la información constituye una herramienta con alto potencial para el apoyo a la toma de decisiones en el proceso de planificación de usos del suelo en Uruguay.

Sin perjuicio de lo anterior, y pese a aportar información de jerarquía para obtener una visión global e integral de la aptitud a nivel nacional, la escala utilizada impide considerar importantes zonas de aptitud acuícola localizadas en cuencas con valores medios o bajos. En este sentido abordajes que incrementen la escala y trabajen al interior de cada cuenca, se presenta como un paso necesario para abordar consecutivamente al análisis a escala de cuenca. Esta integración de abordajes permitirá avanzar hacia niveles superiores de detalles y considerar zonas de alto potencial en cuencas con potencial medio o bajo.

En este sentido y posteriormente a la definición de una regionalización de carácter nacional, sería necesario avanzar incrementando la escala de análisis, procesando la información a nivel intra cuenca hidrográfica. En este proceso, análisis de agrupamiento como ser el Análisis de Clusters mediante el Indice de Anselin, se presenta como un test de elevado potencial para la identificación de zonas de alto potencial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anselin, L.; Bera, A. 1998. Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. In Ullah, A. and Giles, D. E. Editors, Handbook of Applied Econometrics, pp. 237-289, Marcel Dekker, New York.
2. Anselin, L. 1996. Local Indicators of Spatial Association- LISA, Geographical Analysis 27, 93-115.

3. Arnold, W.S., White, M.W., Norris, H. A., and Berrigan, M.E. 2000. Hard clam (Mercenaria spp.) aquaculture in Florida, USA: geographic information system applications to lease site selection. Aquacultural Engineering, 23, 203- 231.
4. Assuncao R., Neves, C., Da Costa C. 2009. Efficient Regionalization Techniques for Socio-Economic Geographical Units Using Minimum Spanning Trees. International Journal of Geographical Information Science, 7(20),797-811.
5. ESRI. 2012. Enviromental Systems Research Institute. ArcGIS 10.1. Version 10.1. Copyright ESRI Inc.
6. Jankowski, P., Andrienko, N., and Andrienko, G. 2001. Map-centred exploratory approach to multiple criteria spatial decision making. International Journal of Geographical Information Science, 15 (2), 101-127.
7. Joerin, F., Thériault, M., and Musy, A. 2001. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. International Journal of Geographical Information Science, 15 (2), 153-174.
8. Kapetsky, J.M. and Nath, S.S. 1997. A strategic assessment of the potential for freshwater fish farming in Latin America. COPESCAL Technical Paper. No. 10. Rome, FAO. Retrieved from http://www.fao.org/docrep/005/W5268E/W5268E00.HTM
9. Kaufman L, Rousseeuw PJ (1990) Finding groups in data. John Wiley and Sons, New York, 342 pp.
10. Long, J. A., Nelson T. A., and Wulder M. A. 2010. Regionalization of landscape pattern indices using multivariate cluster analysis. Environmental Management. 46(1). 134-142.
11. Malczewski, J. 2000. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. Transactions in GIS, 4(1), 5-22.
12. Malczewski, J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, 20 (7), 703-726.
13. Meaden, G.J. and Kapetsky, J.M. 1991. Geographical information systems and remote sensing in inland fisheries and aquaculture. Fisheries Technical Paper No. 318. Rome, FAO.
14. Moran, P. 1950. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. Biometrika. 37, 17–33.
15. Nayak, A. K., Pant, D., Kumar, P., Mahanta, P.C., and Pandey, N.N. 2014. GIS-based aquaculture site suitability study using multi-criteria evaluation approach. Indian Journal of Fisheries 61(1), 108- 112.
16. Moreno, A. 2007. Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. Madrid. 940pp.
17. Rossiter, D.G. 1996. A theoretical framework for land evaluation. Geoderma. 72, 165-202.
18. UDELAR-DINARA 2014. Elaboración de una Zonificación Acuícola Nacional (ZAN) para todo el territorio de Uruguay. Acuerdo DINARA-UDELAR-FAO. LDSGAT-FCIEN. 41pp.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# ANÁLISIS ESPACIAL DE REDES SOCIALES

**Rojas, Carolina[ac]; Carrasco, Juan[bc]; Pérez, Fabián[d]; Araneda, Gerson[e]; Lima, Claudia[f]**

[a] Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Chile, (crojasq@udec.cl)

[b] Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile (j.carrasco@udec.cl)

[c] Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS

[d] Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Chile, (faperezp@udec.cl)

[e]Magíster Análisis Geográfico, Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Chile, (garaneda@udec.cl)

[f]Departamento de Urbanismo, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Chile, (cgarcia@udec.cl)

**RESUMEN**

Los sistemas de información geográfica SIG durante los últimos 20 años han demostrado ampliamente su aplicabilidad en el análisis espacial del transporte y la movilidad, principalmente por medio de unidades de usos del suelo, análisis de redes, áreas de influencia e indicadores de accesibilidad, sin embargo aún son muy escasas las aplicaciones en la modelización de datos geográficos de movilidad de los individuos y sus contactos en relación a sus hogares, viajes y entorno urbano. La presente contribución tiene como finalidad mostrar la aplicabilidad de los SIG en estudios de transporte y movilidad, desde el comportamiento de las redes sociales en barrios de altos y bajos ingresos, situados en la ciudad de Concepción (Chile). Estos individuos poseen diferentes atributos espaciales en la utilización de su entorno y red de transporte, por tanto por medio de este enfoque, se puede comprender la distribución geográfica de las redes, a través de indicadores espaciales como: la distancia entre hogares de sus contactos, distancia a los lugares de trabajo, tamaños de las redes personales, lugares de actividad más frecuente, lugar de interacción más frecuente, uso del tiempo, dimensiones del entorno urbano entre otros. A través de estos indicadores espaciales comprendemos si los individuos están o no inhabilitados por las oportunidades del transporte para participar en actividades diarias, revelando algunos aspectos de segregación espacial y exclusión social.

**Palabras claves:** Redes Sociales, Movilidad, Sistemas de Información Geográfica, Indicadores

## INTRODUCCIÓN

La ciudad es el espacio que reúne a las personas y en donde se desarrolla la vida social, para lo cual los ciudadanos necesitan de la interacción cara a cara, e intercambio de recursos (capital social). La movilidad es relevante a la hora de poder concretar las interacciones cara a cara; sin embargo, por desventajas del transporte, no todas las personas logran satisfacer esta necesidad de interacción social y desarrollo del capital social, encontrándose en muchos casos en situación de exclusión, cuyo resultado tiende a disminuir su bienestar.

El Análisis de Redes Sociales puede ser utilizado como un método para ayudar a comprender el comportamiento social y los viajes sociales consecuentes. De esta forma, las motivaciones personales se conceptualizan como el reflejo de la movilidad urbana de las personas, ya que gran parte de los viajes tienen una motivación personal para interactuar con otros (Axhausen 2005). El estudio de las redes sociales permite analizar la movilidad de las personas y las oportunidades y restricciones que estas tienen para satisfacer sus necesidades personales de interacción social, pues gran parte de los viajes diarios tienen una motivación personal para interactuar con otros (Axhausen, 2005).

La presente investigación tiene como objetivo analizar espacialmente las redes sociales en cuatro barrios de distintos grupos socioeconómicos y distancias hacia el centro de de Concepción, mediante indicadores en Sistemas de Información Geográfica, con el fin de conocer los lugares de interacción más frecuente de estas redes personales y estudiar los niveles de segregación y diferencia en los patrones espaciales entre distintos grupos socioeconómicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se analizan cuatro Barrios de Concepción: Agüita de la Perdiz, Barrio La Virgen – Universitario, Santa Sabina y Lomas de San Sebastián y San Andrés (Figura 1).

Agüita la Perdiz (AP)

El barrio se origina a partir de una toma de terreno por procesos migratorios regionales del año 1958. Se extiende sobre las faldas del Cerro Caracol, condición geográfica que ha dificultado la accesibilidad a las viviendas, y la implementación de obras de urbanización. El Barrio se considera cohesionado socialmente, cercano al centro de Concepción, a equipamientos de comercio, servicios, y salud y educación; entre otros, la Universidad de Concepción y el Hospital Regional Guillermo Grant Benavente (Lima *et al.*, 2014).

La Virgen (LV) y Barrio Universitario (BU)

Ambos surgen por la demanda de viviendas para un creciente número de profesionales del sector industrial. LV se desarrolló en las faldas del cerro del mismo nombre hacia el sector nororiente del casco urbano central, y BU a partir de la extensión del tejido urbano del casco central que gradualmente se adapta orgánicamente a las faldas del Cerro Caracol. La cercanía entre ambos sectores es de aproximadamente 600 metros entre sus bordes de acceso. La distancia entre estos sectores y la Plaza de Armas de la comuna es de cerca de 1,5 km, poseen accesibilidad a equipamientos de comercio, servicio, salud y educación, además de contar con una buena oferta de transporte público en calles que bordean el sector (Lima *et al.*, 2014).

Santa Sabina (SS)

Barrio que surge a partir de la ocupación de terrenos agrícolas que conformaban el sector periférico de la ciudad, se genera a través de seis cooperativas, creadas el año 1969. El asentamiento se desarrolló en un territorio de topografía irregular, cuyo paisaje se desenvuelve a través de colinas y cerros. La localización del sector se distancia del principal centro de comercio y de servicios de la comuna de la ciudad a aproximadamente 4,5 km hasta la Plaza de Armas de Concepción. El sector cuenta con una buena oferta de transporte público, con diversas líneas de taxi-buses y taxi-colectivos hacia el centro de la ciudad (Lima *et al.*, 2014).

Lomas de San Sebastián (LSS) y Lomas de San Andrés (LSA)

El sector de LSA surge por recientes desarrollo inmobiliario a partir de la decada del 80. Se caracteriza por viviendas de ingresos alto y medio-alto, distribuidas en cerros y colinas, se encuentra cercano a infraestructura vial quee permite conectar con la ciudad de Concepción y alrededores. El sector de LSS, en cambio, es un sector de vegas y plano, cuyo desarrollo se inicia a partir de los año 90, caracterizado por condominios de viviendas cerrados. La distancia entre estos dos sectores es de aproximadamente 1,5 km, distando aproximadamente 4 km y 6 km del centro comercial de Concepción. La oferta de transporte público es inferior a la encontrada en los demás sectores, destacándose los taxi-colectivos como principal modo (Lima *et al.*, 2014).

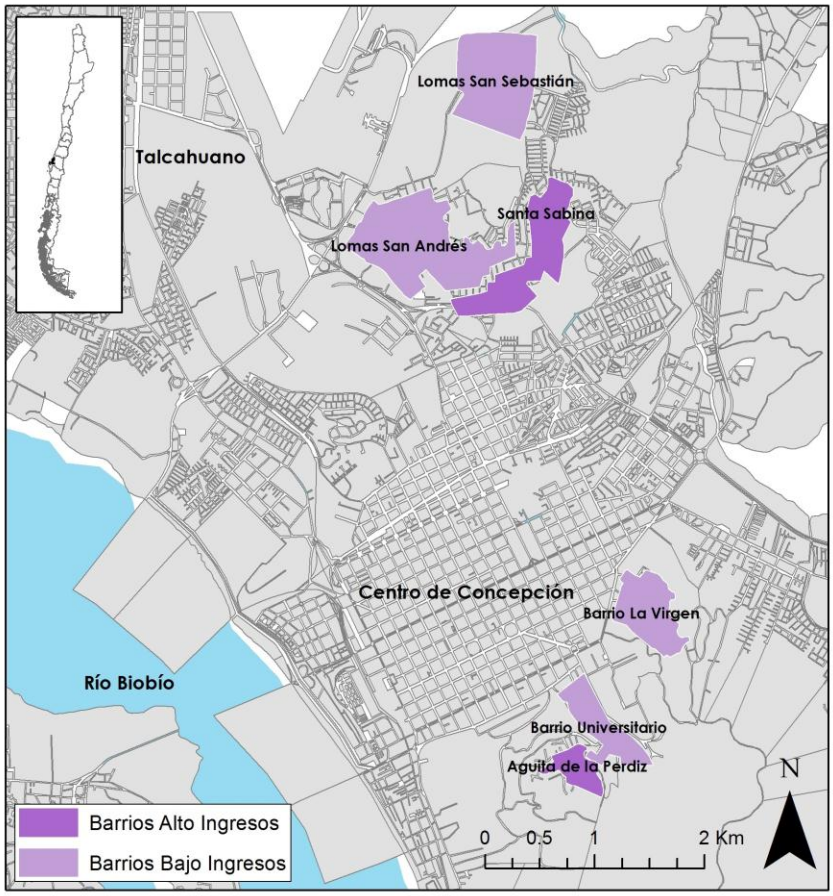



*Figura 1. Barrios Ciudad de Concepción.*

**Fuente de datos**

Los datos para los cuatro barrios fueron recolectados mediante encuestas a 241 individuos realizadas en el año 2012. Los encuestados se distribuyen por barrios AP (n= 60), SS – (n=60), BU/LV (n= 61), y LSS/LSA (n=60) (Figura 2). La encuesta es un generador de nombres, que identifica los vínculos sociales fuertes que tiene cada entrevistado o también llamado "ego" con sus respectivos "alters" (persona que el ego menciona). De egos y alters la encuesta captura información de localización del hogar, socio-demográfica, socioeconómicas, edad, posesión de vehículo, años de residencia, modos de transporte, frecuencia de interacción con el ego de tipo presencial, o por otros medios de comunicación.

**Técnicas**

Se diseñan cinco indicadores para el análisis espacial de las redes sociales, estos son: Distancia media entre hogares, *Hot Spost*, Elipse de Confianza, Distancia Estandar y Densidades *Kernel*. Todos fueron modelados en el software ArcGIS 10.x.

**Distancia media entre hogares:** Mide distancia lineal entre los hogares, del ego (origen) y sus respectivos alters (destinos), formando una red de distribución que permite visualizar los vínculos de cada ego. El método mide la distancia entre dos puntos o más puntos medidos en kilómetros, por ejemplo entre hogares, trabajo –hogar, etc. Se utilizan las herramientas "*Near*" (punto más cercano) y "*Point distance*" (distancias entre mútiples puntos).

**Hot spots:** Mide los *host spot* estadísticamente significativos mediante la estadística *Gi* de Getis-Ord*". El *hot spot* dependerá de un valor alto y estar rodeado por otras entidades con valores altos, entonces la suma local para una entidad y sus vecinos se compara proporcionalmente con la suma de todas las entidades. El cálculo se realiza mediante una grilla de 100 x 100 metros, mediante "*Spatial Join*", se une espacialmente la base de datos georreferenciada de las localizaciones de actividades sociales, es decir, el lugar de interacción más frecuente, el uso de tiempo y el hogar del alter. Posteriomente se aplica un análisis estadístico de *hot spot* en base a los puntos que caen en cada cuadrícula.

**Elipse de confianza:** Mide la distribución geográfica del espacio potencial en donde se mueven los egos. La elipse de confianza es una forma de medir la tendencia de un conjunto de puntos o áreas, calcula la distancia estándar por separado en las direcciones x e y. En la investigación se utiliza una desviación estándar que abarca aproximadamente el 68% de todos los puntos localizados en el espacio, se mide la tendencia central, dispersión y tendencias direccionales.

**Distancia estándar:** Mide el grado en el que se concentran o dispersan las entidades alrededor del centro medio, permite ver que tan concentrados o dispersos se encuentran los alters en el espacio. Se utiliza una desviación estándar del 68% de los datos. El cálculo se basa en la distancia desde el centro medio de la distribución de los puntos, en este caso los alters. Esto permite tener una visión sobre qué tan compacta o dispersa es la distribución de los puntos, ya que gráficamente es un cículo, la distancia estándar es el radio del círculo.

**Densidades Kernel:** El indicador calcula la densidad de las entidades en la vecindad de esas entidades de puntos. La densidad se basa en cálculo de la probabilidad de que un punto, este situado en una ubicación específica del espacio (Bustos *et al*., 2012), se define una función de densidad que transforma los puntos discretos en donde se localizan las actividades en una función continua (raster). El valor de la superficie de densidad es más alto cuando está sobre el punto, pero tiende a disminuir progresivamente a medida que se aleja de éste.

El valor de densidad *Kernel* será igual a la sumatoria de todas las superficies calculadas para cada punto. Mientras más puntos estén ubicados dentro del radio de búsqueda, mayores serán los valores del raster Kernel resultante. El radio de búsqueda se calculó según promedio de distancia media entre el hogar del ego y el alter, es decir el promedio de distancia entre los cuatro barrios, será utilizado como referencia de distancia máxima que recorre una persona, es decir 5km. Se utiliza una celda de 30m.

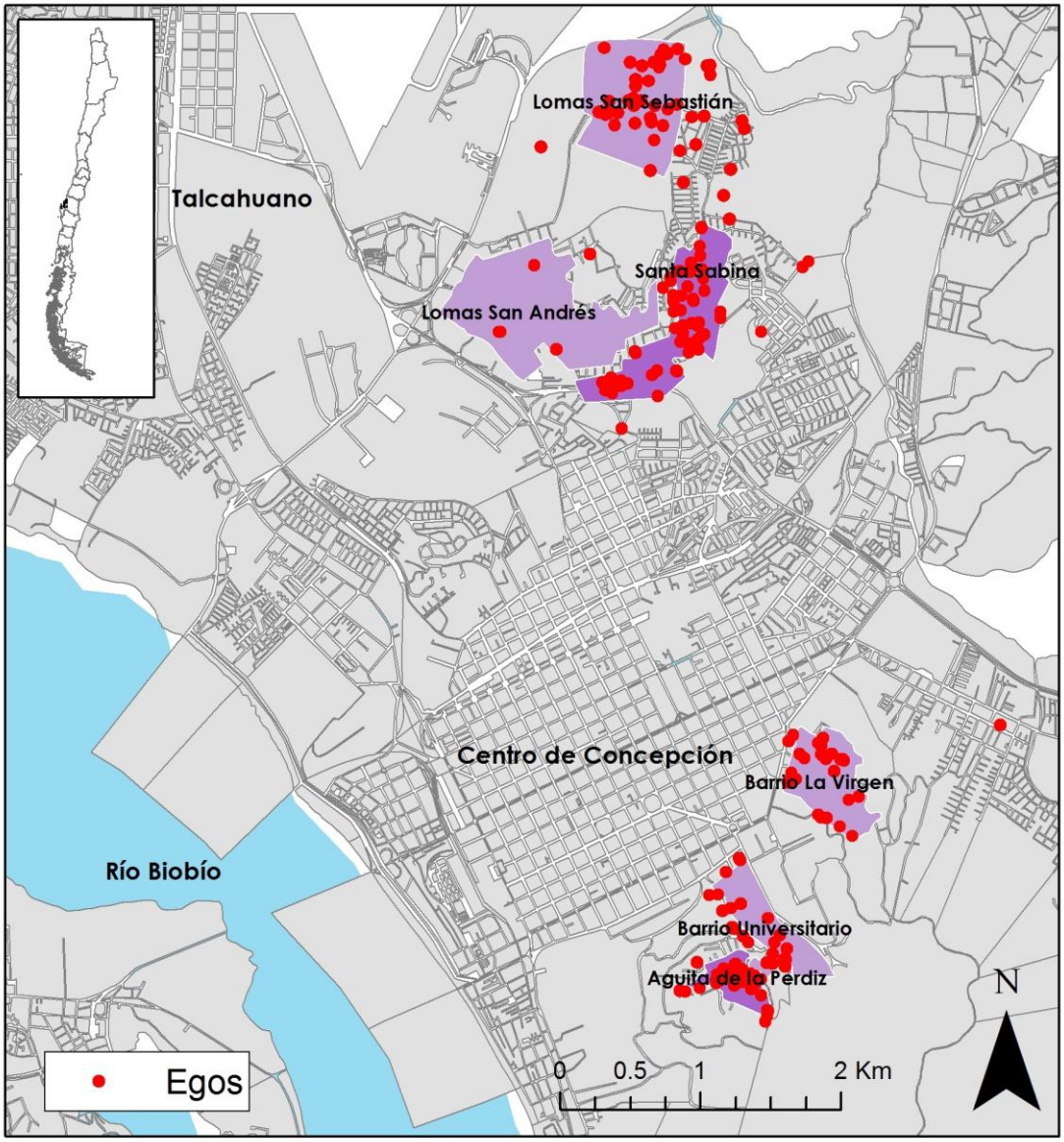



*Figura 2. Egos Barrios Ciudad de Concepción.*

## RESULTADOS

Los resultados demuestran que el hogar es el principal receptor de actividades sociales, sobre un 70% en los cuatro barrios; por tanto, los lugares de interacción frecuente, se localizan en los barrios. Lo anterior incluye la categoría "otros", que incluye el propio hogar del ego, así como también el hogar de otros familiares o amigos como punto de encuentro intermediario (como el hogar de la madre). El espacio público cerrado promedia el 13%, seguido del lugar de trabajo con un 10% y el espacio público abierto un 8%.

Los resultados *de hot spots* fuera del barrio tienen características distintas (micro áreas) relacionadas con la localización y diferencias sociales entre los barrios. Por ejemplo, para el Barrio La Virgen los lugares se concentran en el sector de Plaza Perú y la Universidad de Concepción, en donde el espacio público abierto y cerrado, ocupan un 57% de las preferencias y el hogar solo un 9%; además las relaciones que ahí se desarrollan son de amigos, cuyo rol suele ser de socialización y confidencia, seguido de trabajo/estudio, ligados a la Universidad de Concepción (Figura 3). Otra zona que concentra gran cantidad de puntos de interacción es el sector centro de Concepción, este es fundamental para el barrio La Virgen, Santa Sabina y San Sebastián, siendo el espacio público abierto el predominante. Los barrios distantes al centro de Concepción en este caso Sta. Sabina y San Sebastián, requieren de un mayor desplazamiento al sector centro, y concretar las actividades cotidianas, por ende existe una posibilidad de que la elección del lugar de interacción se vea influenciado por el desplazamiento constante al centro de Concepción, el cual consta de equipamiento, comercio y servicios, siendo factible el efectuar actividades sociales dentro del mismo sector, producto de la lejanía con los barrios de residencia.

Los desplazamientos de Agüita de la Perdiz, presentan las distancias medias inferiores (entre hogares, lugar de trabajo, lugar de interacción frecuente). El modo de desplazamiento caminata representa el 20% de los casos y el 50% utiliza el transporte público. El Barrio La Virgen/Universitario, utiliza en menor medida el transporte público, privilegiando el transporte privado, la tenencia de automóvil otorga la posibilidad de una movilidad al Barrio La Virgen con resultados de distancias símiles a Sta. Sabina, el medio de transporte marca una diferencias sustancial, este último sector utiliza en casi un 60% el transporte público a diferencia de La Virgen con solo 27%.

Lomas de San Sebastián/San Andrés, barrios contiguos a Sta. Sabina, son los que presentan las distancias medias superiores y el modo de transporte más utilizado es el automóvil con un 64% de los casos. En comparación a Sta. Sabina, que utiliza el trasporte público a pesar de pertenecer a un área geográfica cercana.

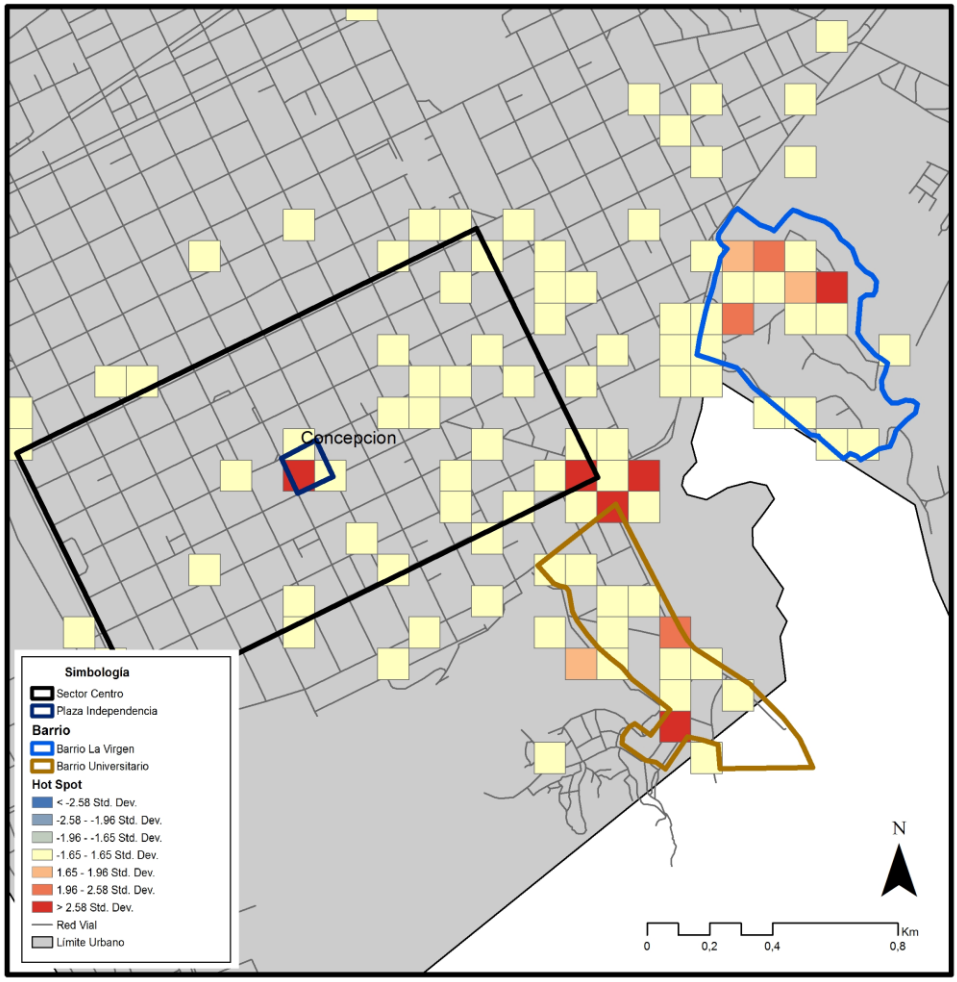



*Figura 3. Mapa hot spots de interacción frecuente Barrio La Virgen.*

## DISCUSIÓN

El centro de Concepción es un polo que concentra lugares de interacción, existe un flujo importante de viajes entre los lugares más frecuentes en el que el ego participa. Los resultados de *hot spots* han ratificado la aglomeración al interior de los barrios; sin embargo, para el caso de los barrios alejados del sector centro de Concepción, se evidencian polígonos "tibios". Los polígonos vecinos de baja frecuencia, conforman aglomeraciones de celdas en los días de la semana, siendo consecuencia de los viajes entre los distintos lugares de la vida diaria. El fin de semana indica que los individuos disponen de más tiempo y por ende de libertad de poder escoger un lugar sobre otro, en los cuatro barrios la concentración de lugares en el sector centro, disminuye. Los *hot spots* más altos se localizan en los sectores lejanos de Sta. Sabina y Lomas de San Sebastián. Recalcando que el Mall Plaza Trébol, ofrece una alternativa de comercio y servicios diferente al centro de Concepción, es un caso claro de diferenciación de usos en la semana y fin de semana, si bien la

concentración en el Mall en Sta. Sabina es menor que en Lomas de San Sebastián, los usos de tiempo son similares, en este sentido el rol del uso de tiempo determina en mayor medida la elección del lugar, cobrando más relevancia que las propias diferencias sociales.

Las distancias medias dan indicio del potencial de movilidad; sin embargo, dicho potencial, no se relaciona con su ubicación respecto a las oportunidades (sean laborales, de compra o de ocio) sino con los medios técnicos a su alcance y con la relación entre distancia y medios técnicos, por ende estos aspectos expresan diferencias socioeconómicas entre barrios. En este contexto los resultados de distancias medias han evidenciado algunas diferencias respecto a la localización de los barrios, los medios de transporte disponibles y la escala geográfica. La localización del barrio y la cercanía con el lugar de interacción influye en el modo de transporte con el que se llega al destino y esto se puede ver facilitado por los medios técnicos y económicos con lo que disponga el usuario. Sta. Sabina se encuentra distante del sector centro de Concepción por lo que para poder realizar el viaje, requiere de un desplazamiento mayor y el medio de transporte público disponible. Entonces, la disponibilidad de los modos de transporte diferencia ambos barrios de los resultados símiles de distancias medias. Un ejemplo es el caso de Santa Sabina, que se limita al transporte público para realizar viajes, y el contraste con el Barrio La Virgen/Universitario como alternativa el automóvil, permitiendo un desplazamiento a lugares de interacción distantes del barrio.

Las diferencias socioeconómicas entre los barrios de ingresos altos y bajos se demuestran claramente al considerar escalas geográficas más amplias (regional, país, extranjero), los potenciales viajes sociales aumentan para las clases sociales de altos ingresos y la localización geográfica de los barrios, ya no influye en los viajes sociales potenciales, sino más bien se denotan las barreras socioeconómicas. Kenyon *et al*. (2003) manifiesta que la movilidad es una de las dimensiones de exclusión social, el autor señala que existen factores que influyen en el acceso inadecuado al transporte privado como por ejemplo, la insuficiencia de servicios de transporte público, la falta de acceso a las oportunidades, servicios, redes sociales y otros bienes. Las concentraciones en los límites de los barrios, indicando que los espacios de intercambio de capital social conforman "islas" dentro de un mismo espacio urbano. Las "islas" involucran aspectos relacionados con recursos de capital social (obligaciones de reciprocidad e información), derivados de la pertenencia a redes sociales no se trasponen, reduciendo las posibilidades de desarrollo del capital social que afecta principalmente a los sectores de bajos ingresos. Los lugares de capital social, es el tipo de ocupación de los alters que componen las redes sociales. Los *hot spots* que concentran la mayor cantidad de alters, evidencian claras diferencias entre los barrios de ingresos altos y bajos. Los barrios de ingresos bajos, Agüita de la Perdiz y Sta. Sabina, domina el rol de dueña/o de casa y empleado, en cambio los sectores altos de Barrio la Virgen/Universitario y Lomas de San Sebastian/San Andres, predomina la ocupación de profesional

universitario. Estas características que diferencian a los sectores, parecen indicar que las relaciones tienden a ser homofilas, es decir, las relaciones sociales tienden a ser entre personas semejantes, en este caso de misma ocupación, por ejemplo las dueñas/o de casa se relacionan con dueñas/o y los profesionales universitarios se relacionan con los mismos. La homofilia puede actuar como una barrera imposibilitando el flujo de innovaciones dentro del sistema de redes, en este sentido los contactos fuertes (relaciones homofilas) puede significar redundancia de información, pues las innovaciones suelen venir de las relaciones heterofilas (contactos débiles), por lo tanto donde no habría un "puente" de función intermediaria que aporte nuevos recursos de capital social.

## CONCLUSIONES

La investigación permitió observar espacialmente la importancia del "con quién" se interactúa en las redes sociales, através de la metodología utilizada se comprende como los espacios de actividades de los barrios de distinta realidad socioeconómica no se traslapan, evidenciando espacios urbanos segregados. El espacio de actividades está determinado por tres factores: la ubicación del hogar, los lugares donde regularmente se realizan las actividades, y los viajes entre los lugares más importantes de la vida diaria, estos actúan en la elección de los lugares frecuentes de interacción social.

Se concentran las interacciones sociales en los límites barriales, coincidiendo con la diferenciación de ingresos económicos, aunque lo más relevante ocurre con la calidad de las relaciones. Las relaciones son cerradas, homofilas, por lo que el intercambio y desarrollo de capital social entre distintas clases sociales resulta menos viable. Las relaciones homofilas permiten la integración social en el barrio, pero un alto grado de localismo en el barrio podría tener un impacto en el desarrollo del capital social.

El espacio urbano sigue siendo un componente importante al momento de potenciar los encuentros sociales, así como el acceso a oportunidades según los modos de transporte que permiten la movilidad de las personas, para realizar viajes sociales. El centro de Concepción es el área que reune las interacciones sociales, con excepción de Agüita de la Perdiz que presenta un mayor localismo. El centro si bien es un sector que geográficamente concentra los lugares de interacción social, las relaciones que allí se concretan son homófilas, por lo que dicho sector urbano no cumple el rol de puente entre redes sociales de distintos barrios, es decir, es un espacio urbano de cruces, pero no de relaciones entre grupos sociales.

La segregación se encuentra determinada en gran medida por las diferencias sociales debido a que la distancia que separa a los grupos sociales es menor (relacionado con el barrio contiguo); esto puede ser

indicio de una “segregación sociológica”, es decir, se encuentran separados por distancias socioeconómicas y no necesariamente por grandes distancias geográficas.

En relación al transporte los barrios de ingreso bajo, el acceso dependerá en mayor grado de la oferta del transporte público, lo que contrasta con los sectores de ingresos altos, que tienen la opción de utilizar el transporte privado o en su defecto existe oferta de transporte público.
Finalmente, los Sistemas de Información Geográfica demostraron solidez en el desarrollo de indicadores y el análisis espacial asociado a éstos.

**AGRADECIMIENTOS**
FONDECYT 1140519
FONDAP CONICYT 15110020

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Axhausen, K.W.2005. Social networks and travel: some hypotheses. En **Social Aspects of Sustainable Transport: Transatlantic Perspectives**. Ed. K Donaghy, Ashgate, Aldershot, Hants. p. 98 – 110
2. Bustos, C., Carrasco, J.A., Rojas, C. & Tudela, A. 2012. Indicadores del espacio de actividades sociales de individuos del Gran Concepción utilizando la perspectiva de las redes personales. **Ingeniería de Transporte**, N 16. Online http://www.sochitran.cl/wp-content/uploads/Acta-2011-01-36.pdf
3. Kenyon, S., Rafferty, J., & Lions, G. (2003). Social Exclusion and Transport in the UK: A Role for Virtual Accessibility in the Alleviation of Mobility-Related Social Exclusion? Cambridge University Press. Bristol.
4. Lima, C., Carrasco, J. & Rojas, C. (2014). El contexto urbano y las interacciones sociales: Dualidad del espacio de actividades de sectores de ingresos altos y bajos, localizados en el centro y periferia de Concepción, Chile. **Revista latinoamericana de estudios urbanos regionales EURE**, Vol 40, N 121, p. 75-99.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL PARA A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM BACIA HIDROGRÁFICA POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

**Demarchi, Julio Cesar[a]; Piroli, Edson Luís[b]; Lopes Zimback, Célia Regina[c]**
**UNESP – Universidade Estadual Paulista**
**[a](Câmpus de Presidente Prudente, Brasil, julio.demarchi@gmail.com)**
**[b](Câmpus de Ourinhos, Brasil, piroli@ourinhos.unesp.br)**
**[c](Câmpus de Botucatu, Brasil, czimback@gmail.com)**

**RESUMEN**

A vegetação nativa possui fundamental importância na conservação dos recursos hídricos e controle do processo erosivo nas bacias hidrográficas. Porém, vem sendo substituída pela ação antrópica. Neste contexto, este trabalho objetiva definir áreas prioritárias para a restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos da sub-bacia do Ribeirão das Perobas, localizada no estado de São Paulo, Brasil, por meio de análise multicritério em ambiente SIG. Para tal, utilizou-se o método da Combinação Linear Ponderada entre os fatores proximidade à rede de drenagem, declividade do terreno, proximidade aos fragmentos florestais de área superior a um hectare, erodibilidade do solo, formas de relevo e distância de rodovias e estradas de terra, sendo os pesos definidos pelo Processo Hierárquico Analítico. O mapa de áreas prioritárias foi classificado em quatro níveis de prioridade (baixa a muito alta), sendo que a classe "alta prioridade" ocupa 68,95 % da sub-bacia.

**Palabras claves:** Combinação Linear Ponderada; Processo Hierárquico Analítico; Geoprocessamento; reflorestamento.

## INTRODUÇÃO

A cobertura florestal possui importância fundamental na produção de água e em sua qualidade nas bacias hidrográficas. Nas encostas, auxilia diretamente na prevenção à erosão, e favorece sua infiltração. Às margens dos corpos d'água, protege os mananciais e conserva os recursos hídricos, constituindo barreira à entrada de poluentes via escoamento superficial e subsuperficial. Impede a erosão das margens dos cursos d'água, lagos e represas, mantém temperaturas favoráveis à biota aquática, e constitui importante reduto de biodiversidade (VETTORAZZI, 2006).

A sub-bacia do Ribeirão das Perobas, localizada no município de Santa Cruz do Rio Pardo, São Paulo, Brasil, possui apenas 7,41 % de sua área ocupada com mata nativa. De acordo com o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), devem ser preservadas com vegetação nativa 20 % da área dos imóveis rurais a título de Reserva Legal, além das faixas marginais dos cursos d'água, nascentes, áreas de declividade superior a 45º, topos de morros com altura superior a 100 metros e declive superior a 25º, que são Áreas de Preservação Permanente. Considerando o sistema bacia hidrográfica como um imóvel rural, ela apresenta um déficit de vegetação de 4,97 km² ou 16,26 % de sua área total, o que evidencia a necessidade da restauração florestal para a conservação dos recursos naturais.

A seleção de áreas para a restauração da vegetação nativa pode ser conduzida por meio de análise multicriterial (AMC). De acordo com Malczewski (2006), a análise de decisão multicritérios realizada em Sistemas de Informações Geográficas consiste no processo que transforma e combina dados geográficos e julgamentos de valor (preferências dos agentes) de modo a obter informações úteis à tomada de decisão. Tal análise provê uma coleção de técnicas para estruturar os problemas de decisão e esboçar, avaliar e priorizar alternativas de decisão. O método mais comum de análise multicritério é a Combinação Linear Ponderada (CLP), que consiste na multiplicação entre os fatores e seus pesos seguida da soma dos resultados, originando um mapa de adequabilidade (VOOGD, 1982). A facilidade de implementação no SIG por meio de álgebra de mapas e modelagem cartográfica, de compreensão e o apelo intuitivo, fazem com que o método CLP seja popular entre os tomadores de decisão (MALCZEWSKI, 2006).

Diante da problemática e das possibilidades de análise apresentadas, o objetivo deste trabalho foi definir áreas prioritárias para a restauração florestal visando à produção de água e conservação dos recursos hídricos na sub-bacia do Ribeirão das Perobas por meio de análise multicritério, método da Combinação Linear Ponderada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A sub-bacia do Ribeirão das Perobas está localizada no município de Santa Cruz do Rio Pardo, centro-oeste do Estado de São Paulo, Brasil. É limitada pelas coordenadas geográficas: latitude 22º47'15.04"S a 22º50'44.29"S e longitude 49º38'55.13"W a 49º43'46.42"W, e sua área é de aproximadamente 30,611 km² (Figura 1).

O clima do município de Santa Cruz do Rio Pardo, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é do tipo Am, tropical chuvoso com inverno seco, com índice pluviométrico do mês mais seco inferior a 60 mm e temperatura média dos meses mais frio e mais quente, respectivamente, igual ou superior a 18ºC e 22ºC. Seu índice pluviométrico médio anual é de 1.475,3 mm, sendo a estação chuvosa de outubro a março e a estação seca de abril a setembro (MIRANDA et al., 2005).

A cobertura vegetal predominante na sub-bacia é a Floresta estacional semidecidual (Floresta tropical subcaducifólia), subtipo Vegetação secundária e atividades agrárias (IBGE, 2004).




*Figura 1. Localização da sub-bacia do Ribeirão das Perobas.*

**Fonte de dados**

Para a elaboração da base de dados e determinação das áreas prioritárias à restauração florestal, foram utilizados os seguintes dados, materiais e SIGs:

- Carta topográfica do IBGE (1973), folha Santa Cruz do Rio Pardo (SF-22-Z-A-VI-4), na escala 1:50.000;
- Mapa de erodibilidade dos solos da sub-bacia do Ribeirão das Perobas, elaborado por Demarchi (2012);
- Imagens do satélite ALOS, sensores AVNIR-2 (bandas 1, 2 e 3) e PRISM (banda pancromática) de 11/03/2007;
- Mapa de curvaturas horizontal e vertical do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2011), de resolução espacial 30 metros;
- SIG Idrisi Selva 17.0 (EASTMAN, 2012), utilizado na elaboração dos mapas de fatores e na análise multicritério, e ArcGIS/ArcMap 10 (ESRI, 2011), empregado nas vetorizações realizadas.

**Técnicas**

As áreas prioritárias para a restauração florestal foram definidas por análise multicritério, pelo método da Combinação Linear Ponderada, partindo da relação apresentada por Eastman et al. (1995):

$$S = \sum w_{i.}\, x_i * \Pi c_j$$

Em que: S é a adequabilidade; w é o peso do fator i; x é o valor normalizado do mesmo fator; $c_j$ é o valor da restrição (classes booleanas 0/1) e Π é o produto.

O produto das restrições é aplicado nos casos em que há restrição à análise de adequabilidade.

Os mapas de fatores foram elaborados no SIG e normalizados no intervalo de 0 a 255 bytes por meio de uma função de pertencimento fuzzy. A normalização dos fatores é necessária porque estes são medidos em diferentes escalas. O escalonamento linear é efetuado pela seguinte equação (EASTMAN et al., 1995):

$$x_i = (R_i - R_{min})/(R_{max} - R_{min}) * m$$

Em que: $R_i$ é o valor do fator a ser escalonado; $R_{min}$ e $R_{max}$ são os valores mínimo e máximo do fator e m é um multiplicador arbitrário (neste caso, 255).

Os fatores da análise multicritério e seus pesos foram definidos por meio de revisão bibliográfica e da técnica participatória, com consulta a docentes da área ambiental, e foram os seguintes:

**(1) Distância das rodovias e estradas de terra:** para este fator, considerou-se que as margens das rodovias e estradas rurais possuem ocupação consolidada, mesmo com a suscetibilidade à erosão causada pelas declividades em alguns locais. Considerou-se que áreas mais distantes das estradas estão mais protegidas do

tráfego e dos impactos dele decorrentes, devendo ser consideradas prioritárias à restauração florestal, dada a maior facilidade de conservação. As distâncias foram calculadas a partir dos vetores de rodovias e estradas por meio do módulo DISTANCE do SIG Idrisi;

**(2) Formas de relevo (curvaturas horizontal e vertical):** este fator foi elaborado com base no mapa que combina as curvaturas horizontal e vertical do terreno, obtido do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2011). As áreas de relevo convexo e divergente apresentam altas taxas de infiltração, sendo consideradas prioritárias à restauração florestal, ao passo que em relevos côncavos e convergentes a capacidade de infiltração é menor. As curvaturas planar e retilínea foram classificadas como intermediárias quanto à infiltração (SOUZA, 2014). As classes de prioridade à restauração florestal foram definidas conforme a Tabela 1.

*Tabela 1. Formas do relevo, capacidade de infiltração e classes de prioridade à restauração florestal. Fonte: Souza (2014).*

| Forma do relevo | Capacidade de infiltração | Classe |
|---|---|---|
| Convergente Côncava | Extremamente baixa | 1 |
| Convergente Retilínea | Fortemente baixa | 2 |
| Convergente Convexa | Forte | 3 |
| Planar Côncava | Acentuada | 4 |
| Planar Retilínea | Moderada | 5 |
| Planar Convexa | Média | 6 |
| Divergente Côncava | Alta | 7 |
| Divergente Retilínea | Muito alta | 8 |
| Divergente Convexa | Excessiva | 9 |

**(3) Erodibilidade do solo:** para a elaboração do mapa deste fator, os valores de erodibilidade do mapa elaborado por Demarchi (2012) foram convertidos no intervalo 0 a 255 por meio de uma função linear crescente, sendo seus valores mínimo e máximo 0,01 e 0,042 $t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$, respectivamente, correspondentes aos Latossolos e Nitossolos Vermelhos Eutroférricos e aos Argissolos Vermelhos Distroférricos. A inclusão deste fator tem a finalidade de conservar e proteger os processos hidrológicos em solos naturalmente mais suscetíveis à erosão, bem como preservá-los do processo erosivo, conforme Vettorazzi (2006) e Sartori et al. (2012);

**(4) Proximidade à cobertura florestal:** com o objetivo de favorecer as funções ecológicas, o aumento das taxas de infiltração e a manutenção do regime hídrico dos rios no período seco, determinou-se a distância das

áreas da sub-bacia em relação aos fragmentos florestais de área superior a 1 hectare, sendo adotadas como prioritárias à restauração as áreas mais próximas aos fragmentos, segundo Sartori et al. (2012) e Nossack (2012). O mapa do fator foi obtido por meio de função linear decrescente;

**(5) Declividade do terreno:** terrenos de declividades elevadas promovem menores taxas de infiltração para recarga do lençol freático e o favorecimento aos processos erosivos em áreas sem cobertura vegetal adequada (NOSSACK, 2012). Desta forma, quanto maior a declividade do terreno, maior é a necessidade de manutenção e/ou restauração da vegetação nativa. O fator declividade foi utilizado em análise multicriterial por Sartori et al. (2012), Nossack (2012) e Souza (2014);

**(6) Proximidade à rede hidrográfica:** considerando que a importância da cobertura florestal para a geração de água de qualidade nas bacias hidrográficas cresce à medida que a distância dos rios e nascentes diminui (VETTORAZZI, 2006), as áreas mais próximas aos cursos d'água foram identificadas como prioritárias à restauração florestal. Para a obtenção deste fator usou-se uma função linear decrescente.

Foram consideradas **restrições à restauração florestal** as áreas ocupadas por mata nativa e ciliar, açudes, rodovias e estradas de terra.

Os pesos dos fatores da análise multicritério foram definidos pelo processo de tomada de decisão denominado Processo Hierárquico Analítico (PHA), desenvolvido por Saaty (1977), que emprega uma comparação pareada entre os fatores para determinar a importância relativa de cada um deles. Para aplicação da Combinação Linear Ponderada, a soma dos pesos deve ser 1. Na técnica desenvolvida por Saaty, os pesos são derivados tomando o principal autovetor de uma matriz quadrada recíproca de comparação pareada entre os fatores. As comparações devem destacar a importância relativa entre dois fatores na determinação da adequabilidade conforme o objetivo da análise, segundo uma escala contínua de nove pontos (EASTMAN et al., 1995) (Figura 2).




*Figura 2. Escala de pesos para elaboração da matriz de comparação pareada.*
*Fonte: Eastman et al. (1995).*

Neste trabalho, o cálculo dos pesos dos fatores pelo método PHA foi realizado pelo módulo WEIGHT do SIG Idrisi Selva a partir do preenchimento da matriz de comparação pareada, apresentada na Tabela 2, que também define o peso obtido de cada fator. A comparação pareada foi realizada por meio da técnica participatória, descrita anteriormente.

*Tabela 2. Matriz de comparação pareada entre os fatores utilizados.*

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | Pesos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **(1) Distância das rodovias e estradas de terra** | 1 | | | | | | 0,0652 |
| **(2) Forma de relevo (horizontal e vertical)** | 1 | 1 | | | | | 0,0740 |
| **(3) Erodibilidade do solo** | 3 | 2 | 1 | | | | 0,1282 |
| **(4) Proximidade à cobertura florestal** | 3 | 2 | 2 | 1 | | | 0,1907 |
| **(5) Declividade** | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | | 0,2029 |
| **(6) Proximidade à rede hidrográfica** | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0,3390 |

Em razão da matriz de comparação pareada apresentar múltiplas maneiras pelas quais a importância relativa dos fatores pode ser avaliada, é necessário determinar o grau de consistência atingido no desenvolvimento dos pesos. Saaty (1977) desenvolveu um índice denominado Taxa de consistência (TC), que avalia a probabilidade dos valores da matriz serem aleatoriamente gerados. O autor indica que matrizes com valor de TC superior a 0,1 são inconsistentes e devem ser reavaliadas. O valor de TC obtido neste trabalho, por meio do módulo WEIGHT, foi 0,02, o que atesta a consistência da matriz.

As áreas prioritárias à restauração florestal da sub-bacia do Ribeirão das Perobas foram determinadas pelo módulo MCE (*multi-criteria evaluation*) do SIG Idrisi, método da Combinação Linear Ponderada.

## RESULTADOS

Os mapas dos fatores utilizados na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos na sub-bacia do Ribeirão das Perobas são apresentados nas Figuras 3 a 8. Tais mapas estão padronizados na escala 0 a 255 bytes, sendo que o valor 255 representa a maior prioridade à restauração.

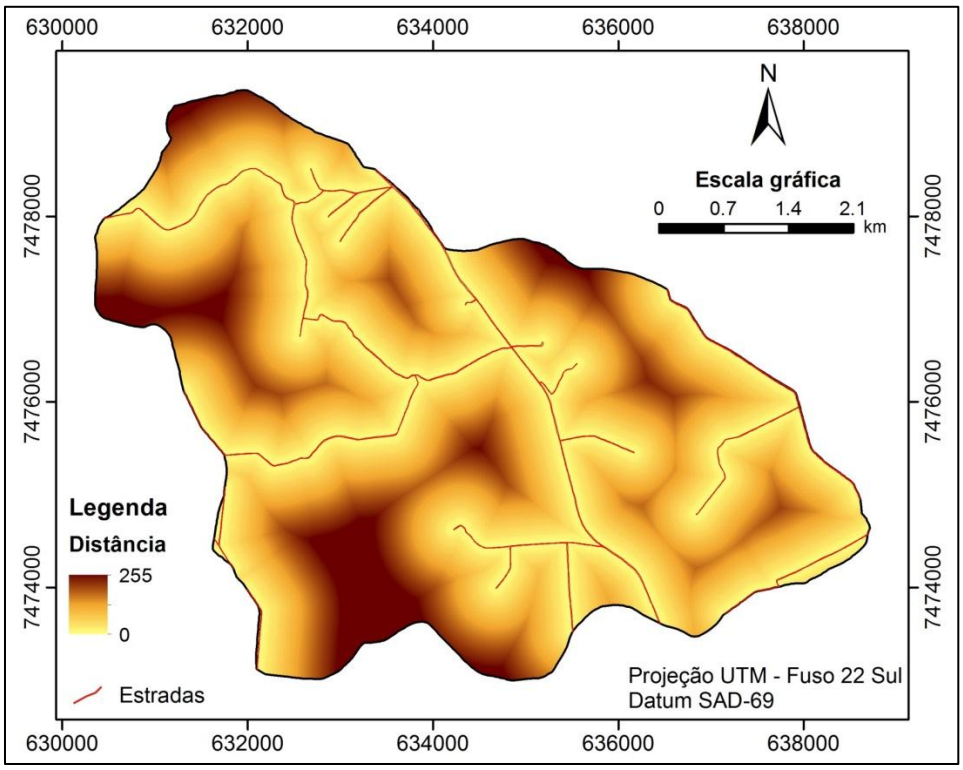



*Figura 3. Mapa de distância das rodovias e estradas de terra.*

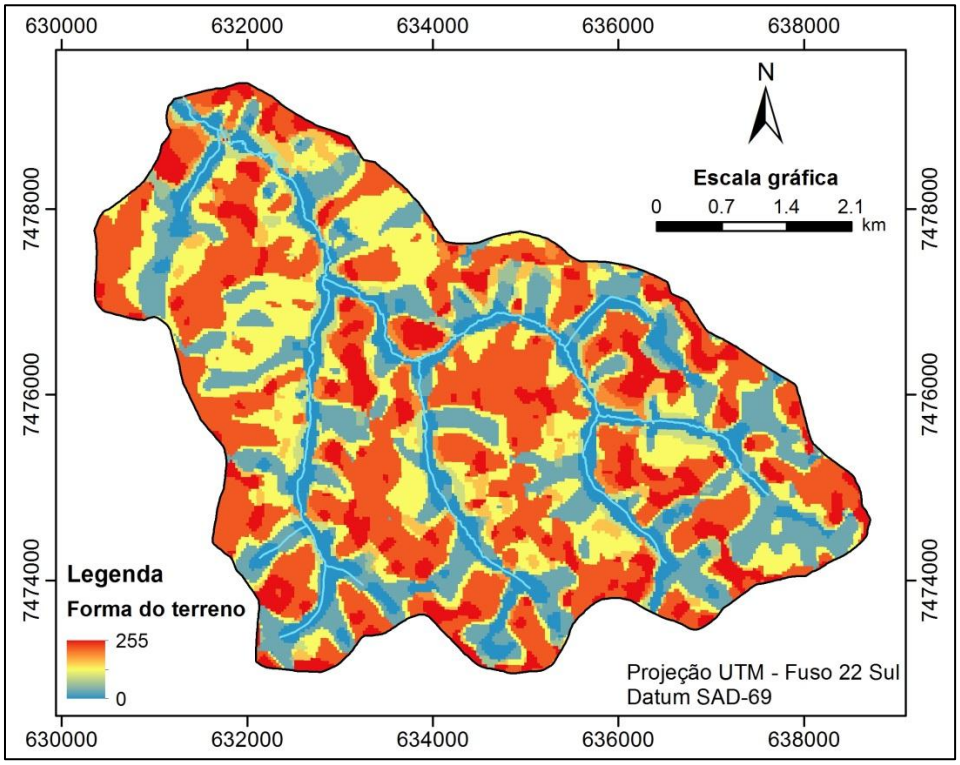



*Figura 4. Mapa de capacidade de infiltração resultante das formas de relevo (curvaturas horizontal e vertical).*

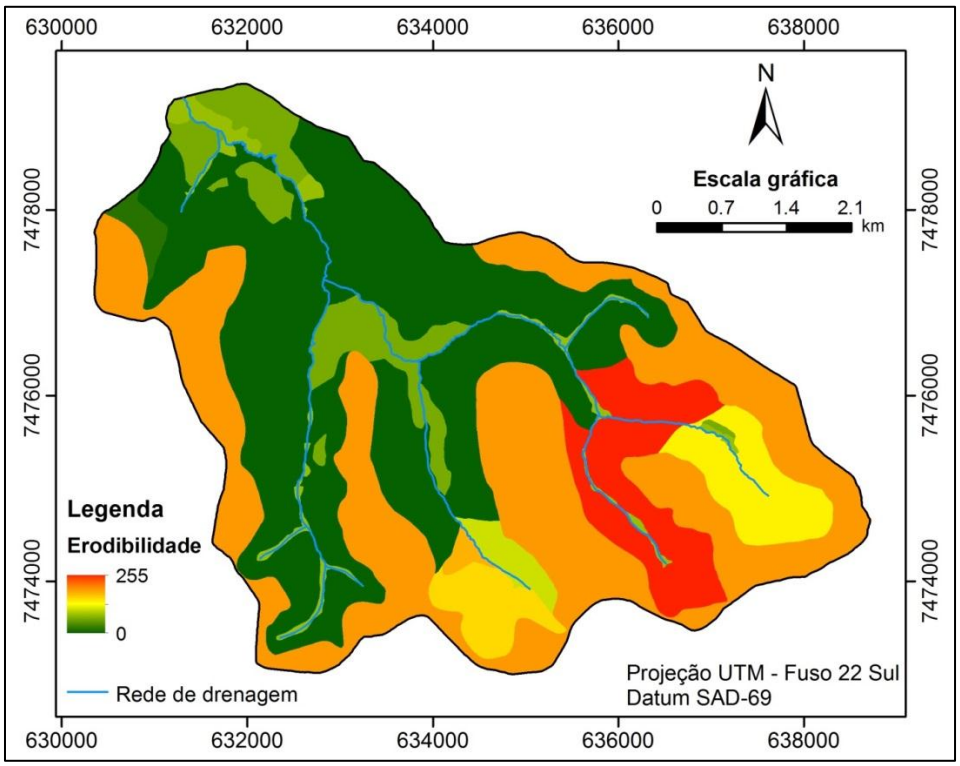



*Figura 5. Mapa de erodibilidade do solo*

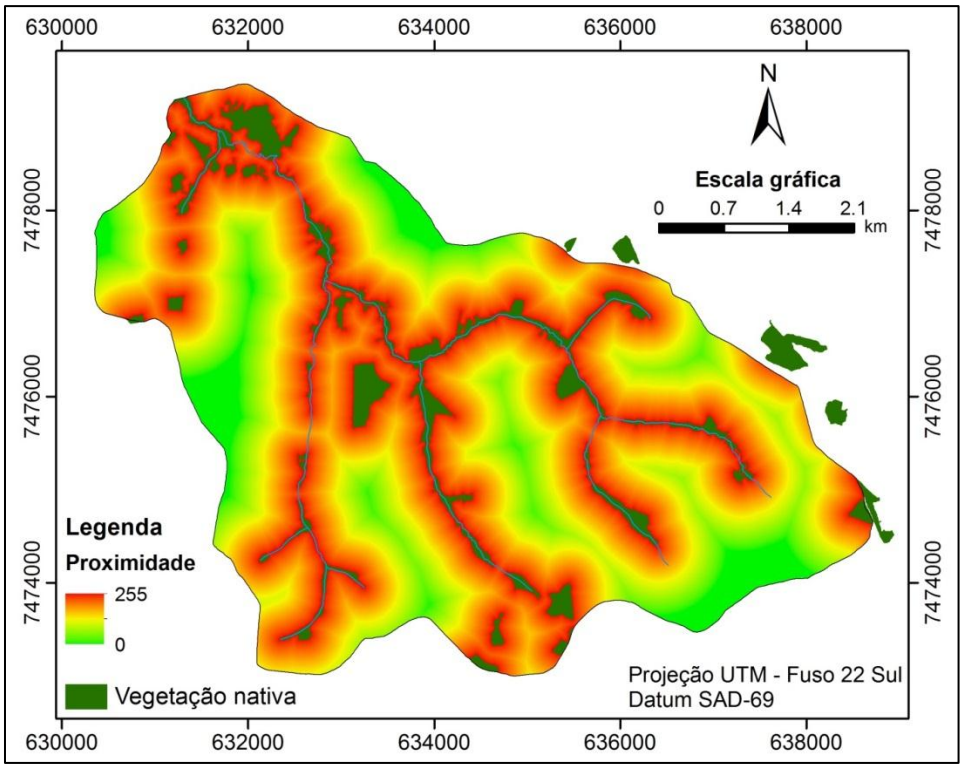



*Figura 6. Mapa de proximidade à cobertura florestal (fragmentos florestais de área superior a 1 hectare).*

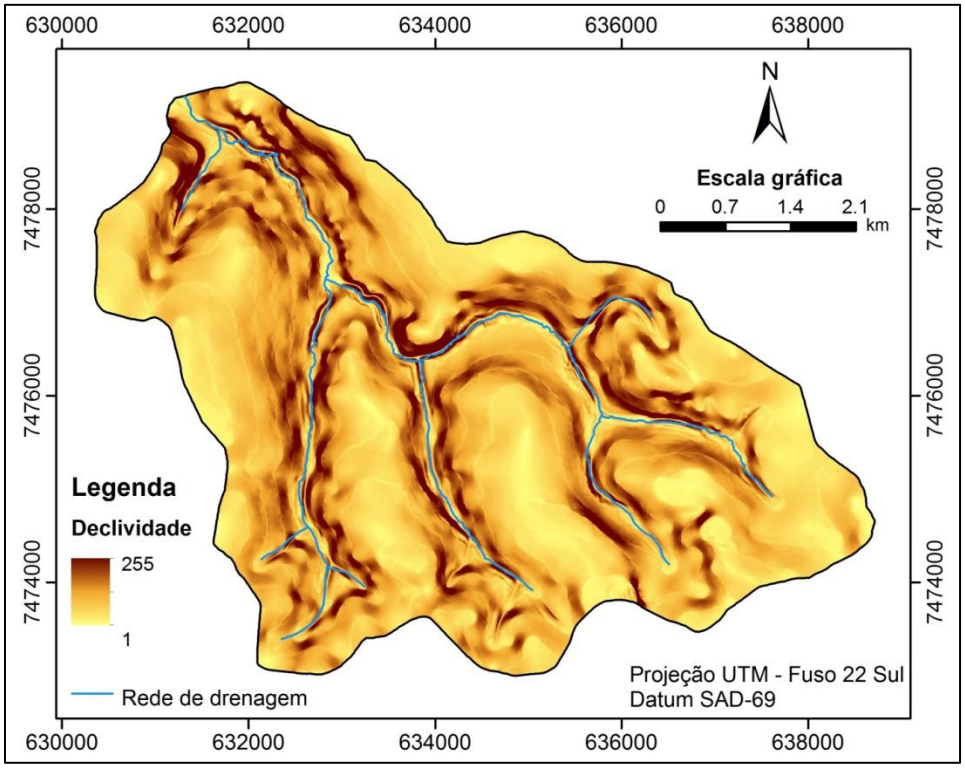



*Figura 7. Mapa de declividade do terreno.*

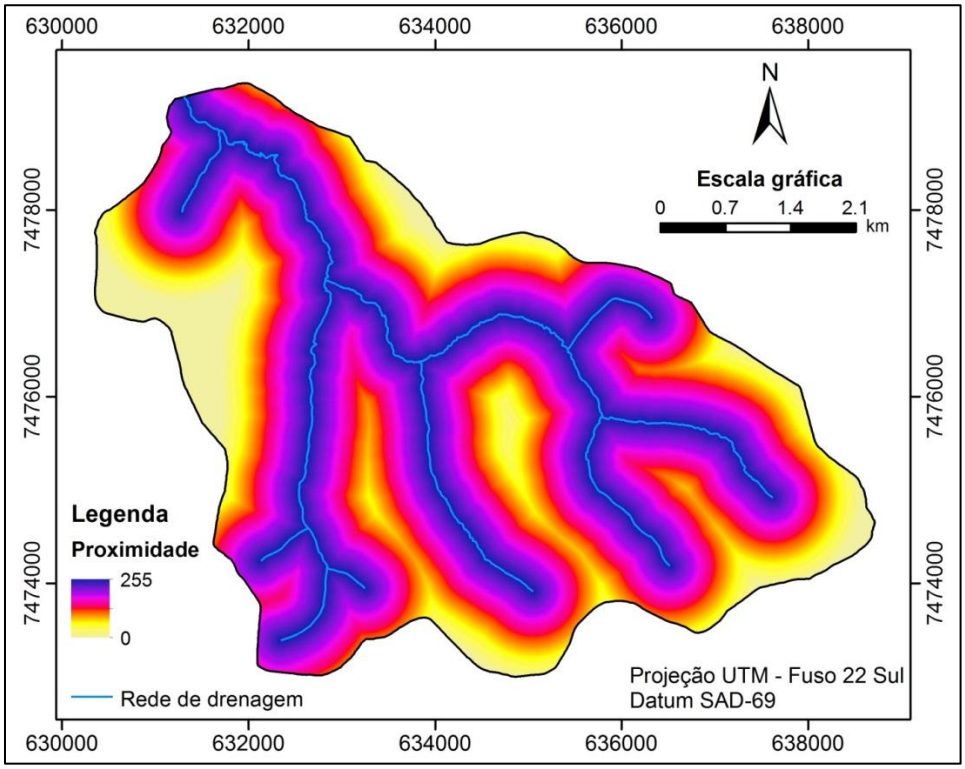



*Figura 8. Mapa de proximidade à rede de drenagem.*

A Figura 9 apresenta o mapa de áreas prioritárias à restauração florestal da área de estudo, obtido pelo método da Combinação Linear Ponderada.

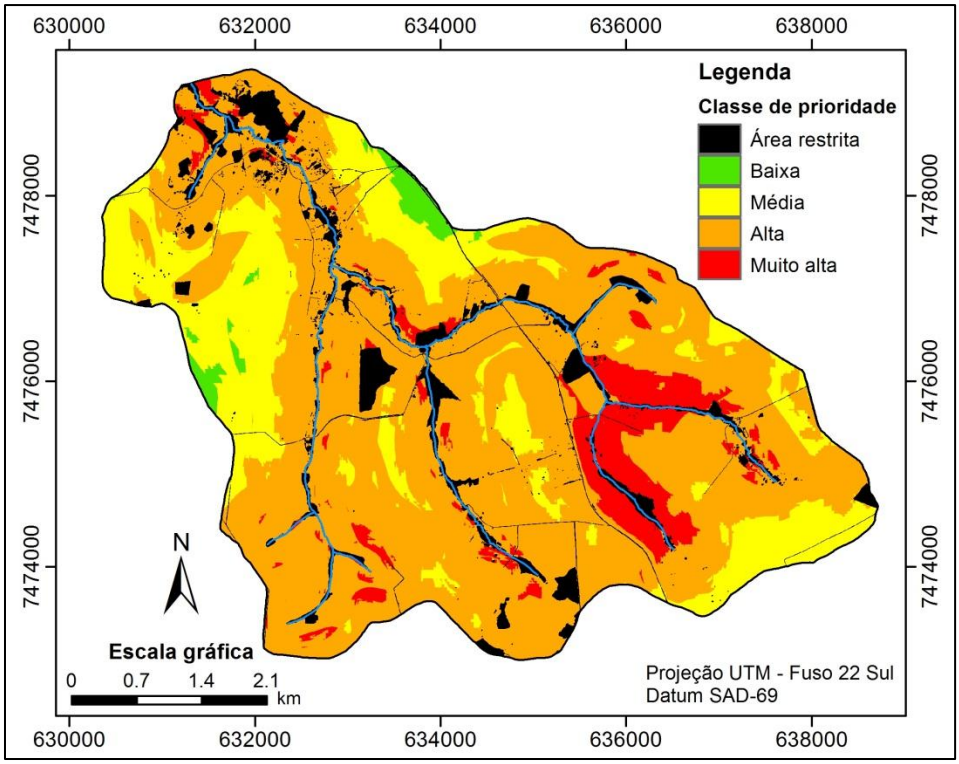



*Figura 9. Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal.*

As classes de maior prioridade à restauração florestal para produção e conservação da água na sub-bacia estão situadas preferencialmente nas proximidades dos cursos d'água, nas vertentes de declividades elevadas e próximas aos fragmentos florestais, o que evidencia a necessidade e prioridade à conexão entre os fragmentos e à proteção aos cursos d'água.

As áreas enquadradas nas classes de baixa e média prioridade estão localizadas nas proximidades de alguns divisores de água, caracterizadas por relevo plano ou suave ondulado, solos de erodibilidade baixa e média, distâncias maiores dos fragmentos florestais e da rede de drenagem. São em geral áreas que favorecem a infiltração devido às curvaturas do relevo convexa ou retilínea e divergente ou planar.

A análise estatística do mapa resultante da análise multicritério apontou a média de 131 bytes, desvio padrão 23 e coeficiente de variação de 17,55 %, o que denota a baixa dispersão do grau de prioridade à restauração florestal e um grau médio de prioridade. Tal resultado demonstra uma tendência ao balanceamento entre os fatores da análise multicritério.

A Tabela 3 apresenta as áreas ocupadas pelas classes de prioridade à restauração florestal propostas pelos autores para facilitar a tomada de decisão.

*Tabela 3. Áreas das classes de prioridade à restauração florestal*

| Classe de prioridade | Intervalo | Área (km²) | Área (%) |
|---|---|---|---|
| Baixa | 28 - 72 | 0,43 | 1,53 |
| Média | 72 - 117 | 6,11 | 21,75 |
| Alta | 117 - 162 | 19,36 | 68,95 |
| Muito alta | 162 - 207 | 2,18 | 7,76 |
| | **Total:** | **28,08** | **100** |

A tabela demonstra que 68,95 % da área da sub-bacia apresenta alta prioridade à restauração florestal. A classe de média prioridade à restauração florestal ocupa 21,75 % da sub-bacia e seus principais usos da terra são, em ordem decrescente, pastagem, soja, milho e cana-de-açúcar. Já a classe de maior prioridade (muito alta) representa 7,76 % da área de estudo, estando ocupada principalmente por pastagem, cana-de-açúcar e culturas anuais.

## DISCUSSÃO

A seleção de áreas prioritárias à restauração florestal tem importância pelo cenário atual de uso da terra e pelos seus impactos negativos na produção de água. Destaca-se a simplicidade da metodologia utilizada e sua implementação em SIG.

Em relação à ocupação da terra, esta causou a redução do número de canais de drenagem e do volume de água na sub-bacia nas últimas décadas em decorrência da redução da cobertura florestal e da degradação do solo, constatados a partir de entrevistas com proprietários rurais e da análise comparativa entre imagens de satélite de diferentes períodos e a carta topográfica do IBGE.

A respeito da metodologia da Combinação Linear Ponderada utilizada neste trabalho, cabe enfatizar que os critérios, pesos, padronização e qualidade dos dados devem ser definidos a partir do objetivo da análise para a tomada de decisão. Trabalhos visando à seleção de áreas para a implantação de sistema agroflorestal ou agricultura altamente mecanizada, por exemplo, certamente utilizariam outros critérios e pesos, daí a importância do uso da técnica participatória.

## CONCLUSÕES

As análises realizadas neste trabalho indicam a necessidade de restauração da cobertura florestal da sub-bacia em 76,71 % das áreas não restritas, classificadas nos níveis de prioridade alto e muito alto, o que é corroborado pelo déficit de vegetação de 4,97 km². Tal resultado foi obtido a partir de fatores e pesos definidos sob a ótica conservacionista e no conhecimento do meio físico. No entanto, os proprietários consideram a preservação da mata nativa e sua recuperação, perdas de áreas agrícolas e financeiras.

Na análise multicritério, observou-se tendência ao balanceamento entre fatores e diferenciação de classes pouco pronunciada no mapa de áreas prioritárias à restauração florestal. Os resultados, no entanto, não reduzem a eficácia do método da Combinação Linear Ponderada, já que foram priorizadas à restauração as áreas mais sensíveis à degradação e de maior significância do ponto de vista hidrológico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. 2012. Leis nº 12.651 e 12.727. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.
2. DEMARCHI, J. C. 2012. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP**. Dissertação de Mestrado. FCA/UNESP. Botucatu.
3. EASTMAN, J. R. 2012. **Idrisi Selva** – GIS and Image Processing Software – version 17. Clark Labs. Worcester.
4. EASTMAN, J. R. et al. 1995. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 61, n. 5, p. 539-547.
5. ESRI. 2011. **ArcGIS / ArcMap**. Professional GIS for the desktop, release 10. ESRI. Redlands.
6. IBGE. 1973. **Carta topográfica:** folha Santa Cruz do Rio Pardo – SF-22-Z-A-VI-4. Serviço Gráfico do IBGE. Rio de Janeiro.
7. IBGE. 2004. **Mapa de vegetação do Brasil**. IBGE. Rio de Janeiro.
8. MALCZEWSKI, J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**. v. 20, n. 7, p. 703-726.
9. MIRANDA, M. J. et al. 2005. **Clima dos municípios paulistas**. CEPAGRI/UNICAMP. Campinas.
10. NOSSACK, F. A. 2012. **Planejamento da recomposição florestal pela análise multicriterial na sub-bacia do Córrego do Descalvado visando à conservação de recursos hídricos**. Dissertação de Mestrado. FCA/UNESP. Botucatu.

11. SAATY, T. L. 1977. A Scaling Method for Priority in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**. v. 15, p. 234-281.
12. SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. 2012. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Revista Árvore**. v. 36, n. 6, p. 1079-1090.
13. SOUZA, P. O. 2014. **Conexão florestal em áreas mais favoráveis à infiltração na APA Botucatu – SP**. Dissertação de Mestrado. FCA/UNESP. Botucatu.
14. VALERIANO, M. M. 2011. **TOPODATA:** Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. INPE. São José dos Campos.
15. VETTORAZZI, C. A. 2006. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. Tese de livre-docência. ESALQ/USP. Piracicaba.
16. VOOGD, H. 1982. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. Delfsche Uitgevers Maatschappij B. V. Delft.




# EJE 7

# Métodos y Análisis con Tecnologías de la Información Geográfica

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# VALORACIÓN DE INJUSTICIAS POR CONTAMINACIÓN AMBIENTAL APOYADA EN SIG Y TÉCNICAS CUANTITATIVAS: EL CASO DE LA CIUDAD DE VALENCIA (ESPAÑA)

**González Lorenzo, Cristo[a]; Moreno Jiménez, Antonio[b]; Cañada Torrecilla, Rosa[c]**
**Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, España**
**[a](cristo.gonzalez@uam.es)**
**[b](antonio.moreno@uam.es)**
**[c](rosa.canada@uam.es)**

**RESUMEN**

Integrando técnicas estadísticas y de interpolación espacial apoyadas en sistemas de información geográfica (SIG), en esta contribución se pretende determinar en qué grado ciertas subpoblaciones están sobre- o subexpuestas en la ciudad a excesiva polución atmosférica por $NO_2$ y $PM_{10}$, por cuanto ello puede repercutir seriamente en su bienestar y salud. Como caso de estudio se trata la ciudad española de Valencia y varios grupos de población considerados como vulnerables. Los resultados desvelan que algunos colectivos demográficos exhiben una exposición potencial proporcionalmente superior a elevada contaminación. Ello indicaría la existencia de injusticias ambientales intraurbanas, aunque en grado diverso.

**Palabras claves:** Justicia ambiental, contaminación del aire, población vulnerable, ambiente urbano, SIG.

## INTRODUCCIÓN

Una de las concepciones más conspicuas de la geografía como ciencia que estudia la relación del hombre con el medio, reconocida por muchos autores (e. g. Pattison, 1964), ha sido revalorizada de un tiempo a esta parte, al plantear que puede ser examinada desde el punto de vista de la justicia, un concepto fundamental para nuestras sociedades. La recientemente emergida idea de justicia ambiental (JA) ha aportado, como señala Walker (2012, 2-8), un marco para interpretar y valorar cómo son y cómo deberían ser ciertas relaciones con el medio y un instrumento para la formulación de reivindicaciones acerca de desigualdades, algunas profundas, que involucran al medio ambiente. El activismo ciudadano, los estudios científicos, las regulaciones incipientes, etc. han ido desvelando que los análisis desde la justicia ambiental poseen una relevancia de primer orden para superar discriminaciones onerosas, a menudo soslayadas y a veces graves, que afectan a una diversidad de grupos de población. En línea con estas preocupaciones, y dentro de los trabajos del grupo de investigación GEOTEPLAN, de la Universidad Autónoma de Madrid (www.uam.es/GEOTEPLAN), se presenta aquí un estudio de caso sobre la ciudad de Valencia (España) en el que, combinando técnicas estadísticas y de interpolación espacial, apoyadas en SIG, se ha evaluado en qué grado ciertos grupos de población pueden estar sufriendo penalización ambiental debido a una atmósfera degradada, hecho que puede repercutir seriamente en su bienestar y salud.

Los objetivos avistados consisten en: a) determinar la desigual exposición potencial de ciertos grupos vulnerables a niveles excesivos de polución atmosférica por $NO_2$ y por $PM_{10}$; b) difundir una metodología efectiva para cuantificar injusticias ambientales en áreas urbanas; y c) finalmente, impulsar la conciencia y debate públicos sobre la JA, postulando su evaluación periódica, un mayor conocimiento y empoderamiento social y mejores bases para la acción política.

En el apartado siguiente se presentan brevemente los materiales y métodos usados, para luego exponer los resultados y unas conclusiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y fuentes de información

El espacio de interés recae en la ciudad española de Valencia (809.267 habitantes según INE, 2010). Los *datos ambientales* proceden de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (RVVCCA), dependiente de la Generalitat Valenciana. El número de estaciones utilizadas ha sido ocho, de las cuales tres se ubican en municipios limítrofes (figura 1). El ámbito estricto estudiado fue el área urbana poblada (AUP) del que se excluyen los usos no residenciales y no urbanos del municipio, apoyándose en el

Corine Land Cover 2006, así como en ortoimágenes recientes. Se ha utilizado cartografía digital de las de divisiones administrativas del INE. Se recuerda que para las $PM_{10}$ la legislación nacional y europea establece una media anual de 40µg/$m^3$ como el límite para la protección de la salud humana. Sin embargo, la OMS sitúa ese umbral anual en 20 µg/$m^3$. El nivel medio anual de $NO_2$ admisible por la legislación española, europea e internacional (OMS) se sitúa en 40 µg/$m^3$.

A partir de los *datos demográficos* disponibles (Padrón Municipal de Habitantes) para el año 2010, se seleccionaron seis grupos considerados como vulnerables: a) según la edad, los niños (0-4 años) y los ancianos (≥80 años) resultan, por sus rasgos biológicos, más sensibles a las agresiones ambientales (Landrigan et al., 2010); b) Los inmigrantes extranjeros por razones económicas, provenientes de países menos desarrollados y que se insertan en la base de la pirámide laboral, conforman otro colectivo que, aunque dispar, suele sufrir unas condiciones socioeconómicas adversas. Dentro de este heterogéneo conjunto se conformaron subgrupos según procedencia: los de América Latina, los africanos, los asiáticos y los europeos provenientes de países menos desarrollados.

**Metodología**

Dado que los *datos ambientales* sólo existían para un número reducido de estaciones, se han aplicado técnicas de interpolación espacial para estimar la contaminación en toda el AUP. Para tal fin se ha utilizado la extensión *Geostatistical Analyst* de ArcGIS 10.1. La metodología utilizada ha sido probada en investigaciones anteriores (*vid.* Cañada *et al*., 2014). Tras varios ensayos se eligió la técnica de la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW, *Inverse distance weighting*) atendiendo a criterios estadísticos convencionales como el error cuadrático medio (RMSE), y a otros geográficos de carácter más cualitativo como la coherencia del patrón espacial resultante con el marco territorial y la estructura urbana local. La capa interpolada resultante se exportó a raster con una resolución de 50 metros por píxel y posteriormente se recortó para ajustarla al AUP.

Los *efectivos de población* total y de los grupos vulnerables, disponibles en unidades espaciales pequeñas, las secciones censales, fueron convertidos a capas raster (siete) y repartidos homogéneamente entre los píxeles de cada sección, para disponer de una distribución aproximada y desagregada espacialmente en el AUP. Estas operaciones de tratamiento de datos se realizaron con el *software* ArcGIS.

Para *medir la JA* se computaron las cifras de población (total y de los distintos grupos demográficos) en cada uno de los dos intervalos de polución significativos (por encima y por debajo de los niveles críticos de cada contaminante), obteniendo tablas de distribución de frecuencias para la población total y de cada grupo. Ello

se ejecutó mediante la operación *Zonal statistics* de ArcGIS. Para desvelar visualmente las desigualdades en la exposición a atmósfera contaminada se recurrió a la técnica de la balanza de la justicia ambiental (*vid*. Moreno, 2010 y 2013), la cual plasma las diferencias porcentuales en exposición a alta (y baja) contaminación de cada grupo vulnerable respecto a la población total (tomada como referencia comparativa).

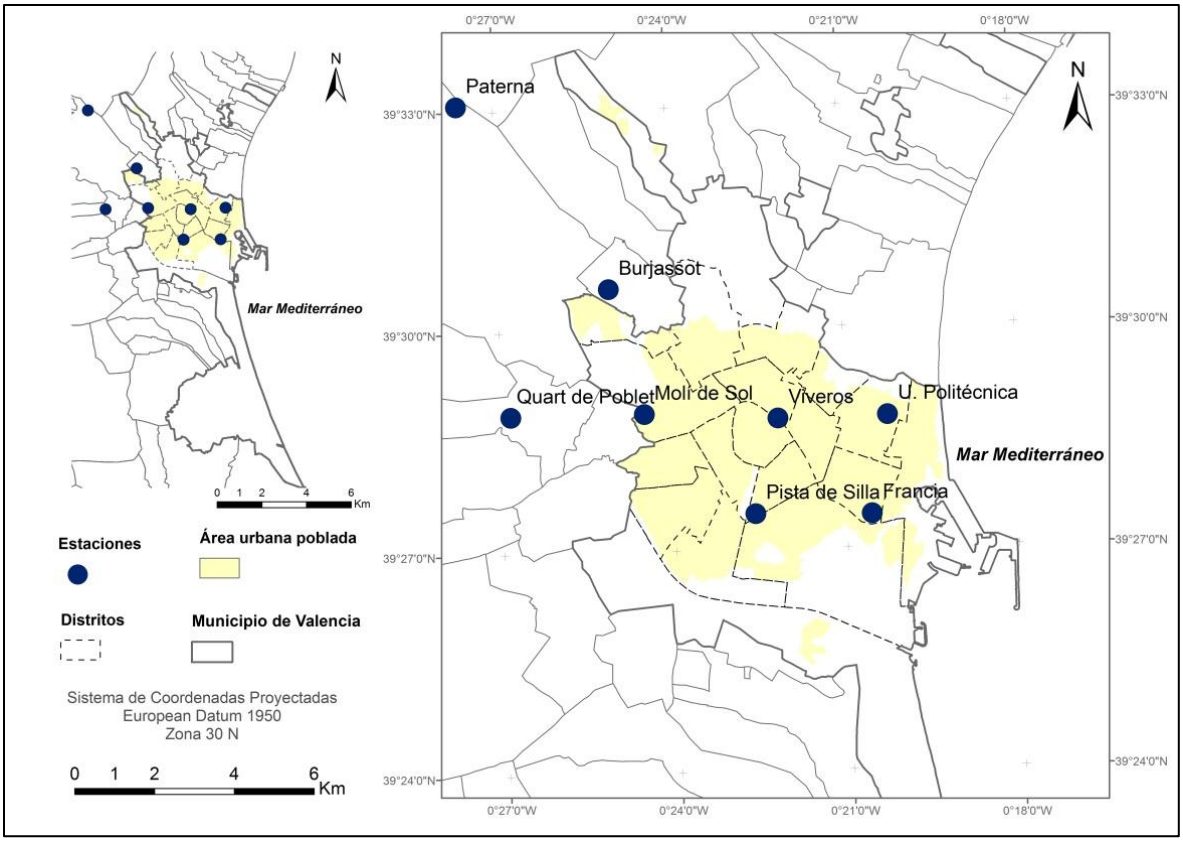



*Figura 1. La ciudad de Valencia: área urbana poblada y estaciones de registro de contaminación del aire. Fuente: Elaboración propia.*

## RESULTADOS

### Análisis del dióxido de nitrógeno y de partículas en suspensión $PM_{10}$ en la ciudad de Valencia

La concentración atmosférica de $NO_2$ en la zona urbana poblada de Valencia para 2010 arroja un promedio de 33,34 µg/m$^3$. El nivel máximo se registró en "Pista de Silla" (44,6 µg/m$^3$), localizada al sur de la ciudad. El valor mínimo lo anotó Paterna (21,1 µg/m$^3$), estación limítrofe al municipio de Valencia (figura 2 izda.). En cuanto a las $PM_{10}$ presentan un promedio anual de 20,94 µg/m$^3$, cifra que cumple con la normativa nacional y comunitaria, pero es superior al umbral que recomienda la OMS (20µg/m$^3$). El valor más alto vuelve a coincidir con la estación "Pista de Silla" (31,1 µg/m$^3$), mientras que el más bajo es registrado en

"Francia" (14,1 µg/m$^3$) (figura 2 dcha.). En ambos contaminantes, la comparación entre datos observados y datos estimados mediante interpolación a partir de aquéllos permite una valoración razonablemente satisfactoria.

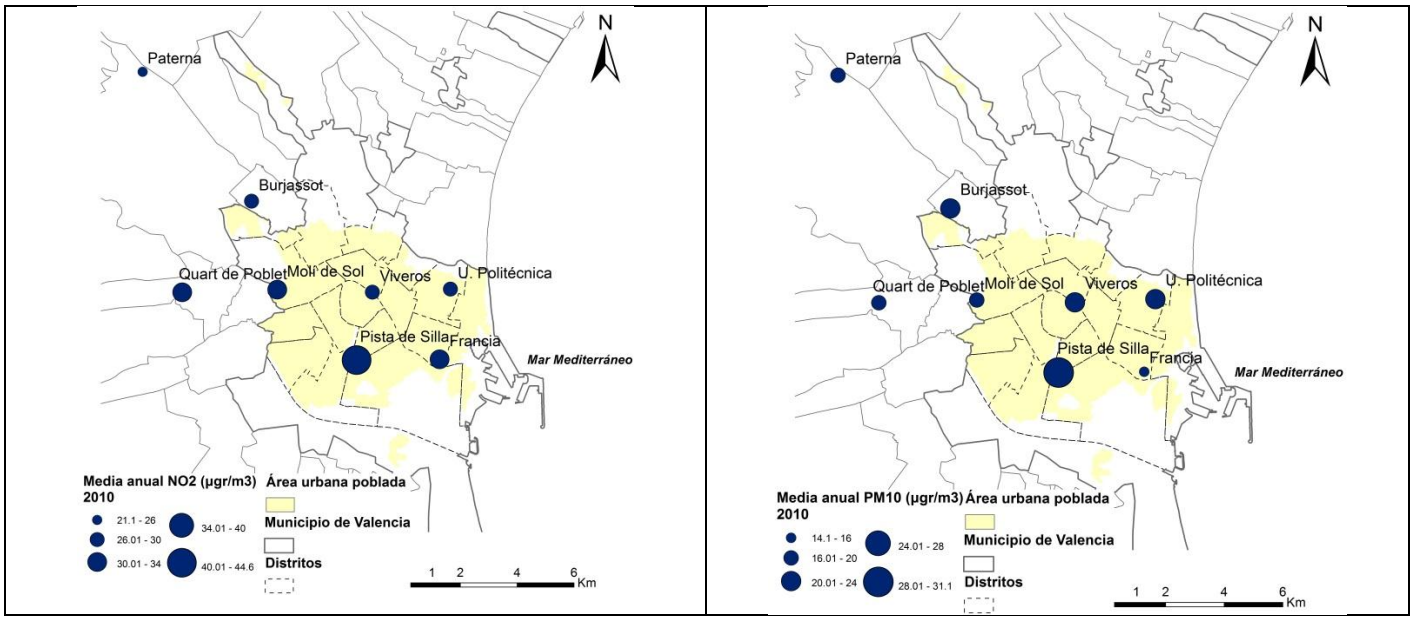



*Figura 2. Concentración media anual observada de NO2 (izda.) y de PM10 (dcha.), Valencia, 2010. Fuente: Elaboración propia.*

En cuanto a la distribución espacial de ambos contaminantes, el mapa interpolado de $NO_2$ (figura 3 izda.) permite comprobar la existencia de un claro gradiente sur-norte. La mitad sur del AUP presenta valores superiores a 34 µg/m$^3$, existiendo incluso una pequeña área al sur de la estación de ferrocarril (3,81% del AUP) que registraría una media anual por encima de los 40 µg/m$^3$. La mitad de la ciudad, al norte de la Avinguda del Cid - Avinguda del Reino de Valencia, presenta valores por debajo de los 31 µg/m$^3$ anuales (43% del AUP). El patrón espacial de las $PM_{10}$ (figura 3 dcha.) muestra que la mayor parte del ámbito de estudio (93,3% del AUP) registra medias superiores al umbral de 20 µg/m$^3$, límite recomendado por la OMS. Todo el ámbito central de la mitad sur de la ciudad, especialmente la zona comprendida entre la Avinguda de les Tres Creus y la Avenguda del Regne de Valencia, exhibe valores por encima de 25 µg/m$^3$ (21,27% del AUP). Concentraciones anuales admisibles (por debajo de 20 µg/m$^3$) tienen una localización eminentemente periférica y reducida (6,17% del AUP). Sin embargo, si se aplica la legislación nacional y europea, el análisis de resultados arrojaría que ninguna zona de la ciudad de Valencia supera el umbral marcado (40 µg/m$^3$).

**Los grupos vulnerables en el espacio urbano de Valencia**

Como es sabido, la distribución intraurbana de los grupos demográficos responde a variados y conocidos determinantes, destacando el tipo y precio de la vivienda. Ello desemboca en situaciones de segregación

residencial bien patentes en el espacio urbano, que afectan, por ejemplo, a ciertos colectivos como los inmigrantes, los cuales habitualmente se ven forzados a localizarse en zonas de menor calidad. El ciclo vital de las personas y la inercia temporal, singularmente en ámbitos como el español donde el predominio de la vivienda en propiedad ocasiona un fuerte arraigo espacial, son también factores de diferenciación, en función ahora de la edad.

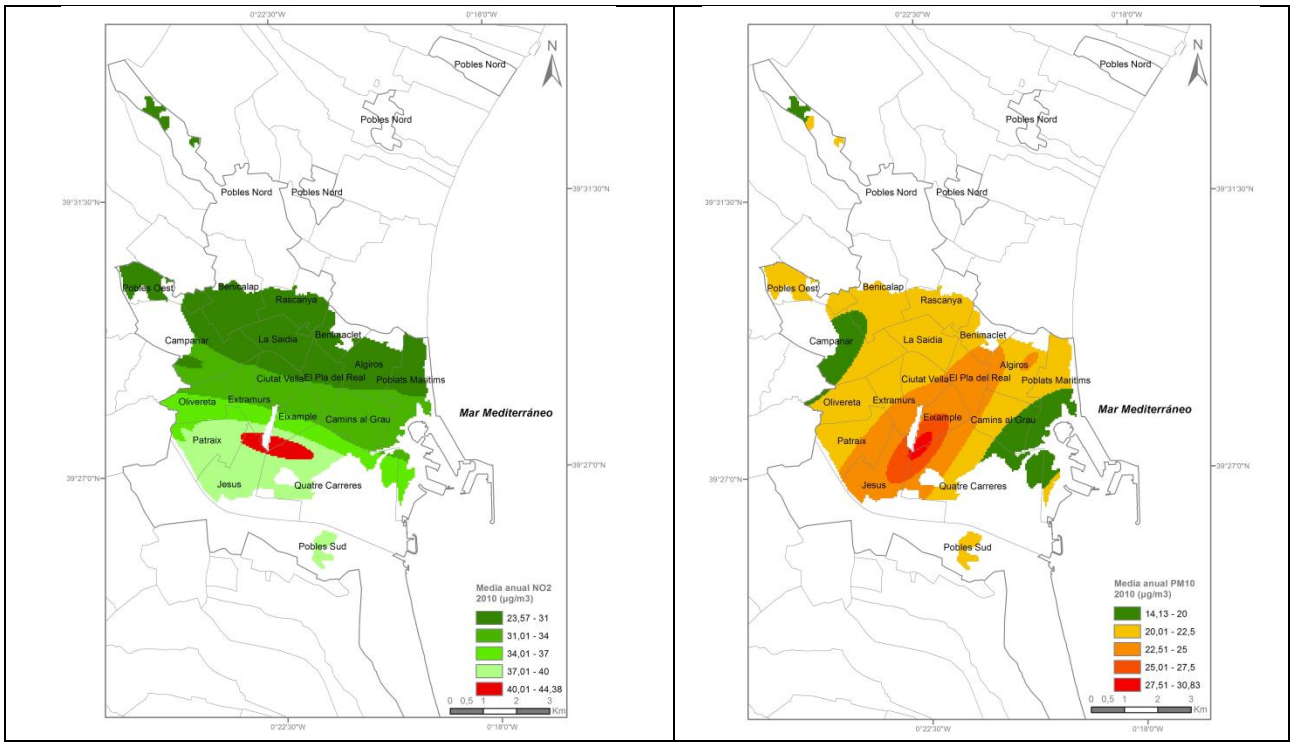
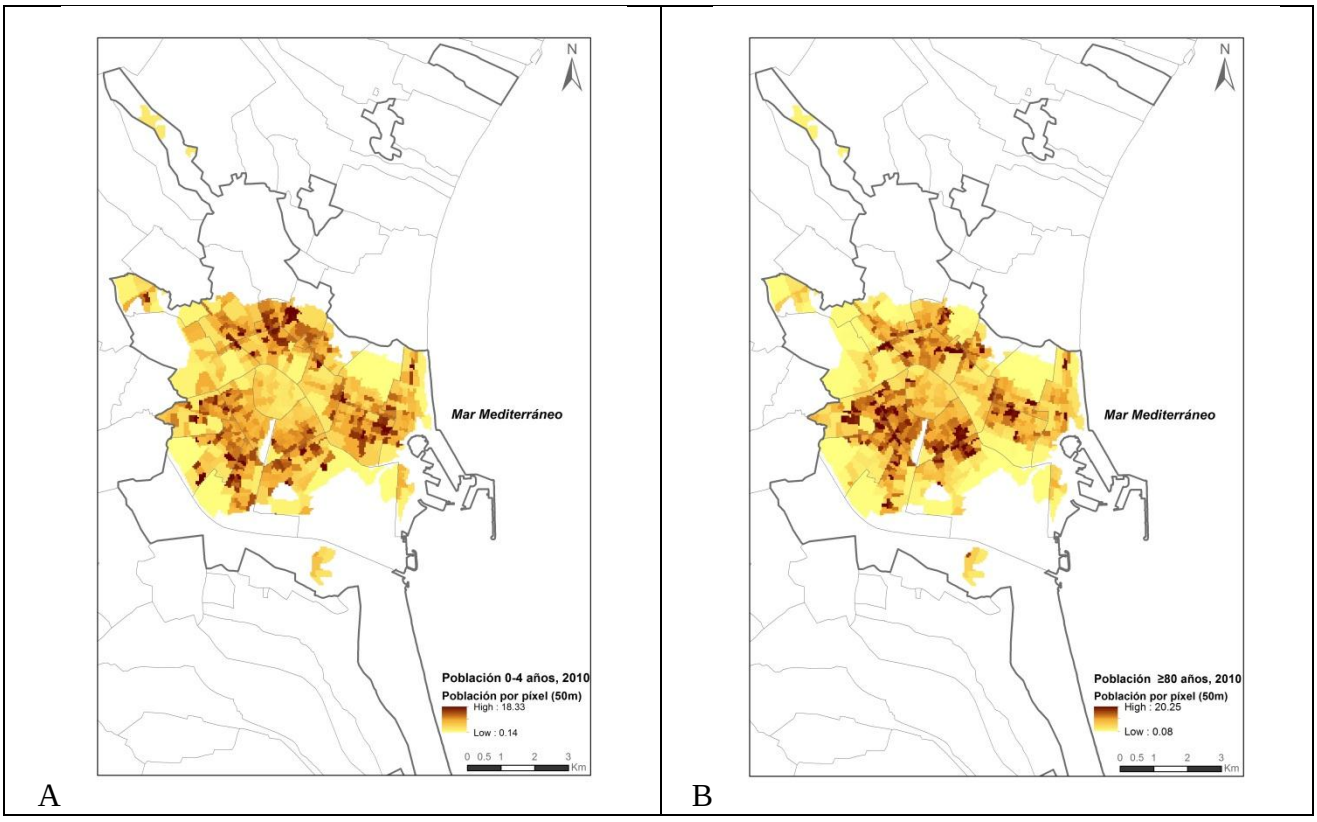



*Figura 3. Concentración media anual estimada de NO2 (izda.) y de PM10 (dcha.), Valencia, 2010. Fuente: Elaboración propia.*

En el caso de Valencia, el modelo intraurbano de los grupos de edad analizados (niños y ancianos) se corresponde con el patrón observado normalmente en las ciudades, en el que los ancianos abundan más en las zonas céntricas o interiores, mientras que los niños se ubican en áreas más próximas a la periferia. La comparación de las figuras 4 A y B así lo atestigua. En cuanto a la distribución de los grupos de inmigrantes se pueden observar algunas coincidencias y disparidades entre ellos. Mientras que los inmigrantes de origen europeo (C) muestran altas densidades en bastantes partes de la ciudad, incluidas las del centro, los restantes inmigrantes (figura 4 D, E y F) tienden a concentrarse principalmente en algunas zonas de la periferia o semi-periferia; a título de ejemplo los asiáticos (figura 4 F) exhiben una presencia más acentuada en el distrito de Camins al Grau (al E) y en ciertas secciones del S y del N. Esa desigual presencia de los grupos vulnerables en la ciudad supone una premonición de desigualdades en la exposición a calidades del aire diferentes.

**Análisis de la exposición potencial al aire contaminado**

Los métodos utilizados para la medición de la justicia ambiental han dado lugar a las tablas y gráficos que se muestran a continuación. En las tablas 1 y 2 se explicita en porcentajes la población expuesta a cada uno de los intervalos de contaminación establecidos: inferior o superior a los niveles medios anuales máximos permitidos, 40 μg/m$^3$ en el caso del $NO_2$ según a UE y 20 μg/m$^3$en el caso de las $PM_{10}$ según la OMS. Por otra parte, las balanzas (figuras 5 a 8) exhiben las diferencias porcentuales entre la exposición potencial de los grupos analizados y la correspondiente a la población total, tomada como norma de equidad.



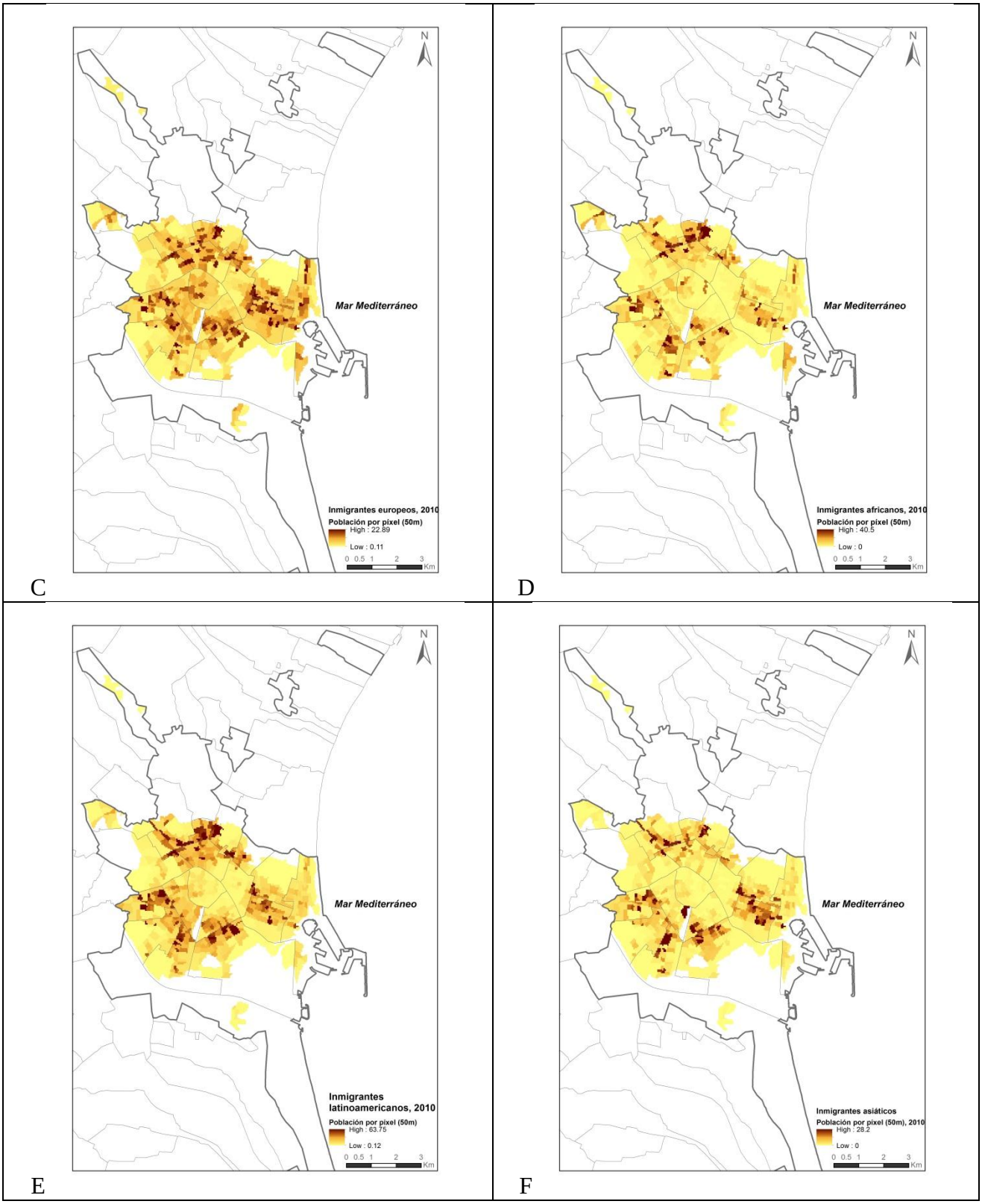



*Figura 4. Distribución de los grupos vulnerables en la ciudad de Valencia (España), 2010.*

*Tabla 1. Exposición potencial de los grupos sociodemográficos a la polución de NO2 en Valencia, 2010.*

| | % de población expuesta según concentración media anual de $NO_2$ | | |
|---|---|---|---|
| **Grupo demográfico** | **< 40 µg/m³** | **≥ 40 µg/m³** | **Total** |
| Población total | 96,21 | 3,79 | 100 |
| Pob. 0-4 años | 96,18 | 3,82 | 100 |
| Pob. 80 años y más | 96,47 | 3,53 | 100 |
| Inm. europeos | 97,10 | 2,90 | 100 |
| Inm. latinoamericanos | 94,86 | 5,14 | 100 |
| Inm. africanos | 95,78 | 4,22 | 100 |
| Inm. asiáticos | 93,22 | 6,78 | 100 |

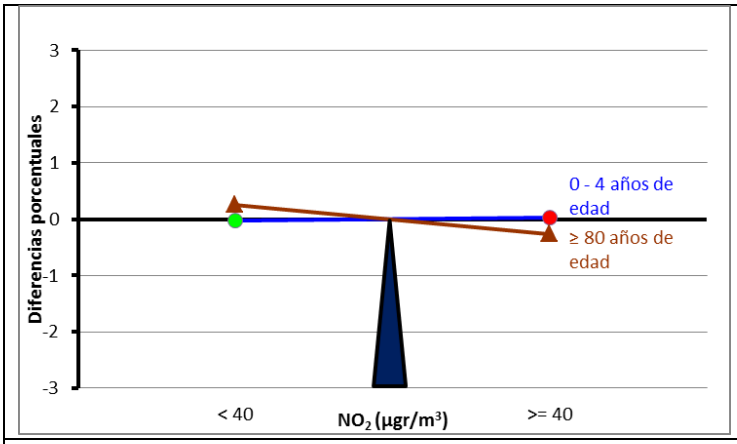



*Figura 5. Balanza ambiental de los grupos de edad para el NO2*

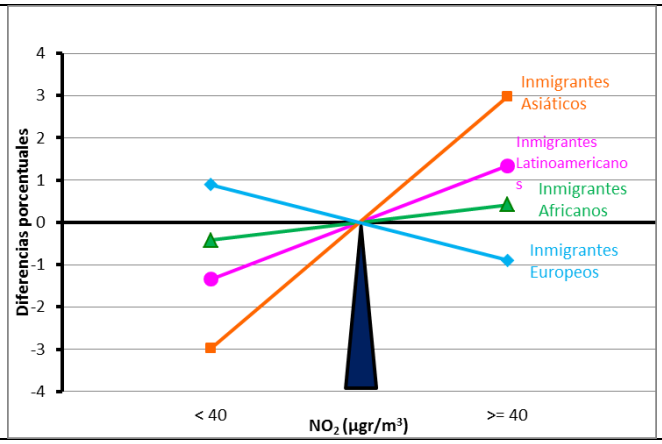



*Figura 6. Balanza ambiental de los grupos de inmigrantes para el NO2*

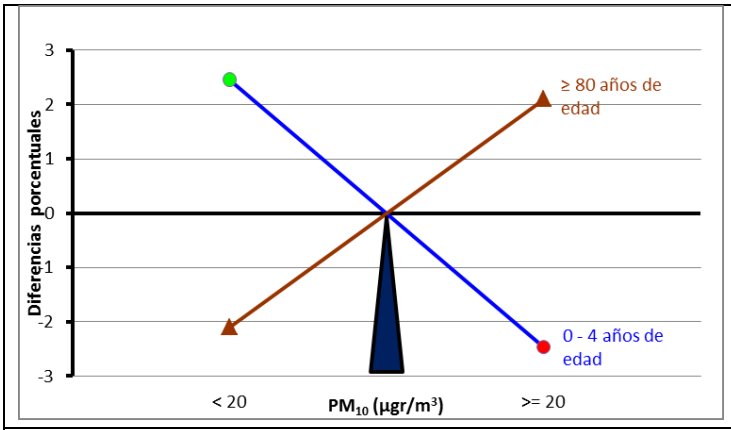



*Figura 7. Balanza ambiental de los grupos de edad para el PM10*

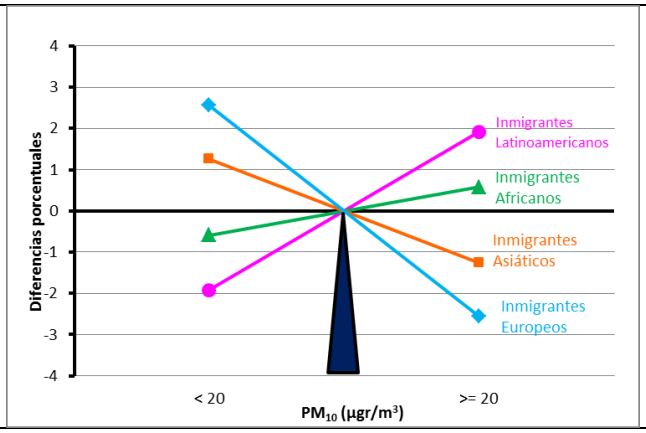



*Figura 8. Balanza ambiental de los grupos de inmigrantes para el PM10*

En el caso del $NO_2$ los grupos de edad contemplados, presentan pocos desequilibrios respecto a los valores observados en la población total. El grupo de niños (0-4 años) prácticamente coincide con la referencia adoptada (apenas ±0,03 de diferencia), mientras que el grupo de ancianos (80 años y más) estaría muy ligeramente beneficiado (±0,26) al aparecer algo más en áreas céntricas de la ciudad, mientras que los mayores niveles de contaminación solo están en la periferia sur.

En cuanto a los inmigrantes, se aprecian desigualdades de mayor entidad en la exposición potencial de todos los subgrupos. Los de origen europeo se encuentran algo beneficiados (±0,9), pero el resto se hallarían proporcionalmente perjudicados por su mayor presencia en la zona más contaminada (Quatre Carreres y Jesús), especialmente la población de origen asiático (± 2,98) y latinoamericano (±1,35).

*Tabla 2. Exposición potencial de los grupos sociodemográficos a la polución de PM10 en Valencia, 2010.*

| | **% de población expuesta según concentración media anual de $PM_{10}$** | | |
|---|---|---|---|
| **Grupo demográfico** | **< 20 µg/m$^3$** | **≥ 20 µg/m$^3$** | **Total** |
| Población total | 9,26 | 90,74 | 100 |
| Pob. 0-4 años | 11,73 | 88,27 | 100 |
| Pob. 80 años y más | 7,16 | 92,84 | 100 |
| Inm. europeos | 11,82 | 88,18 | 100 |
| Inm. latinoamericanos | 7,34 | 92,66 | 100 |
| Inm. africanos | 8,68 | 91,32 | 100 |
| Inm. asiáticos | 10,52 | 89,48 | 100 |

El distinto patrón espacial de la contaminación por las $PM_{10}$ da lugar a diferencias más contrastadas entre la población total y los grupos vulnerables. Ahora las únicas zonas por debajo del umbral permitido las encontramos en el noroeste y sureste de la ciudad (Campanar, Camins al Grau y Poblats Maritims). Por esta razón, el grupo de niños (0-4) se encuentra beneficiado (± 2,46) al tener mayor presencia en la periferia, frente al grupo de ancianos (80 años y más), perjudicado en este caso por ubicarse más hacia el interior (± 2,03).

En cuanto a los inmigrantes, los de origen europeo y asiático se hallarían beneficiados respecto a la población total (± 2,56 y ± 1,26, respectivamente) al tener altas densidades de población en la zona bajo el umbral máximo permitido mientras que los latinoamericanos y africanos, estarían perjudicados respecto a la norma de equidad (± 1,92 y ± 0,58, respectivamente).

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este estudio se puede colegir lo siguiente:

- En cuanto a la contaminación atmosférica se estima que la mayor parte del AUP de Valencia se hallaría en 2010 por debajo del umbral medio anual permitido (40 $\mu g/m^3$) de $NO_2$, según la UE, mientras que, por el contrario, el grueso de la ciudad superaría el valor medio anual permitido (20 $\mu g/m^3$) para las $PM_{10}$, según la OMS. Ello es una cuestión fundamental en la generación de inequidades.

- Todos los grupos de inmigrantes analizados han mostrado desequilibrios importantes respecto a la norma de equidad (población total). Sin embargo, en los grupos de edad considerados estas diferencias han sido exiguas en la exposición potencial al $NO_2$, pero sustanciales respecto a las $PM_{10}$.

- Se observan desigualdades notorias en la exposición potencial de los grupos de inmigrantes respecto a la población total y entre ellos, cuando se comparan los dos contaminantes: los inmigrantes europeos aparecen beneficiados respecto a la población total, mientras que latinoamericanos y africanos se encuentran en ambos casos perjudicados, si bien diferencia de estos últimos no es muy grande respecto a la población total. Los asiáticos se muestran perjudicados en la exposición potencial al $NO_2$, al presentar altas densidades en los distritos más afectados por este contaminante (Extramurs, Jesús y Quatre Carreres), pero algo favorecidos respecto a las $PM_{10}$.

- Las diferencias porcentuales en exposición no exceden en ningún caso de los 3 puntos, por lo que no podemos considerarlas severas.

Los hallazgos de esta investigación permiten reivindicar la necesidad de conocer y medir esta fuente de inequidades ambientales, de cara a minimizar los daños de ellas derivados. Las administraciones públicas deberían, pues, impulsar periódicamente estos análisis sobre la calidad ambiental e informar con ellos las decisiones y actuaciones sobre el territorio.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha elaborado en el marco de los proyectos de investigación “Contaminación atmosférica urbana y justicia ambiental: metodología de evaluación y estudio de casos con sistemas de información geográfica”, CSO2011-26177 y “Polución del aire, poblaciones vulnerables y salud: análisis de injusticias ambientales basados en geotecnologías”, CSO2014-55535-R, financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Cañada Torrecilla, R., Moreno Jiménez, A. y González Lorenzo, H. 2014. Modelado de la calidad del aire urbano. Un experimento metodológico con técnicas interpolación espacial. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, 65, 317-342. http://www.boletinage.com/articulos/65/15_canada_65.pdf
2. Colsa, A., González, H., Cañada, R. y Moreno, A. 2014. Caracterización de la calidad del aire en la ciudad de Valencia: Un análisis basado en la interpolación espacial de contaminantes. **XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica**, AGE, Alicante, pp.214- 224. ISBN- 84-940784-4-5
3. Landrigan, P.J., Rauh, V.A. & Galvez, M.P., 2010. Environmental justice and the health of children. **The Mount Sinai Journal of Medicine**, 77 (2), 178-187.
4. Moreno Jiménez, A. 2010. Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en análisis de políticas y planificación territoriales, **Scripta Nova,** vol. XIV, 316. 1 de marzo de 2010. 33 p. http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-316.html
5. Moreno Jiménez, A. 2013. Población y polución atmosférica intraurbana por dióxido de nitrógeno en Madrid: análisis desde la justicia ambiental basado en sistemas de información geográfica. **Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada**. 52, 1, 84-107. http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/download/927/1078
6. Moreno Jiménez, A., Cañada Torrecilla, R., Martínez Suárez, P., Vidal Domínguez, M.J. y Palacios García, A. 2015. Exposición potencial de grupos vulnerables urbanos a contaminación del aire por $PM_{10}$: evaluación en grandes ciudades españolas mediante la balanza de la justicia ambiental. En: **XV Encuentro de Geógrafos de América Latina. Memorias.** La Habana, Distribuidora Nacional ICAIC, Edición DVD, 15 p.
7. Pattison, W. D. 1964.The four traditions of geography, **Journal of Geography**, 63, 211-216
8. Walker, G. 2012. Ed. **Environmental justice: concepts, evidence and politics**. London, Routledge.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# DETERMINACIÓN DE SITIOS DE INTERÉS PARA LA OBTENCIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

**Di Franco, L.[1,2]; Caloni, N.[1]; De Vito, J.[1,3]; Natale, D.[1] y P. Flores[1,4]**
**1.- Universidad Nacional de Gral. Sarmiento – Instituto del Conurbano - LABSIG-TECSIG**
**2.- Universidad Nacional de Luján - Dpto. de Ciencias Básicas – PRODITEL**
**3.- Comisión Nacional de Actividades Espaciales - Proyecto SOPI**
**4.- Instituto de Ciencias - Lab. de Química- Becaria SIASGE**
**([ldifranco, ncaloni, jdevito, dnnatale, pflores]@ungs.edu.ar)**

**RESUMEN**

El siguiente trabajo forma parte de las actividades del proyecto "Análisis espacial de la Región Metropolitana de Buenos Aires mediante el uso de información proporcionada por sensores remotos". En este marco y como parte de los objetivos planteados se trabaja en la selección de sitios para la obtención de firmas espectrales a partir de la medición *in situ* con radiómetro de campo. Las firmas mencionadas se encuentran adaptadas a la zona de estudio, en particular relacionada a coberturas urbanas y periurbanas de la Región Metropolitana de Buenos Aires, y serán de libre acceso por parte de la comunidad de usuarios, para su utilización con fines académicos, a través de la IDE del Conurbano de la Universidad Nacional de General Sarmiento. La selección de los sitios de interés para la obtención de las firmas mencionadas debe contemplar las principales coberturas presentes en la zona. Por ello se establecieron criterios para su determinación que incluyeron elementos de interpretación visual y digital de imágenes satelitales y el apoyo de *Google Earth*. Entre los resultados esperados se espera que las mismas puedan ser utilizadas para la enseñanza de la teledetección y en la caracterización espectral de diferentes coberturas de la zona.

**Palabras claves:** Espectro Radiómetro, Firma espectral, Comportamiento espectral, Librería de firmas espectrales.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto denominado "Análisis espacial de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) mediante el uso de información proporcionada por sensores remotos" se presentó para su evaluación a partir de un llamado anual de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS). Como objetivo general del mismo se planteó analizar los usos del suelo en la Región Metropolitana de Buenos Aires a partir de la información aportada por el satélite SPOT. Esto supone una actualización de los datos generados en un proyecto anterior, disponibles actualmente en el visor de mapas que posee el Laboratorio de SIG (LabSIG) del Instituto del Conurbano (ICO). Los avances que suponen esta actualización de la información se relacionan con dos aspectos relevantes: la resolución espacial de los sensores SPOT utilizados como fuente de datos y la inclusión de un radiómetro de campo para la determinación de firmas espectrales.

En el marco de este proyecto las imágenes SPOT son provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) a partir de un convenio celebrado en el año 2013 y poseen resoluciones espaciales de 20 y 10 m para el caso del Sensor SPOT4 y 10-5-2,5 m para el Sensor SPOT5. El radiómetro, en cambio, corresponde a una adquisición del LabSIG junto con la Tecnicatura Superior en SIG para investigación y el dictado de clases teóricas en el marco de la asignatura Teledetección y procesamiento digital de imágenes satelitales. Este radiómetro permite la construcción de firmas espectrales de acuerdo a diferentes longitudes de onda, en rangos espectrales similares a las bandas del satélite SPOT.

La heterogeneidad de coberturas presentes en el área de estudio supone un desafío particular en la selección de sitios para la toma de muestras con radiómetro, por ello el principal objetivo de este trabajo es determinar muestras de interés para la obtención de firmas espectrales en la RMBA.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Región Metropolitana de Buenos Aires ocupa un territorio urbanizado de aproximadamente 2.400 Km2, y allí residen, según el censo del año 2010, 14.819.137 millones de habitantes. Concentra el 95% del total de la población de la provincia de Buenos Aires, en el 4% de su territorio. Dicha región se encuentra conformada por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y 40 municipios, que constituyen el denominado Conurbano Bonaerense. Según el criterio que define la Región Metropolitana, que tiene en cuenta los movimientos pendulares diarios que realizan sus habitantes para desarrollar sus actividades cotidianas (Kralich, 1999; Blanco, 1999), se puede realizar una división en 4 zonas: CABA y los diferentes partidos que integran la primer, segunda y tercer corona (Figura N°1).

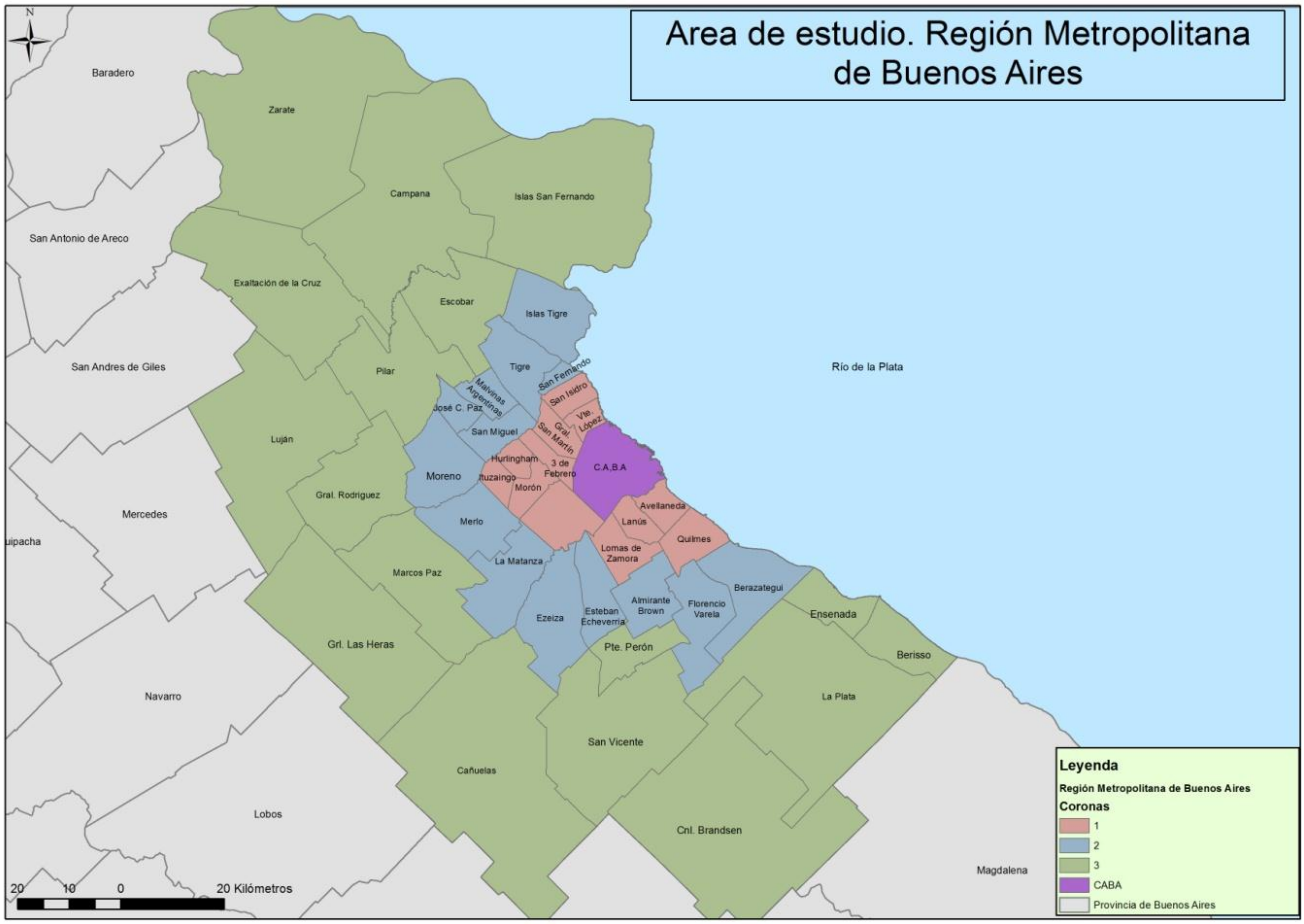



*Figura 1. Región Metropolitana de Buenos Aires. Coronas.*
*Fuente: Elaboración propia.*

Este espacio está definido por su multiplicidad de usos del suelo, principalmente en las áreas de borde. La primera y segunda corona están caracterizadas por la predominancia del uso residencial, en mixtura con usos industriales (aunque en menor medida). En cambio, la tercera corona, que en la bibliografía especializada se la denomina como borde periurbano, presenta una mixtura de usos que la hace diferente al resto de la RMBA. Desde el punto de vista ecológico, Morello define al periurbano como *"un espacio donde se acumulan discontinuidades de servicios urbanos y rurales, y donde se concentran metabolitos de compleja y pesada digestión"*. Las áreas periurbanas son zonas de alta fricción ambiental, con una fuerte competencia por las funciones ambientales. En el espacio periurbano de la RMBA compiten por el suelo el uso residencial, polarizado principalmente entre los emprendimientos privados (clubes de campo, barrios cerrados, countries, etc) y los asentamientos precarios (población expulsada de la ciudad tradicional), el uso agrícola, espacios vacantes, y grandes naves industriales (aisladas o en confinados en parques industriales).

## Imágenes satelitales

### *Satélite SPOT(Systeme Probatoire d'Observation de la Terre)*

El primero de ellos fue lanzado en el año 1986 (SPOT 1) y hasta la fecha se han puesto en órbita siete satélites incluyendo el más reciente el 30 de junio de 2014 (SPOT 7). A partir del año 2002 con el lanzamiento del SPOT 5 se mejora notablemente la resolución espacial de las imágenes, pudiendo lograr resoluciones espaciales de hasta 2.5 metros en modo pancromático, el periodo de revisita es de 26 días pero los últimos sensores incluyen tecnología para orientar rápidamente el sensor y enfocar un punto determinado en la Tierra en torno a su posición, lo que permite reducir su periodicidad. Las aplicaciones más comunes de estos sensores cuyas escala cartográfica puede alcanzar 1/25.000 son: usos del suelo, deforestación, monitoreo ambiental, vigilancia marítima, industria del petróleo y actividades productivas en general.

Las escenas obtenidas para la realización del proyecto marco provienen del Centro Espacial Teófilo Tabanera de la CONAE ubicada en la provincia de Córdoba en la República Argentina. Esta estación de telemetría, telecomando y control, tiene la posibilidad de adquirir imágenes de pasadas futuras como también de ofrecer un catálogo de escenas SPOT 4 y 5 almacenadas desde enero de 2012 a la fecha (Tabla N°1).

*Tabla 1. Características de las imágenes SPOT utilizadas.*

| | |
|---|---|
| **Bandas** | B1 (verde): 0,50-0,59 µm<br>B2 (roja): 0,61-0,68 µm<br>B3 (infrarroja cercano): 0,79-0,89 µm<br>B4 (infrarrojo medio):1,58-1,75 µm<br>P (Pancromática): 0,51-0,73 µm |
| **Escenas** | 60 x 60 km |
| **Revisita** | 26 días o 3 a 6 días vista oblicua |
| **Formato de salida** | GeoTiff |

### *Imágenes EO-1-Hyperion*

El satélite EO-1 de la NASA fue lanzado en el año 2001 como parte de una misión de validación/demostración y provee una nueva clase de datos que mejoran la caracterización de la superficie terrestre. Posee un instrumento llamado Advanced Land Imager (ALI multiespectral) y otro denominado Hyperion (hiperespectral), las imágenes adquiridas se archivan y distribuyen a través del EROS (Earth Resources Observation and Science) del Servicio Geológico Minero de EE.UU (USGS) de manera gratuita. Este último instrumento ofrece datos en más de 200 bandas espectrales entre los 0.4 y los 2.5 µm con una resolución de 30 metros cubriendo una superficie de 7.5 km por 100 km.

**El radiómetro JAZ**

Este radiómetro de la marca Ocean Optics© es un sensor modular que permite capturar datos en tiempo real durante los trabajos de campo. El radiómetro permite la construcción de firmas espectrales de acuerdo a diferentes longitudes de onda (0.35-0.95 µm), en rangos espectrales similares a las bandas del satélite SPOT y del Hyperion. La sinergia que ofrecen las imágenes del sensor SPOT en conjunto con los datos de campo colectados por el radiómetro JAZ permiten validar el proceso de clasificación multiespectral.

**Software**

Los programas utilizados para el procesamiento de las imágenes satelitales y los datos obtenidos a campo fueron el ENVI© y el SPECTRASUITE© respectivamente.

**Métodos**

La metodología consistió en el procesamiento de la imagen EO1-Hyperion (9/07/2004, nivel de procesamiento 1L con formato GeoTIFF) desde donde se extrajeron los píxeles puros que se utilizarán para la obtención de firmas espectrales. Este procesamiento incluyó dos etapas, el preproceso, la identificación de los *endmembers* o componentes puros y la ubicación en la imagen Spot correspondiente.

***Preprocesamiento***

La imagen del sensor EO1-Hyperion fue corregida radiométricamente y corregida atmosféricamente utilizando el programa ENVI. En el rango del VNIR la imagen tiene 70 bandas de las que sólo 50 se encuentran calibradas, mientras que el SWIR tiene 172 bandas de las que sólo 148 están calibradas. En total son 198 bandas calibradas que cubren el espectro desde los 426 a 2395 nm. Siguiendo la bibliografía se removieron las bandas no calibradas, también las bandas 77 y 78 fueron eliminadas porque presentan valores bajos de SNR y se superponen con las bandas 56 y 57, respectivamente. Posteriormente, se realizó una revisión manual y se detectaron otras bandas con franjas verticales que también fueron eliminadas (Beck, 2003). Sin embargo, entre las longitudes de onda 425 y 870 se observaron valores incoherentes entre canales consecutivos, por lo que se decidió descartar del conjunto de bandas aquellas con valores mínimos para evitar confusiones en la identificación de elementos puros. Por último, teniendo en cuenta que la imagen descargada se encuentraba corregida geométricamente no fue necesario realizar otra corrección por efectos topográficos.

***Extracción de componentes puros (endmembers)***

La extracción de componentes puros se realizó utilizando las herramientas disponibles en el software ENVI: Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC) y Spectral Hourglass Wizard (SHW). El primer procedimiento analiza el valor (puede ser radiancia o reflectancia) de los píxeles en una matriz dada y utiliza un modelo de cono que sitúa a cada pixel dentro del volumen. El proceso evalúa todos los pixeles de la matriz y realiza iteraciones a fin de obtener los máximos ángulos posibles entre los pixeles con valores extremos, estos luego se consideran componentes puros. En tanto que el segundo procedimiento incluye algoritmos de reducción de dimensión espectral –Minimum Noise Transform y PCA-, reducción de dimensión espacial– Purity Pixel Index, - y desmezclado lineal – Spectral Angle Mapping & Mixture Tuned Matched Filtering).

Los píxeles obtenidos con este procesamiento se convierten en las muestras desde donde se obtendrán las firmas espectrales con el radiómetro de campo, para ello es necesario ubicarlas en la imagen Spot 5 de órbita 697/419, con fecha de adquisición 29 de noviembre de 2013, este procedimiento se realiza con el soporte de alta resolución espacial que brindan las imágenes de Google Earth©. Una vez recolectado el dato de campo se procesa con el SPECTRASUITE para establecer la firma espectral.

**RESULTADOS**

La utilización de la metodología planteada permitió generar mapas de abundancia de acuerdo a los endmembers encontrados (Figura N°2). Dichos endmembers fueron configurados para obtener valores entre 0 y 1, seleccionando, por defecto, 30 mapas de abundancia. En términos cuantitativos, los valores de abundancia en cada uno de los mapas generados por SMACC son bajos porque se han solicitado múltiples endmembers y se ha considerado el total de bandas en el análisis. Por ello, se deberá aplicar un algoritmo para reducir las dimensiones de forma previa al uso de SMACC y mejorar la precisión del procesamiento.

Los valores de los endmembers determinaron los píxeles puros sobre los cuales se tomaron las muestras con el radiómetro, a partir de allí se generaron diferentes firmas espectrales que se utilizarán en etapas posteriores en el proyecto marco. Las mismas se encuentran disponibles en la IDE Conurbano de la UNGS (Figura N°3).

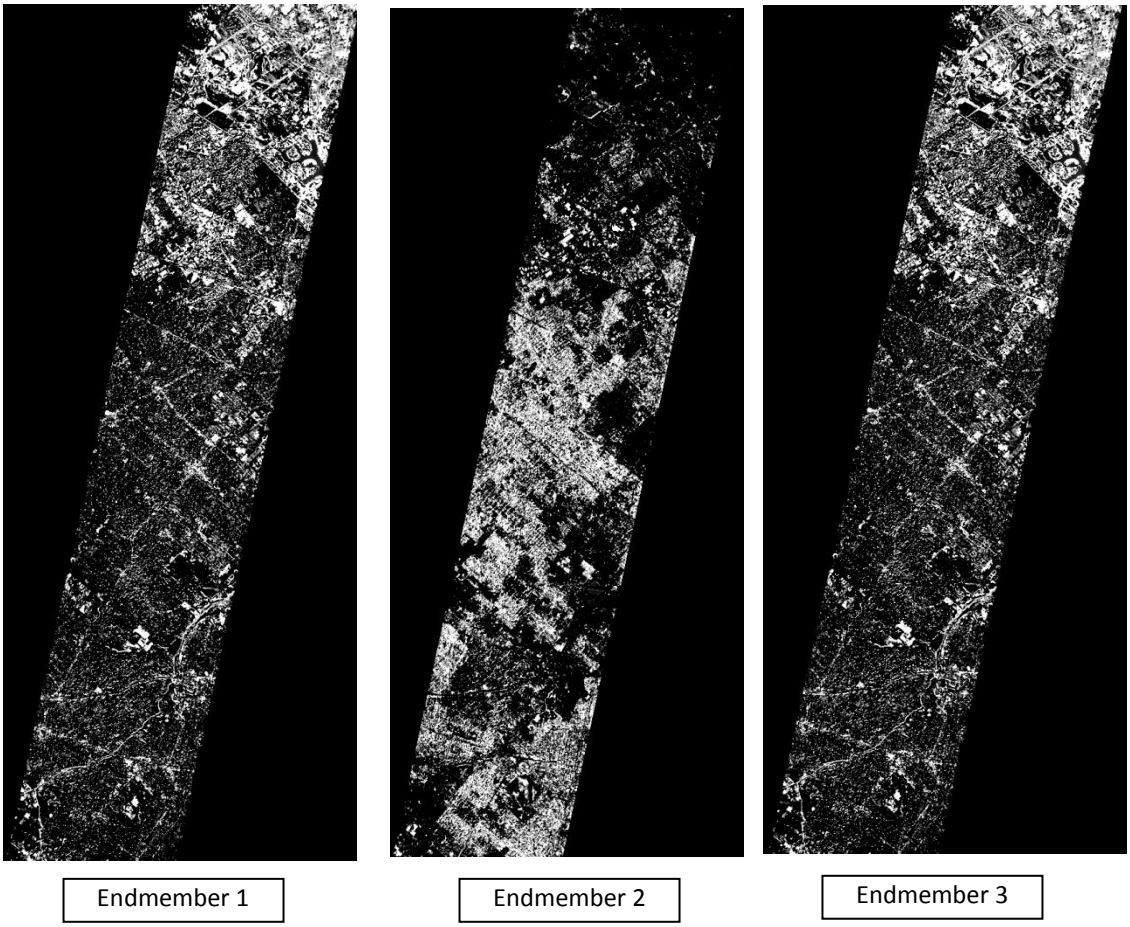



*Figura 2. Mapas de abundancias obtenidos por SMACC para los primeros tres endmembers. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 3. Ejemplo de firma espectral a partir de la determinación de  píxeles puros. Fuente: Elaboración propia.*

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Barsky, A. (2005). "El periurbano productivo, un espacio en constante transformación. Introducción al estado del debate, con referencias al caso de Buenos Aires". Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 Vol. IX, núm. 194 (36).
2. Beck, R. (2003). EO-1 User Guide v. 2.3. Department of Geography University of Cincinnati.
3. Bruzzone, L. y Fernandez Prieto, D. 2000. "An adaptative parcel-based technique for unsupervised change detection", International Journal of Remote Sensing, 21: 817-822.
4. Capel, H. (1994 9"Las periferias urbanas y la geografía. Reflexiones para arquitectos. Barcelona": En Capel H. La geografía hoy. Textos, historia y documentación, Materiales de trabajo intelectual. Barcelona: Anthropos. Nº 43.
5. Chuvieco, E. y Justice, C. 2008. "NASA Earth Observation Satellite Missions for Global Change Research" en Earth Observation and Global Change. New York, Springer 23-47.
6. García Ramón, M. D.; Tullas i Pujol, A.; Valdovinos Perdices, N. (1995) Geografía rural. Síntesis. Madrid
7. Gruninger, J, A. J. Ratkowski and M. L. Hoke. "The Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC) Endmember Model". *Proceedings SPIE*, Algorithms for Multispectral and Hyper-spectral and Ultraspectral -Imagery, Vol. 5425-1, Orlando FL, April, 2004
8. Howarth, P.J. And Boasson, E. 1983. Landsat Digital Enhancements for Change Detection in Urban Environments. Remote Sensing of Environment. 13, 4: 291-300.
9. Hohmann, P. And Altrogge, G. 1988. The use of SPOT and CIR aerial photography for urban planning. Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hannover, Nienburger Strasse 1, o 3000 Hannover, Fed. Rep. of Germany
10. http://eo1.gsfc.nasa.gov
11. http://www.exelisvis.com/docs/hyperionvegetationanalysistutorial.html
12. http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/SMACC.pdf
13. Kralich, S. (1999). "Aptitud de la red de transporte urbano para la delimitación de la metrópolis en expansión". Actas del V Seminario Internacional de la RII. Toluca: Red de Investigadores Iberoamericana sobre Globalización y Territorio. CD-Rom.
14. Mateu Sánchez, A y Ruiz Fernández, L.A. 1999. Comparación y evaluación de métodos de normalización radiométrica relativa. Revista de Teledetección. 12, 99-103.

15. Martin L.R.G And Howarth, P.J. 1989. Change-detection accuracy assessment using SPOT multispectral imagery of the rural-urban fringe. Remote Sensing of Environment. 30, 1:55-66.
16. Morello, J. (1996). Funciones del sistema periurbano: el caso de Buenos Aires. Mar del Plata Universidad Nacional del Mar del Plata, Argentina. Ediciones CIAM/GADU.
17. Subsecretaría de Urbanismo y Vivienda de la provincia de Buenos Aires. Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial. (2007). "Lineamientos Estratégicos para la Región metropolitana de Buenos Aires":
18. Petropoulos, G.; Kostas Arvanitis, Nick Sigrimis. Hyperion hyperspectral imagery analysis combined with machine learning classifiers for land use/cover mapping. *Expert Systems with Applications 39* (2012) 3800–3809
19. Ridd, M.K. And Liu, J. 1998. A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment. Remote Sensing of Environment. 63, 2: 95-100.
20. SPECTRASUITE, User´s manual. Ocean Optics, 2012.
21. USGS (2015). EO1 User Guide. <https://eo1.usgs.gov/documents/EO1userguidev2pt320030715UC.pdf> Visto 28.01.15
22. Xiaojun, y Lo, C.P. 2000.Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi–Date Satellite Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.66, 8, 967 – 980.
23. Yuan, D., Eldvidge, C.D., 1996. Comparison of relative radiometric normalization techniques. ISPRS J.Photogram. Remote Sensing. 51,117 -126.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# LAS BASES DE DATOS DE DETALLE Y SU CAPACIDAD PARA LA MEDIDA DE ÍNDICES DE SOSTENIBILIDAD DEL TERRITORIO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MUNICIPIOS MADRILEÑOS DE LEGANÉS Y LAS ROZAS

**Santos Preciado, José Miguel[a]; Azcárate Luxán, María Victoria[b]; Borderías Uribeondo, María del Pilar[c]; Cocero Matesanz, David[d]; Muguruza Cañas, María del Carmen[e]; Prieto Flores, María Eugenia[f]; Santa Cecilia Mateos, Fernando[g]**

**Grupo de investigación de Tecnologías de la Información Geográfica**
**Universidad Nacional de Educación a Distancia**
**[a](jsantos@geo.uned.es)**
**[b](mazcarate@geo.uned.es)**
**[c](pborderias@geo.uned.es)**
**[d](dcocero@geo.uned.es)**
**[e](mmuguruza@geo.uned.es)**
**[f](meprietof@geo.uned.es)**
**[g](fsantacecilia@madrid.uned.es)**

**RESUMEN**

El objetivo de la ponencia que presentamos es mostrar las posibilidades que las bases de datos de detalle, como el Catastro de Urbana y el proyecto SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España), ofrecen, a la hora de valorar, en un entorno SIG, determinados índices de sostenibilidad. La novedad que introducen ambos repositorios de información básica es el planteamiento de unidades espaciales flexibles, de reducido tamaño, que reflejan la mezcla de los usos del suelo, más allá de su categorización limitada y de carácter exclusivo, lo que permite enfrentar las tareas de la investigación territorial con un alto grado de racionalidad y eficacia.

La utilización de este tipo de indicadores, en la comparación de la estructura urbana de los municipios madrileños de Leganés y Las Rozas, vinculados a los modelos compacto y disperso de la ciudad, nos ha permitido mostrar, de forma cuantitativa, la diferencia de estándares respecto a la sostenibilidad del territorio.

**Palabras claves:** Catastro de Urbana; Estructura Urbana; Sistemas de Información Geográfica; Proyecto SIOSE; Usos del Suelo.

## INTRODUCCIÓN

El modelo urbano disperso, referente fundamental del desarrollo urbano madrileño de los últimos años, está agravando muchos de los problemas de la ciudad actual, fáciles de detectar si contrastamos los efectos producidos por el mismo respecto a otros modelos urbanos más respetuosos con el medio y menos dilapidadores de los recursos. Una primera aproximación a los problemas generados por la sustitución gradual de patrones compactos, habituales en la ciudad tradicional, por patrones de dispersión urbana (Pellicer Corellano, 1998), podríamos cifrarlos en:

- *Consumo de suelo urbanizado*: las densidades de este tipo de urbanización son muy bajas, lo que incrementa la superficie de suelo por persona destinada a la urbanización.

- *Mayor consumo de energía por vivienda*: la vivienda aislada no cuenta con los factores inerciales del edificio de viviendas en su conjunto.

- *Ruptura de la ciudad como espacio de relación y socialización*: resultado de la fragmentación y especialización de las diferentes piezas urbanas.

- *Incremento de la movilidad obligada*: consecuencia de la separación de los usos del suelo y aislamiento de todo tipo de funciones urbanas en el espacio.

El debate de hoy en día enfrenta dos concepciones muy distintas entre sí: ciudad compacta versus ciudad dispersa (Ferrás Sexto, 2000). En general, la ciudad compacta, al contrario que la dispersa, incrementa la densidad, intensificando el número potencial de contactos con un menor consumo energético y de espacio. Esta circunstancia acrecienta su complejidad a la par que disminuye el número de vehículos que circulan por ella. La proximidad de los usos del suelo permite la existencia de un transporte público más eficiente y racional, implicando una economía de los recursos y un menor coste ambiental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La comparación de ambos modelos de ciudad, compacto y disperso, permite valorar su distinta capacidad para resolver los potenciales conflictos territoriales, de acuerdo a principios de optimización económica, sostenibilidad y equidad social y medioambiental muy variados. Para ello, hemos seleccionado un conjunto de indicadores capaces de medir, de manera contrastada, la sostenibilidad territorial de dos municipios del entorno metropolitano de Madrid, a partir de bases de datos de detalle (Catastro de Urbana y SIOSE), lo que define un procedimiento de análisis provechoso y eficaz.

## 2. 1. Algunos indicadores de medida de la sostenibilidad medioambiental y territorial

El documento elaborado sobre el sistema municipal de sostenibilidad por el Ministerio de Fomento (2010) define un panel de indicadores, capaces de medir el nivel de sostenibilidad en el desarrollo urbanístico de un municipio, en aras a lograr un urbanismo compacto, eficiente y cohesionado socialmente. Este trabajo nos ha servido de referencia en la concreción de los indicadores de sostenibilidad a utilizar en nuestro estudio. Entre los que consideramos de mayor interés, para la formalización y medición del nivel de sostenibilidad de un territorio, hemos recopilado los siguientes:

***Ocupación de los usos del suelo:*** proporción de superficie ocupada por los usos del suelo urbano, respecto a la superficie total del municipio.

***Densidad de población:*** número de habitantes por superficie de suelo urbano y número de viviendas por superficie total.

***Compacidad urbana:*** relación entre la superficie construida (que incluye la superficie en altura) y la ocupada en planta. Este indicador es representativo de la altura media de la edificación sobre la totalidad del área considerada.

***Zonas verdes por habitante:*** superficie ocupada por las zonas verdes urbanas y su relación con el número de habitantes.

***Complejidad urbana:*** término de complejidad, sinónimo de biodiversidad, como índice del grado de multifuncionalidad de cada ámbito territorial. El indicador de complejidad urbana lo hemos obtenido aplicando el índice de Shannon-Wiener:

$$H = \sum_{k=1}^{n} \text{Pi Ln Pi}$$

donde: *n* es el número de tipos de actividad diferentes, *Pi* es la abundancia relativa de cada especie, en tanto por ciento (uso del suelo, en este caso) y *Ln (Pi)* es el logaritmo neperiano sobre la abundancia relativa de cada especie.

***Equilibrio entre actividad y residencia:*** superficie productiva (actividades comercial, industrial y de oficinas) por habitante.

***Nivel de fragmentación territorial residencial:*** superficie del suelo considerado como "tejido urbano discontinuo"[1], respecto a la superficie de suelo urbano total.

## 2. 2. Las bases de datos del Catastro de Urbana y SIOSE

Dos bases de datos sobresalen, actualmente, por encima de las demás, en cuanto a la disponibilidad de información detallada y fácilmente utilizable en un SIG: el *Catastro de Urbana*, elaborado por la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, y el *proyecto SIOSE* (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España), nacido del esfuerzo y coordinación de la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas. Ambas bases de datos nos han servido para calcular los indicadores descritos con anterioridad.

La mayor particularidad de ambos repositorios de datos es que rompen con la tradicional manera de organizar la información relativa a los usos del suelo de un territorio o región. "La mayoría de los sistemas de información sobre la ocupación del suelo se basan en clasificaciones fijas, que asignan a cada polígono en que se divide un territorio concreto una única categoría, según criterios de homogeneidad, a partir de una serie de reglas" (Goerlich y Cantarino, 2012). Describiremos, brevemente, su contenido y posibilidades de manejo.

### *2. 2. 1. El Sistema de Información de Ocupación del Suelo (SIOSE)*

El proyecto SIOSE surge en España, en el año 2005, como necesidad de generar una nueva base de datos de ocupación del suelo a escala nacional, con mayor nivel de detalle. La idea básica del proyecto respondía a la necesidad de actualizar este tipo de información y permitir su integración con otras bases de datos de ocupación del suelo, tanto europeas (como el Corine Land Cover: CLC), como mundiales (por ejemplo, el Global Cover).

A diferencia de los modelos de tipo jerárquico, como CLC, en los que existe un número fijo de clases distintas, siempre fijas, SIOSE resulta más versátil. En este sistema, la unidad de trabajo es el polígono, única entidad, con geometría propia, a la que se asocia, bien una "cobertura simple" de usos del suelo, cuando esta es única, bien una "cobertura compuesta", cuando se encuentra formado por dos o más coberturas simples y/o compuestas a su vez. Las coberturas compuestas pueden ser agregaciones arbitrarias o responder en la realidad a una cierta representatividad del territorio, en cuyo caso se denominan "coberturas compuestas predefinidas". Del total de 45 coberturas compuestas predefinidas, identificadas por SIOSE, 41 corresponden a cobertura artificiales (Ministerio de Fomento, 2011).

[1] De acuerdo a los criterios de SIOSE.

### *2. 2. 2. Bases del Sistema Cartográfico Catastral*

El catastro se organiza a partir de la *parcela catastral*, como unidad básica de gestión, definida como "el terreno cerrado por una línea poligonal que delimita el ámbito espacial del derecho de propiedad de un propietario o de varios proindiviso" (Guimet Peña, 2003). Es, por tanto, la unidad de tratamiento fundamental a la que se refieren los datos catastrales. Cada parcela se identifica, obligatoriamente, de forma unívoca, por una única referencia catastral[2].

Otro elemento fundamental, a efectos catastrales, es el de *bien inmueble* o porción de suelo de una misma naturaleza, contenido en una parcela catastral, enclavada en un término municipal[3]. Cada parcela catastral está integrada por uno o varios bienes inmuebles, de igual o diferente actividad, pudiendo ocupar las diversas plantas de un mismo edificio. Así, una parcela residencial multifamiliar puede contener viviendas, comercios y/o oficinas. La superficie total de los usos del suelo ocupados por la parcela será la suma de los correspondientes a los bienes inmuebles.

El interés de emplear la parcela catastral, como unidad espacial en los estudios geográficos, se deriva de la información que contiene. A las variables de tipo físico, definidas por la forma y dimensiones del recinto que la delimita, hay que añadir otras de tipo funcional, relativas al uso y destino de la edificación de cada uno de los bienes inmuebles allí presentes, así como el año de su construcción. El problema consiste, sin embargo, en como extraer, de manera selectiva, para cada parcela, los bienes inmuebles incluidos en la misma, correspondientes a cada uno de los usos del suelo allí consignados. La operación de extracción de los bienes inmuebles, contenidos en cada parcela, la hemos llevado a cabo, a partir de las funcionalidades propias al gestor de bases de datos Open Access[4].

De todos los usos representados en la parcela catastral, referidos con anterioridad, hemos estimado como más representativos, por la especial vinculación que tienen con el desarrollo del planeamiento urbano, los siguientes: *residencial,* correspondiente al alojamiento de personas y sus familias; *comercial,* que comprende aquellas actividades destinadas a suministrar mercancías al público, o a prestar determinados servicios a los particulares; *industrial,* que tiene por finalidad llevar a cabo las operaciones de

[2] La referencia catastral de una parcela está formada por 14 caracteres. Los siete primeros son dígitos que se calculan a partir de las coordenadas UTM de su centroide, y los siete siguientes identifican la hoja de la cartografía catastral del municipio en que aquella se encuentra.

[3] A cada bien inmueble se le asigna, como identificador, una referencia catastral específica, constituida por un código alfanumérico, que permite situarlo inequívocamente en la cartografía oficial del catastro. Los distintos bienes inmuebles contenidos en una parcela tienen una referencia catastral individualizada, que se obtiene, añadiendo a los catorce caracteres anteriores de la parcela otros seis, cuatro para su numeración correlativa y dos reservados como caracteres de control.

[4] Para ello, se ha realizado una consulta selectiva sobre la base de datos correspondiente a los registros de bienes inmuebles, para ambos municipios, teniendo presente los catorce primeros dígitos de la referencia catastral correspondiente a cada bien inmueble, que coinciden con la referencia catastral de cada parcela.

elaboración, transformación, reparación, almacenaje, y distribución de productos manufacturados y *de oficinas*, que corresponde a aquellas actividades terciarias que se dirigen, como función principal, a prestar servicios de carácter administrativo, técnico, financiero, de información u otra naturaleza.

En conjunto, resultan un total de cinco categorías a considerar inicialmente (usos residenciales de vivienda unifamiliar y multifamiliar, uso comercial, uso industrial y uso de oficinas), lo que supone una notable variedad en cuanto a la desagregación de categorías se refiere. El número de posibles agrupaciones de dichas categorías, de acuerdo a la teoría combinatoria, y a su presencia real en el caso que nos ocupa, es muy elevado, por lo que hemos ajustado el resultado de las combinaciones a únicamente ocho categorías (residencial unifamiliar exclusivo y dominante, residencial multifamiliar exclusivo y dominante, comercial, industrial, de oficinas, y mixto de comercio, industria y/o oficinas). A dichas categorías hemos añadido las correspondientes a los usos destinados a equipamientos sanitarios y educación y cultura.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objeto de ofrecer una idea de lo provechosa y fecunda que puede resultar la utilización de los repositorios de datos del Catastro de Urbana y SIOSE, en el estudio del fenómeno de la compacidad-dispersión de la ciudad, hemos seleccionado, para su análisis contrastado, los municipios madrileños de Leganés y Las Rozas. La representación cartográfica catastral de ambos municipios de manera separada, puede apreciarse en las figuras 1 y 2.




*Figura 1. Parcelario catastral urbano del municipio de Alcorcón.*
*Fuente: Catastro de Urbana y Elaboración Personal.*

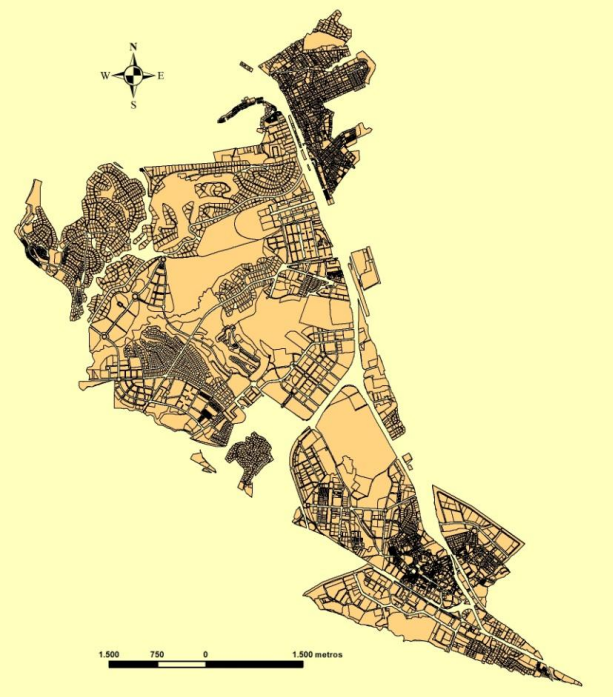



*Figura 2. Parcelario catastral urbano del municipio de Las Rozas.*
*Fuente: Catastro de Urbana y Elaboración Personal.*

El número de parcelas catastrales correspondientes a ambos municipios es de 5.678 en el caso de Alcorcón y de 7.912 en el de Las Rozas. Igualmente, el número de bienes inmuebles es, respectivamente, de 227.892 y 185.223. Las representaciones cartográficas de los usos del suelo derivados, correspondientes a ambos municipios, es la de las figuras 3 y 4.

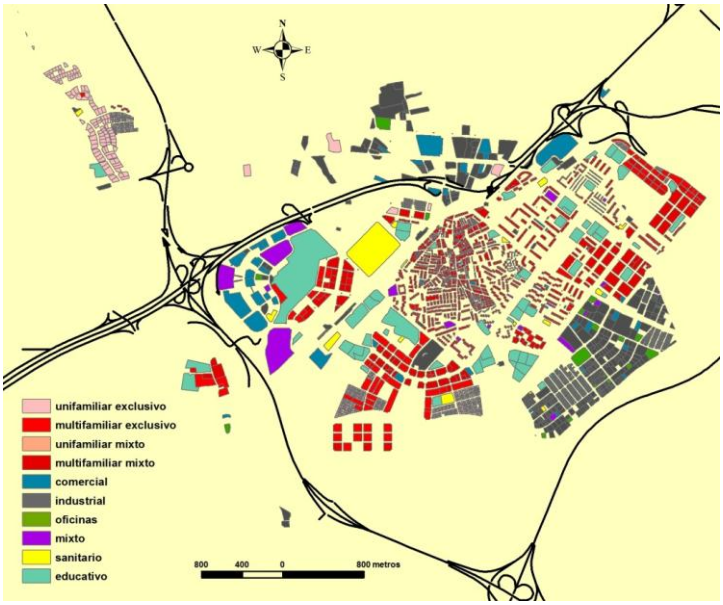



*Figura 3. Usos del suelo del municipio de Alcorcón (Catastro de Urbana).*
*Fuente: Catastro de Urbana y Elaboración Personal.*

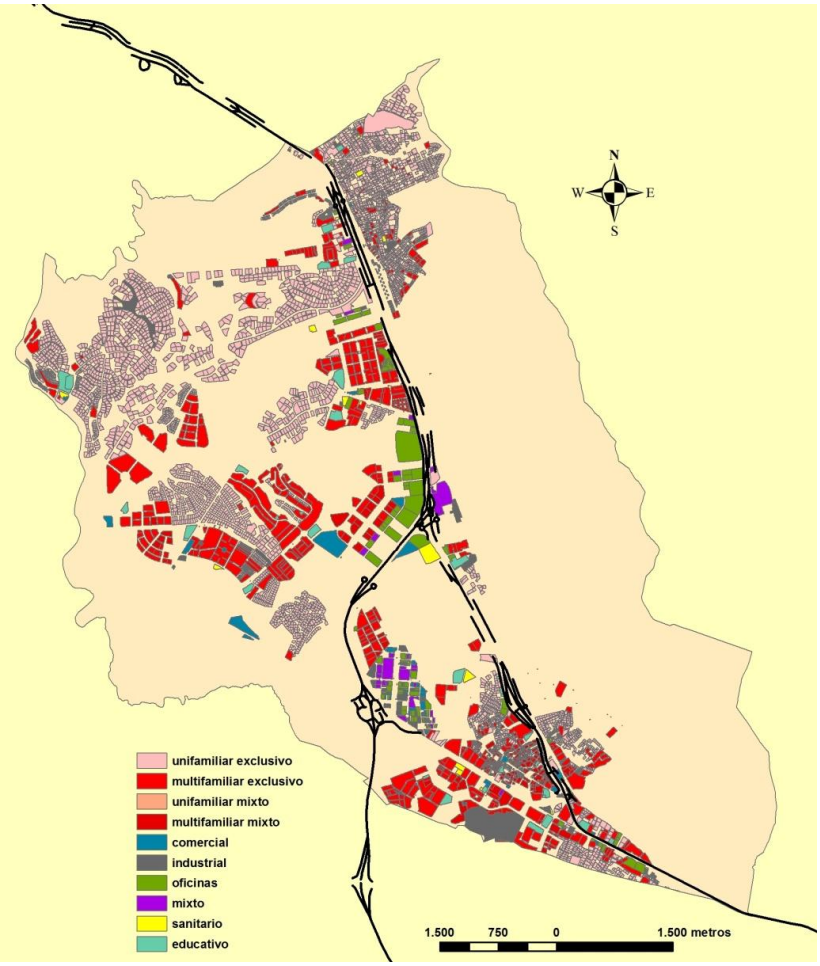



*Figura 4. Usos del suelo del municipio de Las Rozas (Catastro de Urbana).*
*Fuente: Catastro de Urbana y Elaboración Personal.*

A partir de esta información, hemos calculado un conjunto de variables, correspondientes a la distribución de los usos del suelo contenidos en el Catastro de Urbana a los que nos venimos refiriendo. Así mismo, diferenciamos la superficie construida de la superficie ocupada, teniendo en cuenta que cada parcela catastral puede considerarse como una unidad geográfica unitaria, con una superficie ocupada en planta, pero que alberga a un conjunto de bienes inmuebles (residenciales, comerciales, industriales, etc.), cuyo número y superficie total podemos calcular como resultado de la suma de la superficie ocupada en distintos niveles en altura. De esta manera, distinguimos la superficie residencial, además de por su tipología familiar, por la existencia o no de servicios en la parcela. La tabla 1 recoge el valor contrastado de los resultados obtenidos para los dos municipios madrileños.

*Tabla 1. Distribución del volumen de población (número de habitantes) y de la distribución superficial de los principales usos del suelo (Ha.) de los municipios de Alcorcón y Las Rozas.*
*Fuente: Catastro de Urbana, SIOSE y Elaboración Personal.*

| variables | Alcorcón | Las Rozas |
|---|---|---|
| **Población total del municipio** | 153.100 | 63.385 |
| **Superficie municipal total** | 3.357,52 | 5.831,27 |
| **Superficie municipal urbana** | 1.737,47 | 2.507,61 |
| | | |
| **Número de viviendas** | 66.780 | 34.077 |
| Unifamiliares | 1.213 | 5.056 |
| Multifamiliares | 65.567 | 29.021 |
| | | |
| **Superficie residencial construida total** | 652,22 | 655,47 |
| Superficie residencial unifamiliar | 34,82 | 189,67 |
| Con servicios | - | - |
| Sin servicios | 34,82 | 189,67 |
| Superficie residencial multifamiliar | 617,40 | 465,80 |
| Con servicios | 449,80 | 85,85 |
| Sin servicios | 167,60 | 379,95 |
| | | |
| **Superficie residencial ocupada total** | 209,90 | 1.041,77 |
| Superficie residencial unifamiliar | 49,30 | 608,29 |
| Superficie residencial multifamiliar | 160,60 | 433,48 |
| | | |
| **Superficie residencial discontinua** | 151,18 | 106,81 |
| | | |
| **Superficie comercial construida total** | 82,87 | 29,60 |
| Superficie comercial residencial | 34,03 | 11,26 |
| Superficie comercial aislada | 48,84 | 18,34 |
| | | |
| **Superficie comercial ocupada total** | 96,18 | 83,58 |
| Superficie comercial residencial | 56,78 | 53,83 |
| Superficie comercial aislada | 39,40 | 29,75 |
| | | |
| **Superficie industrial construida total** | 113,34 | 10,77 |
| **Superficie industrial ocupada total** | 140,47 | 87,03 |
| | | |
| **Superficie de oficinas construida total** | 12,48 | 66,61 |
| **Superficie de oficinas ocupada total** | 11,87 | 139,31 |
| | | |
| **Superficie mixta construida total** | 36,20 | 20,13 |
| **Superficie mixta ocupada total** | 27,18 | 25,20 |
| | | |
| **Superficie de centros educativos y culturales construidos total** | 45,31 | 10,19 |
| **Superficie de centros educativos y culturales ocupados total** | 89,46 | 14,69 |
| | | |
| **Superficie de centros sanitarios construidos total** | 19,83 | 19,30 |
| **Superficie de centros sanitarios ocupados total** | 22,86 | 34,80 |
| | | |
| **Superficie de centros sanitarios y educativos construidos total** | 65,14 | 29,49 |
| **Superficie de centros sanitarios y educativos ocupados total** | 112,32 | 49,49 |
| | | |
| **Superficie de zonas verdes** | 337,71 | 771,08 |

El valor de la superficie dedicada a zonas verdes la hemos deducido de la información contenida en SIOSE, de acuerdo al valor de la variable "zona verde artificial y arbolado urbano (ZAU)" correspondiente a las zonas urbanas, tal como puede apreciarse en la figura 5.

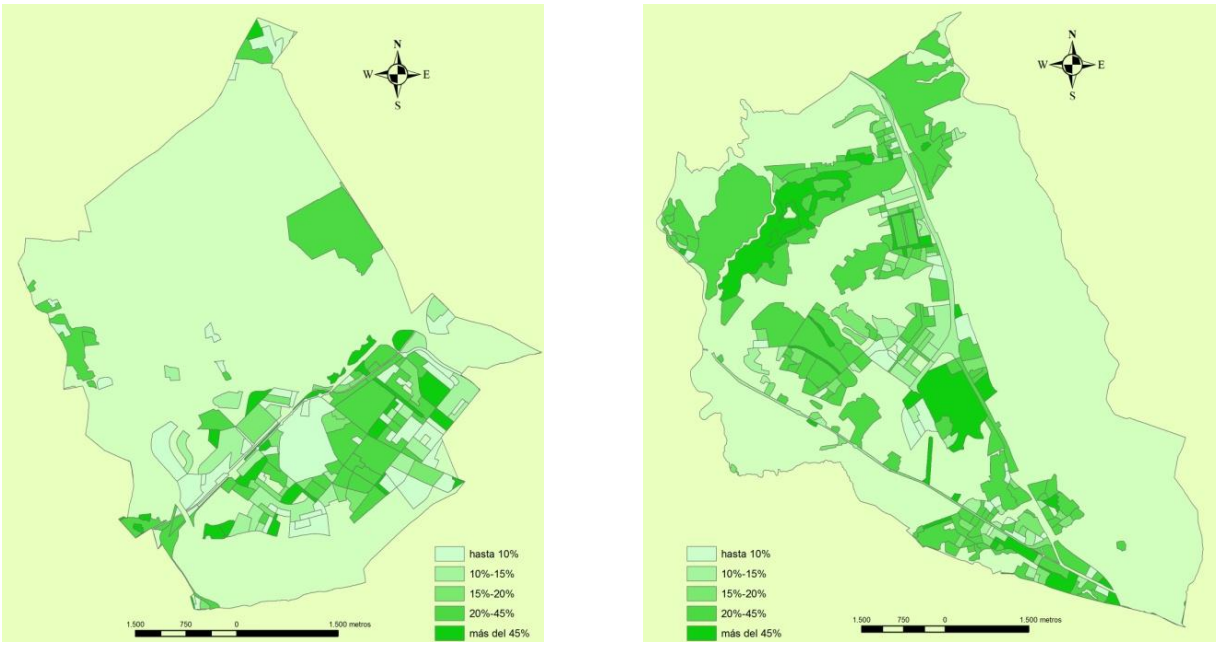



*Figura 5. Porcentaje superficie destinada a zona verde sobre superficie total ocupada (municipios de Alcorcón y Las Rozas) (SIOSE)*
*Fuente: SIOSE y Elaboración Personal.*

A partir de la información contenida en la tabla 1, hemos obtenido los indicadores de sostenibilidad ambiental y territorial de la tabla 2.

*Tabla 2. Principales indicadores de sostenibilidad medioambiental y territorial de los municipios de Alcorcón y Las Rozas. Fuente: Catastro de Urbana, SIOSE y Elaboración Personal.*

| indicadores | Alcorcón | Las Rozas |
|---|---|---|
| **Densidad de población** (habitantes por suelo urbano en Ha.) | 88,12 | 25,28 |
| **Densidad de viviendas por suelo urbano** (viviendas por Ha.) | 38,44 | 13,59 |
| **Compacidad residencial** (relación superficie construida/superficie ocupada) | 3,11 | 0,63 |
| **Zonas verdes por habitante** (m2/ habitante) | 22,05 | 121,65 |
| **Equilibrio entre actividad y residencia** (superficie productiva en m2 por habitante) | 15,99 | 20,06 |
| • Comercial | 5,40 | 4,67 |
| • Industrial | 7,41 | 1,70 |
| • De oficinas | 0,82 | 10,51 |
| • Mixto (comercial, industrial y de oficinas) | 2,36 | 3,18 |
| **Índice de diversidad de Shanon-Wiener** (1,61 valor máximo) | 0,90 | 0,64 |
| **Servicios sanitarios y educativos por habitante** (m2/habitante) | 4,25 | 4,65 |
| **Porcentaje de tejido residencial discontinuo respecto al suelo urbano total** | 8,70 | 4,26 |

La comparación de los resultados obtenidos para los municipios madrileños de Alcorcón y Las Rozas muestra fuertes contrastes territoriales, en cuanto a su carácter compacto-disperso, como consecuencia de su diferente origen y proceso de urbanización. El desarrollo urbanístico del municipio de Alcorcón tuvo lugar, de manera preferente, durante los años setenta del siglo pasado, en el momento de conformación inicial del área metropolitana de Madrid. Al formar parte de los municipios de la primera corona metropolitana, el crecimiento urbano fue espectacular, apoyándose en la construcción de grandes bloques de viviendas en altura, con densidades elevadas, en lo que se ha dado en llamar un urbanismo concentrado o una urbanización periférica (Gutiérrez Puebla y García Palomares, 2007) (figura 6).

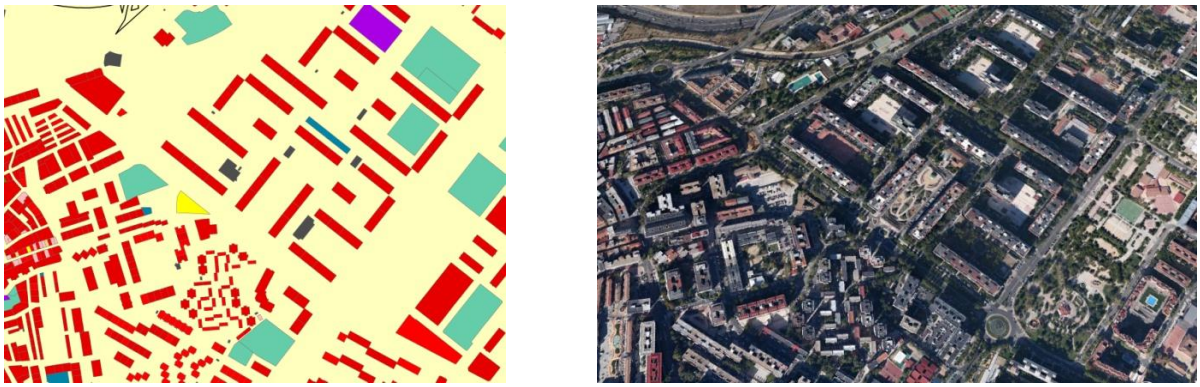


*Figura 6. Tipología predominante de la edificación en el municipio de Alcorcón.*
*Fuente: Catastro de Urbana, Google Earth y Elaboración Personal.*

Estas circunstancias se reflejan en la elevada densidad de habitantes por superficie urbana (88,12 habitantes por Ha.) o de viviendas (38,44 viviendas por Ha.). Así mismo, el indicador de compacidad es bastante elevado (3,11 $m^2$ de superficie construida por superficie ocupada de parcela), lo que pone de manifiesto una elevada concentración de superficie residencial en altura. Además, el nivel de suelo discontinuo fragmentado no es excesivamente elevado (8,70% del total de suelo urbano). Por su parte, la mezcla de usos del suelo es manifiesta y se refleja en los elevados valores alcanzados por el índice de Shanon-Wiener (0,90). Esta realidad se refleja, igualmente, en el alto índice de suelo comercial que se asocia con la vivienda, consecuencia del predominio del comercio tradicional, aunque también esté representado el comercio aislado. Su carácter industrial se revela en la gran superficie destinada al sector fabril, muy superior al que ha tenido lugar en el otro municipio que analizaremos a continuación.

Por su parte, el municipio de Las Rozas se encuentra situado en el sector Oeste de la periferia metropolitana madrileña, destacando por haber sido el lugar seleccionado para la implantación de la urbanización residencial de baja densidad (figura 7). Alguna de las cifras globales de Las Rozas, representadas por los principales indicadores de sostenibilidad, permite cuantificar el contraste existente entre ambas áreas. Este municipio forma parte del principal tejido urbano disperso existente en al área metropolitana de Madrid. La densidad de ocupación residencial es sensiblemente inferior, con valores

más de tres veces inferior a los resultados alcanzados por el municipio de Alcorcón (25,28 habitantes por Ha. o 13,59 viviendas por Ha.). Igualmente, podemos destacar el reducido valor del indicador de compacidad (0,63) lo que refleja la gran superficie ocupada por la vivienda unifamiliar frente a la multifamiliar e incluso la baja densidad relativa de esta última. De igual manera, el índice de Shanon-Wiener refleja el carácter más privativo de los usos del suelo, donde la jerarquización de los mismos predomina sobre su aglomeración o asociación mutua.




*Figura 7. Tipología predominante de la edificación en el municipio de Las Rozas.*
*Fuente: Catastro de Urbana, Google Earth y Elaboración Personal.*

Únicamente, alguno de los indicadores refleja una mejora de la calidad de vida del municipio de Las Rozas. En este sentido, destaca la superficie de suelo destinado a zonas verdes que casi sextuplica al municipio de Alcorcón. Esta situación no es sino el reflejo de la existencia de viviendas unifamiliares o multifamiliares con amplias dotaciones de espacios verdes, piscinas y zonas deportivas, que dieron como resultando un tejido urbano mucho más esponjado y menos compacto que el tradicional. Así mismo, el suelo destinado a determinadas actividades como las oficinas está sobrerrepresentado, existiendo un cierto equilibrio en las dotaciones destinadas a servicios y equipamientos sanitarios y educativos, respecto al municipio de Alcorcón.

## CONCLUSIONES

La novedad que introducen ambos repositorios de información básica, como el Catastro de Urbana o SIOSE, es el planteamiento de unidades espaciales flexibles, que reflejan la promiscuidad de los usos del suelo, más allá de su categorización limitada y de carácter exclusivo. Su trascendencia, como tal, se deriva, en lo que al Catastro de Urbana se refiere, de la capacidad de la parcela urbana, para integrar, de forma combinada, en un espacio físico reducido, un conjunto de elementos clave para interpretar la ciudad.

La aplicación del procedimiento descrito a la comparación de los municipios madrileños de Alcorcón y Las Rozas, respecto a su proximidad o lejanía del modelo compacto o disperso de ciudad, muestra la fiabilidad del mismo, al habernos permitido calcular, de forma detallada, algunos indicadores de sostenibilidad del territorio que muestran los fuertes contrastes existentes entre ambas entidades institucionales. La eficacia de la utilización de las dos bases de información, mediante el método propuesto, ha radicado en la posibilidad de interpretar el problema planteado con un alto grado de minuciosidad y eficacia.

## AGRADECIMIENTOS

Esta ponencia ha sido confeccionada al amparo del proyecto de investigación "Análisis de la dinámica urbana actual, utilizando bases de datos de detalle. Aplicación al diseño de escenarios a escala subregional en la elaboración de modelos de simulación" (CSO2012-38158-C02-02), subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad, cuyo Investigador Principal es José Miguel Santos Preciado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ferrás Sexto, C. 2000. Ciudad dispersa, aldea virtual y revolución tecnológica. Reflexión acerca de sus relaciones y significado social, en **Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Disponible en http://www.ub.es/geocrit/sn-69-68.htm. Universidad de Barcelona.
2. Goerlich Gisbert, F. J. y Cantarino Martí, I. 2012. **Una grid de población para España**. Informes Economía y Sociedad, Fundación BBVA, Madrid, 138 páginas.
3. Guimet Pereña, J. 2003. **Descripción y teoría general del catastro**. Ediciones UPC, Barcelona.
4. Gutiérrez Puebla, J. y García Palomares, J. C. 2007. Espacios residenciales en la ciudad dispersa, en **Homenaje al profesor Casas Torres**. Universidad Complutense, Madrid, pp. 445-456.
5. Ministerio de Fomento 2010. Sistema de Indicadores y Condicionantes para Ciudades Grandes y Medianas. **IV Reunión de Sostenibilidad de la RED de Redes de Desarrollo Local Sostenible**, Madrid.
6. Ministerio de Fomento 2011. **Manual de Fotointerpretación SIOSE**. Equipo Técnico Nacional SIOSE, Madrid.
7. Pellicer Corellano, F. 1998. El ciclo del agua y la reconversión del paisaje periurbano en las ciudades de la red C-6, en Monclus. J. (Ed) **La ciudad dispersa**. Barcelona: Centro de Cultura Contemporània de Barcelona.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA CUANTIFICAR LOS DAÑOS CAUSADOS POR INCENDIOS FORESTALES EN EL CORREGIMIENTO DE BARAYA – CAUCA 1999 - 2012

**Hurtado A., José Leonardo[a]; García D., Giovanny[b]**
**Universidad Distrital F. J. C., GRSS - IEEE, Colombia**
**[a](mr.l.1993@ieee.org)**
**[b](mr.g.g@ieee.org)**

**RESUMEN**
El presente artículo presenta los resultados del área de afectación causada por incendios forestales en el corregimiento de Baraya (departamento del Cauca, Colombia) por medio de un análisis multitemporal de coberturas comprendido entre los años 1999 y 2012, a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat. En la clasificación se utiliza el algoritmo de máxima verosimilitud probabilística y una transformación denominada Tasseled-Cap. Se genera la representación de los cambios ocasionados por los incendios forestales mediante una tabla multicriterio para posteriormente evaluar la exactitud de la clasificación mediante una matriz de confusión.

**Palabras claves:** Análisis multitemporal, deforestación, Tasseled-Cap.

## INTRODUCCIÓN

El corregimiento de Baraya presenta altos niveles de humedad y en determinadas épocas del año sufre un efecto opuesto que genera daños a la vegetación en donde en ocasiones llegan a ser irreparables dichos daños (Cauca, 2008). El fenómeno del niño ocurrido en el año de 2012, dejo como resultado la pérdida de 5900 hectáreas de bosques entre 165 municipios (Administracion Municipal, 2013). Las condiciones del clima y los bajos niveles de precipitación fueron agentes que fomentaron las llamas y permitieron una rápida propagación del incendio. (Corporacion Autonoma Regional del Cauca, 2013).

Para observar la magnitud del daño se seleccionó el área de mayor impacto y una área de influencia correspondiente a la zona afectada para cuantificar este mismo daño entre un intervalo de tiempo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La zona de estudio se determina a partir del área de mayor impacto la cual se encuentra en el corregimiento de Baraya (Ver figura 1). Dicho corregimiento está ubicado dentro de la zona rural del municipio El Tambo en el departamento del Cauca. Este es un territorio con 3.280 Km2 de superficie, por lo que se considera uno de los municipios más grandes del país y el más extenso en el departamento del Cauca. (Tambo, 2008).

El municipio se encuentra ubicado en la zona central del departamento con unas coordenadas base de 2°27’15’’N y 76°40’04’’O a una altura promedio de 1745 m.s.n.m, por lo que debido a ellos cuenta con tres pisos térmicos (cálido, templado y frio). Su temperatura promedio son 18°C con variaciones entre los 32°C y los 5°C. La humedad relativa de la zona está en un estimado del 80% debido a que la mayoría del corregimiento se encuentra sobre la cordillera occidental que producen una constante cantidad de precipitaciones a lo largo del año. (Alcaldia Municipal, 2015). Algunas de las causas que han generado los incendios forestales en el área rural son por la intervención del hombre y por acción natural de los fenómenos climáticos.

### Fuente de datos

Las imágenes seleccionadas para nuestro análisis multitemporal fueron descargadas del servicio geológico de Estados Unidos (USGS, 2013) y corresponde a la ubicación de las imágenes Landsat Path 009 y Row 058. En la figura 2 tenemos la zona para el año 1999 tomada por el sensor TM en una composición color RGB (4, 3, 2) se puede discriminar las tres coberturas predominantes en la zona tales como los suelos (tonalidades

brillantes cian), los bosques (tonalidades rojizas oscuras y homogéneas) y otros tipos de vegetación (tonalidades rojizas con azul).

En la figura 3 se presenta la zona de estudio para el año 2012. La composición de color implementada fue RGB (3, 4, 7), combinación con el mayor OIF (Factor de Índice Optimo) el cual es aquella combinación que estadísticamente aporta mayor información espectral para su interpretación. Como se aprecia en el mapa 3 se aplicó un proceso de mosaico con una imagen de un mes posterior para eliminar el efecto de los gaps producidos por las fallas en el sensor ETM+.

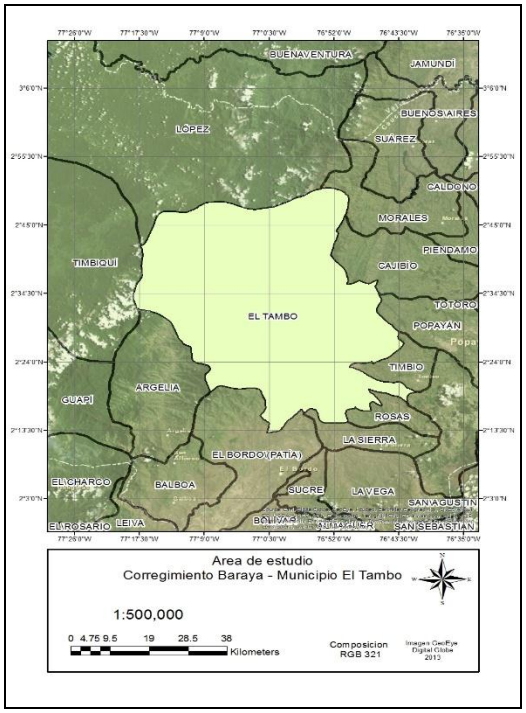



*Figura 1. Área de estudio 2011.*
*Fuente: ArcGis Online. Geoeye/ Digital Globe.*

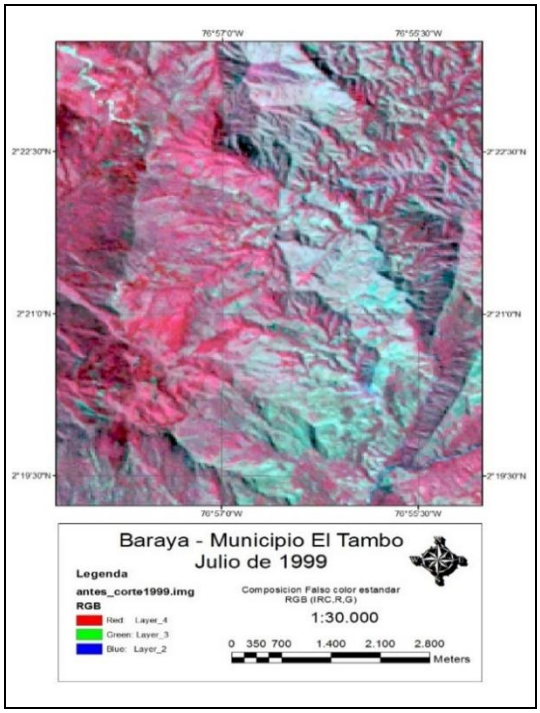



*Figura 2. Imagen Landsat4 TM – 1999. Composición RGB (IRC, R, G)*
*Fuente: Elaboración propia.*

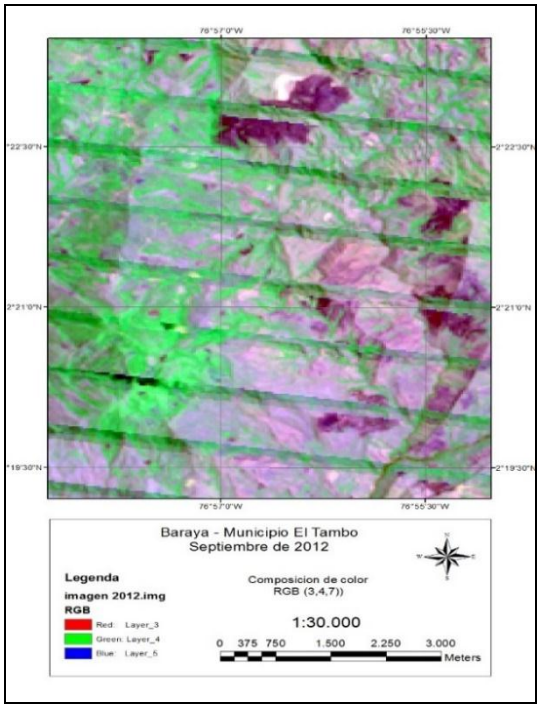



*Figura 3. Imagen Landsat4 ETM+ 2012. Composición RGB (3,4,7)*
*Fuente: Elaboración propia.*

## Técnicas

### Transformación Tasseled Cap

La transformación Tasseled Cap fue creada y desarrollada por Kauth y Thomas en 1976. Collins & Woodcock encontraron que el principal cambio de la transformación era enfocado a los cambios en la vegetación a partir de las variaciones en la humedad (Liang, 2004). La lógica de esta transformación es crear nuevas bandas por medio de combinación lineal de las bandas existentes, esto con el fin de especificar los usos de las bandas bajo ciertos criterios, los resultados de estas combinaciones son 3 componentes. (Thomas, 1976).

- **Brillo (Brightness):** refleja la reflectividad total de la escena.
- **Verdor (Greeness)**: indica el contraste entre las bandas visibles y el IRC.
- **Humedad (Wetness)*:*** se relaciona con el contenido del agua en la vegetación y en el suelo.

Las nuevas bandas se obtienen por medio de las siguientes ecuaciones: (Murcia).

$$Brillo = \sum_{k=1}^{6} C_{k*b*\rho*k} \quad (1)$$

$$Verdor = \sum_{k=1}^{6} C_{k*v*\rho*k} \quad (2)$$

$$Humedad = \sum_{k=1}^{6} C_{k*h*\rho*k} \quad (3)$$

Las bandas que se obtienen de las combinaciones lineales discriminan tipos de suelos (de más claros a más oscuros), grado de cubierta vegetal (banda de verdor) y nivel de humedad. Fueron seleccionadas considerando las firmas espectrales de suelos y vegetación de cuyo análisis se deducen los siguientes hechos:

- Conforme aumenta el nivel de cobertura vegetal, aumenta la reflectividad en el infrarrojo y disminuye en el intervalo del rojo.
- Cuanto más oscuros son los suelos, disminuye la reflectividad en el rojo y en el infrarrojo.
- Al aumentar la marchitez disminuye la reflectividad en la región del verde y aumenta en la del rojo. (Villajos, septiembre - 2006).

### Clasificación Supervisada

La clasificación en teledetección es un caso particular del problema general de clasificar N individuos en un conjunto de K clases en función de una serie de variables cuantitativas (X1, X2,..., Xn). Esta clasificación se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento, la cual se trata de áreas de las cuales se conoce la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las

clases. Se denominan clases informacionales y buscan que las áreas de entrenamiento sean lo más homogéneas posibles. (Universidad de Murcia, 2006)

Para la asignación de los pixeles en la clasificación se recurren a recursos no estadísticos como la mínima distancia o el método del paralelepípedo, pero también hay métodos estadísticos muy efectivos como el de máxima verosimilitud. La precisión de una clasificación se obtiene al calcular el número total de tipos de coberturas (suma de las celdas de la diagonal de la matriz de confusión) dividido por el total de ejemplos de prueba (número total de elementos en las celdas de la matriz de confusión). A través de ésta se puede evaluar el porcentaje de precisión de una clase con respecto a una determinada prueba. (Facultad Nacional de Agronomía, 2005).

**Desarrollo**

Para el desarrollo de la investigación se divide en varias etapas. La primera consiste en delimitar el área de estudio exacta, esto nos permite obtener mayor detalle de la zona y observar la gravedad de los daños. Se toman las imágenes de 1999 TM y la del 2012 ETM+ para el análisis del área quemada entre este intervalo de 13 años.

En la segunda etapa del procedimiento se ejecutó la transformación Tasseled Cap. El modelo de la figura 4 muestra la secuencia de pasos, en el cual entra una imagen ráster (área de estudio) y una matriz con los coeficientes de la transformación para cada sensor (TM y ETM+), Finalmente se ejecuta una combinación lineal para obtener un ráster de salida con la imagen transformada. Esto con el fin de tener un apoyo visual enfocado a zonas vegetales no perceptibles en las bandas originales.

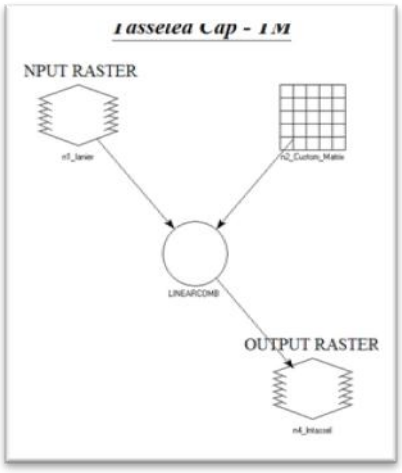



*Figura 4. Modelo Tasseled Cap – Model Maker – Erdas.*

En la figura 5 se observa el esquema general y allí se destacan 4 etapas principalmente; la definición del problema, transformación de la imagen, generación de mapas temáticos y cuantificación del área afectada. Para la elaboración de los mapas se deben realizar una serie de muestreos; Su finalidad es tomar los pixeles característicos de cada una de las coberturas que se encuentren en la imagen para que en base a ellos se realice la clasificación.

La clasificación supervisada es una herramienta muy útil, ya que con solo algunas muestras exactas de las coberturas capturadas a lo largo de cada una de las imágenes nos brindan una clasificación más precisa. Al correr la clasificación resultan pixeles que no fueron asignados a ninguna clase y otros pixeles agregados incorrectamente, para ello se realizan procesos de edición. (Facultad Nacional de Agronomía, 2005).

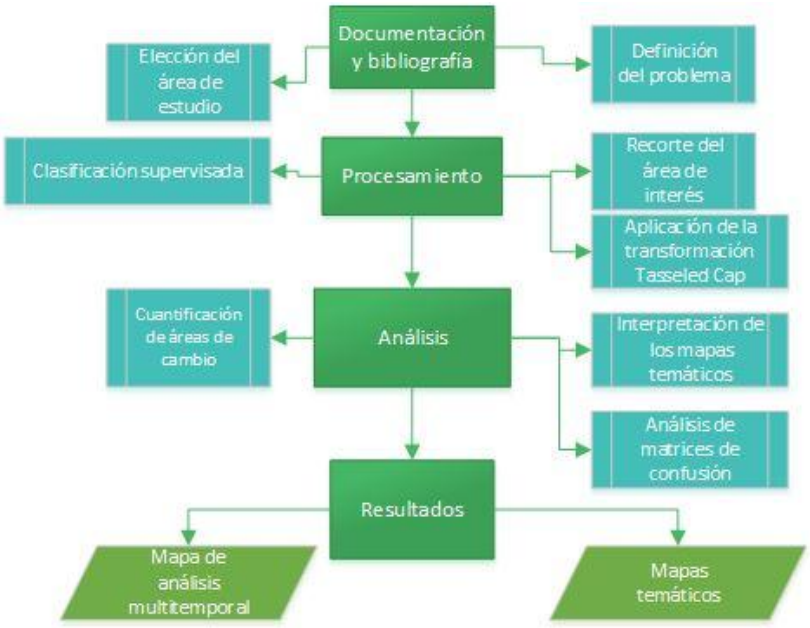



*Figura 5. Metodología general.*
*Fuente: Elaboración propia.*

Se emplea el sistema de clasificación Corine Land Cover con 6 coberturas encontradas entre los dos primeros niveles de clasificación teniendo en cuenta la escala del estudio. Luego se aplica un proceso de filtrado que busca reasignar los píxeles aislados o poco representativos a las clases vecinas más representativas (Chuvieco, 2002). Este proceso se puede resumir mediante el diagrama de la figura 6:

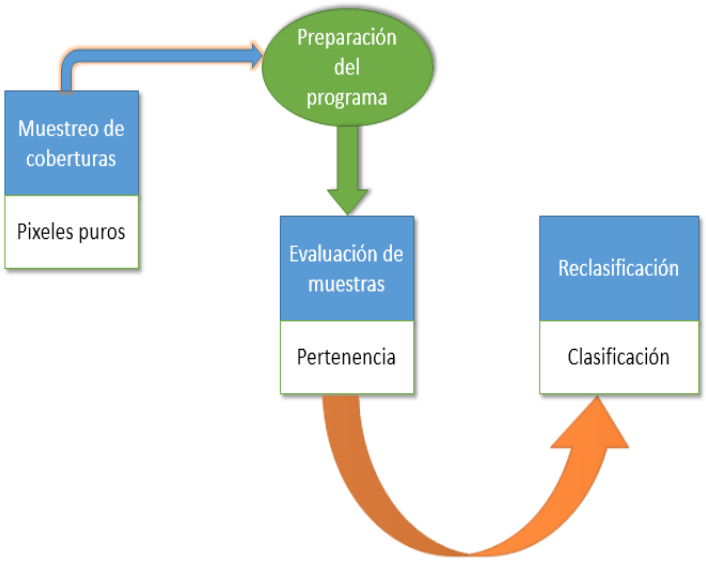



*Figura 6. Procedimiento Clasificación Supervisada.*
*Fuente: Elaboración propia.*

Para obtener la evaluación correspondiente de la clasificación se usa la matriz de confusión con un muestreo de 150 puntos, este muestreo asignado al área de la imagen y se realiza de forma estratificada con el fin de asignarle un sistema de pesos a cada cobertura (Mas, Reyes, & Perez, 2003). El resultado de esta evaluación genera un índice de evaluación Kappa que evalúa la precisión de la clasificación. Con los resultados obtenidos se importan las imágenes para la superposición y se cuantifica las áreas de cambio entre el intervalo de tiempo al igual que el área específica afectada por el incendio.

En la última etapa se superponen los mapas temáticos y se disgregan los cambios que ha sufrido el terreno a lo largo de los 13 años del estudio. El resultado final es la cuantificación de las áreas de cambio. (Fonseca, 2001).

## RESULTADOS

El resultado obtenido luego de los procesos descritos son dos mapas temáticos de los años 1999 (figura 7) y para el año 2012 (figura 8).

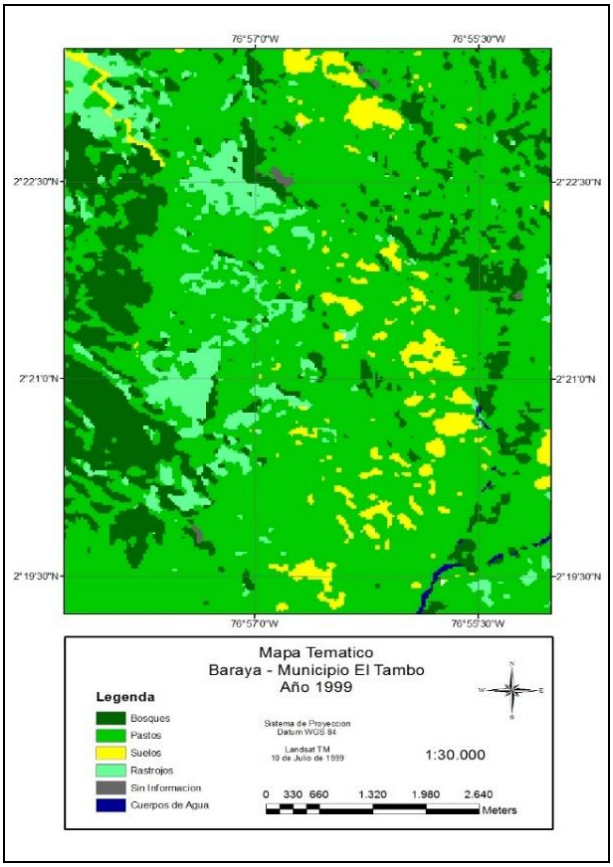



*Figura 7. Mapa temático – Antes Incendios Forestales – Baraya (Municipio El Tambo) 1999. Fuente: Elaboración propia.*

Luego del proceso de edición manual ya mencionado se obtienen los datos más importantes de los mapas temáticos consolidados, el valor del porcentaje Kappa que indica la exactitud de la clasificación con las muestras tomadas. (López de Ullibarri Galparsoro I, 1999). El índice kappa obtenido en el mapa temático del año 1999 fue de 0.842 y para el mapa del año 2012 fue de 0.86, resultado de los 150 puntos de evaluación anteriormente mencionados.

Junto a la evaluación del índice kappa se disgregan una matriz fundamental para ver el porcentaje de efectividad en la clasificación. Esta matriz recibe el nombre de matrices de confusión. La matriz de confusión a su vez se divide en dos sub-matrices. La primera muestra el error por comisión en la que se analiza porcentualmente que pixeles correspondientes a las coberturas resultaron en una categoría y estos en realidad pertenecían a otra. Este se presenta como un error de usuario (Liras, 2008). La segunda muestra el error por omisión, este error se presenta cuando un píxel que pertenece a determinada categoría, no resulta clasificado en dicha categoría. El error se plantea como riesgo del productor. (IGN, 2006).

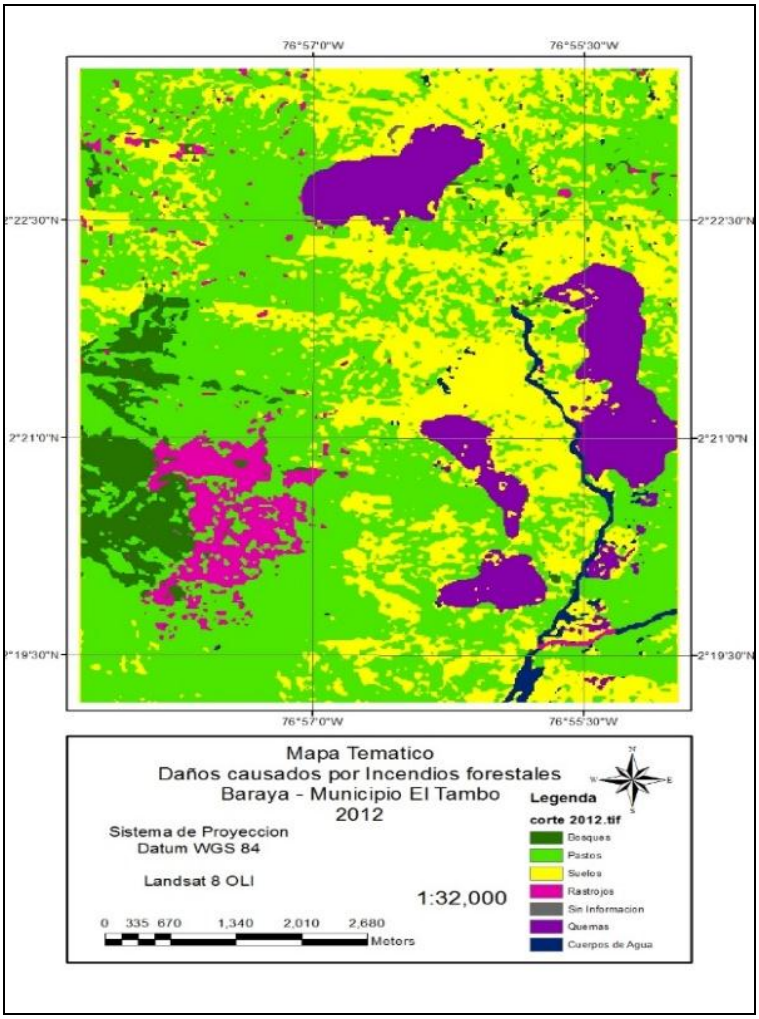



*Figura 8. Mapa temático – Después de Incendios Forestales – Baraya (Municipio El Tambo) 2012. Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla 1 se muestra los resultados de la matriz de confusión para el año 1999 y en la tabla 2 los resultados para el mapa de 2012. Estos resultados guardan relación directa con los resultados porcentuales del índice Kappa. Para la tabla 1 la nomenclatura empleada se presenta a continuación:

A: Bosques. B: Pastos Arbolados.
C: Tierras Desnudas. D: Pastos Enmalezados.
E: Sin Información. F: Ríos.

*Tabla 1: Matriz de confusión año 1999*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | A | B | C | D | E | F | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A** | 20 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 |
| **B** | 2 | 101 | 1 | 0 | 0 | 0 | 104 |
| **C** | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| **D** | 0 | 1 | 0 | 12 | 0 | 0 | 13 |
| **E** | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| **F** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Total** | 22 | 109 | 6 | 12 | 1 | 0 | 150 |

Para la tabla 2 la nomenclatura empleada se presenta a continuación:

A: Bosques. B: Pastos Arbolados.
C: Tierras Desnudas. D: Pastos Enmalezados
E: Zonas Quemadas F: Sin Información
G: Ríos.

*Tabla 2: Matriz de confusión año 2012*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | A | B | C | D | E | F | G | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A** | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| **B** | 2 | 39 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 47 |
| **C** | 0 | 3 | 38 | 0 | 0 | 1 | 0 | 42 |
| **D** | 0 | 2 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| **E** | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| **F** | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 33 | 0 | 35 |
| **G** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| **Total** | 9 | 44 | 43 | 8 | 8 | 35 | 3 | 150 |

Finalmente se obtiene el mapa de resultados de los cambios sufridos en el municipio de Baraya (figura 9) y la cuantificación de los resultados en la tabla 3.

Por último la figura 10 presenta el histograma de las coberturas presentes en el mapa de cambios (figura 9) lo que permite representar la cuantificación de la tabla 3.

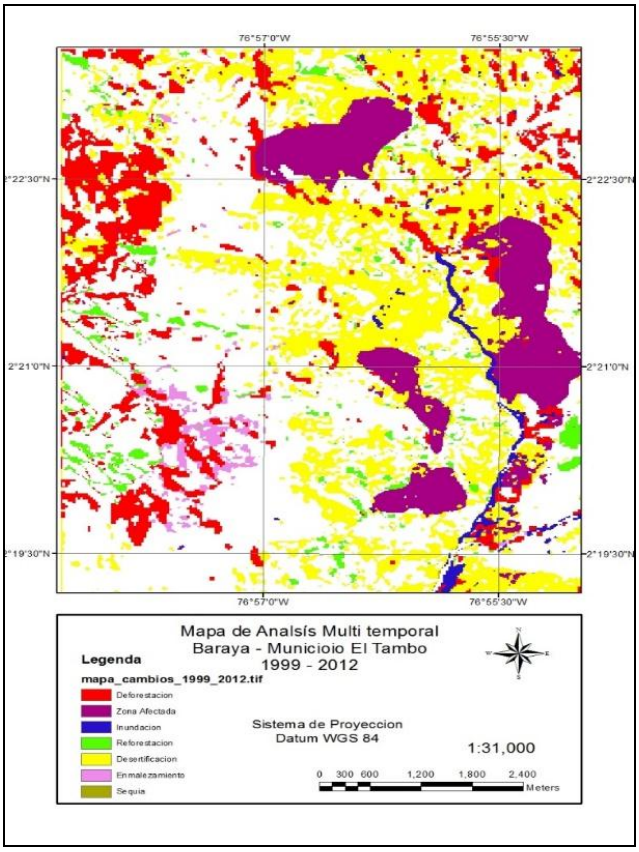



*Figura 9. Análisis Multi temporal/ Baraya – Municipio El Tambo/ 1999 – 2012.*
*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 3: cuantificación de área de cambios sufridos en la zona de estudios. Baraya 1999 – 2012.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| Clase | N° Pixeles | Área m2 | Área ha. |
|---|---|---|---|
| **Deforestación** | 10126 | 2278350 | 227.835 |
| **Zona Afectada** | 20475 | 4606875 | 460.6875 |
| **Inundación** | 2528 | 568800 | 56.88 |
| **Reforestación** | 5182 | 1165950 | 116.595 |
| **Desertificación** | 49089 | 11045025 | 1104.5025 |
| **Enmalezamiento** | 2829 | 636525 | 63.6525 |
| **Sequia** | 31 | 6975 | 6.975 |

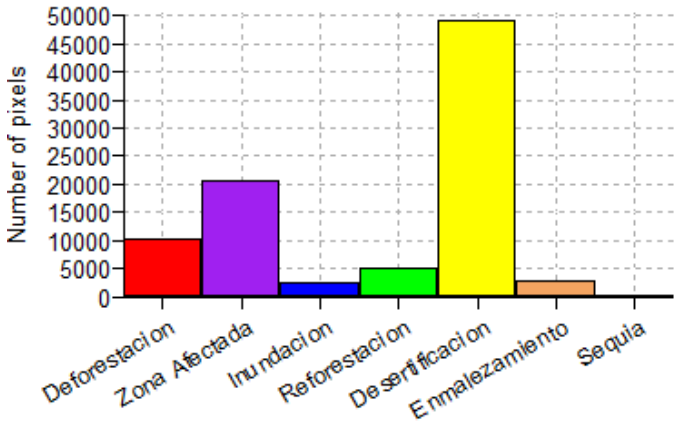



*Figura 10. Histograma de cambios sufridos en Baraya 1999 - 2012.*
*Fuente: Elaboración propia.*

## DISCUSIÓN

El proceso de mosaico descrito anteriormente es parcialmente exitoso debido a los cambios entre las fechas de adquisición. Las zonas reconstruidas de los gaps no concuerdan un 100% con la estructura de la imagen original; esta variable a priori se puede ver como un cumulo de pequeños errores que se reportan a la hora de ver la figura 8 y en porcentaje del índice kappa. No disminuyo más este índice debido a que la evaluación de los puntos fue estratificados y aleatorios y un porcentaje mínimo de puntos se evaluaron sobre las zonas del mosaico.

Obtener un índice Kappa superior al 0.8 indica una un porcentaje de exactitud muy bueno según un estudio estadístico de la XX reunión de Urología (Fuentes, 2013). La clasificación para el año 2012 obtuvo mejores resultados debido a la resolución empleada por el sensor ya que permite un mejor detalle en los puntos de evaluación. El área afectada por los incendios forestales consumió más de 400 hectáreas de vegetación nativa, pero adicional a este impacto directo es la relación con la tasa acelerada de desertificación como procesos de degradación ambiental del ecosistema. El paisaje ha sufrido una drástica transformación en poco más de una década.

## CONCLUSIONES

Se evidenciaron varios cambios en la zona de estudio de los diferentes años. El primero de ellos se representa al evaluar cualitativamente el peso de la cobertura de pastos a lo largo de la zona de estudio (figura 7) con una amplia cobertura de suelos que reemplazan en el año 2012 (figura 8).

Un segundo aspecto se enfatiza puntualmente en la zona de los Pastos Enmalezados, en la cual se puede apreciar una disgregación de esta cobertura, es decir, en el mapa de 1999 refleja el comportamiento de una cobertura homogénea y sectorizada en la zona, una zona que se diferencia fácilmente de los pastos y los bosques. En el mapa del 2012 encontramos una caracterización de los Pastos Enmalezados muy heterogénea en cuanto a su distribución, esto a la larga nos da una idea que el paso del tiempo y otros agentes externos que nos fueron objeto del análisis disgregaron el comportamiento del año 1999 generando una cobertura desordenada y que facilita la entremezcla con los pastos y los bosques.

Finalmente se comprobó que más de 400 hectáreas de vegetación fueron afectadas por los incendios forestales. Estas tardaran muchos años en sanar, por los fenómenos de deforestación de bosques y la desertificación de vastas zonas de vigorosa vegetación, siendo reemplazada por suelos que alarman la seguridad ambiental. Se evidencia un trasfondo que puede existir ante esta problemática, puesto que al pensar en realizar un análisis multi-temporal para evaluar los daños por las Zonas Quemadas y encontrarse con un paisaje desolador en tan solo 11 años es un llamado de atención.

## AGRADECIMIENTOS

A los docentes Iván Alberto Lizarazo y Oscar Javier Espejo ya que sin su apoyo no sería posible este artículo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Administracion Municipal, V. d. (2013). Plan de gestion de riesgos de incendios forestales. Valle del Cauca.
2. Alcaldia Municipal, E. T. (2015). Nuestro Municipio. Obtenido de http://www.eltambo-cauca.gov.co/informacion_general.shtml
3. Cauca, D. d. (2008). Por la Grandeza del Tambo. Cauca.
4. Chuvieco, E. (2002). Teledeteccion Ambiental. Barcelona.
5. Corporacion Autonoma Regional del Cauca, C. (2013). SE INCREMENTAN FACTORES DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INCENDIOS FORESTALES. Cauca.
6. Facultad Nacional de Agronomía, M. (2005). CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE COBERTURAS VEGETALES SOBRE IMÁGENES DIGITALES DE SENSORES REMOTOS: “LANDSAT – ETM+”. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472005000100004&script=sci_arttext, 8. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472005000100004&script=sci_arttext.

7. Fonseca, J. J. (2001). CAMBIO DE ÁREA LADERAS DE LA CIÉNAGA DE TUMARADÓ PARQUE NATURAL LOS KATÍOS. Obtenido de http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/9268/1/FonsecaJohnJairo2013.pdf
8. Fuentes, E. (2013). Análisis de Concordancia en la evaluación urodinámica de la Urgencia. Santander.
9. IGN. (2006). EXACTITUD TEMÁTICA. Obtenido de EXACTITUD TEMÁTICA: http://www.ign.gob.ar/descargas/CursoIso/MODULO3-EJEMPLO-APLIC.pdf
10. Liang, S. (2004). Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces. New Jersey, Estados Unidos: Jhon Wiley.
11. Liras, E. (Mayo de 2008). Evaluación y validación del modelo. Obtenido de Evaluación y validación del modelo: http://www.gbif.es/ficheros/Taller_Nichos_08/7_Evaluacion_validacion.pdf
12. López de Ullibarri Galparsoro I, P. F. (1999). Medidas de concordancia: el índice de Kappa. Obtenido de Medidas de concordancia: el índice de Kappa: http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa2.pdf
13. Mas, J. F., Reyes, J., & Perez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imagenes clasificadas. Investigaciones Geográficas, 5 - 13.
14. Murcia, U. d. (s.f.). FOTOINTERPRETACION Y TELEDETECCION. Capitulo 10 Pag. 15.
15. Tambo, A. E. (2008). Plan de Desarrollo Municipal. Cauca.
16. Thomas, R. J.-G. (1976). The Tasselled Cap -- A Graphic Description of the Spectral - Temporal. Purdue University.
17. Universidad de Murcia. (2006). FOTOINTERPRETACION Y TELEDETECCION. Capitulo 10 Pag. 15.
18. USGS. (2013). Servicio Geologico de los Estados Unidos. Obtenido de http://glovis.usgs.gov/
19. Villajos, S. O. (septiembre - 2006). TELEDETECCION FUNDAMENTAL - tercera edicion. UNIVERSIDAD POLITECNICA - MADRID.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# APLICAÇÃO DO MÓDULO LAND CHANGE MODELER NA DETECÇÃO E MAPEAMENTO DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA – SÃO PAULO - BRASIL

**Santos, E.P.[a]; Piroli, E.L.[b]**
[a]Universidade Estadual Paulista – UNESP/Presidente Prudente, Brasil, (edy_phn@yahoo.com.br)
[b]Universidade Estadual Paulista – UNESP/Ourinhos, Brasil, (piroli@ourinhos.unesp.br)

**RESUMEN**
Este artigo traz os resultados obtidos com a detecção e mapeamento de mudanças no uso e cobertura da terra utilizando o módulo *Land Change Modeler* do Idrisi Taiga. O recorte de estudo foi a bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo localizada no oeste do Estado de São Paulo, Brasil. Objetivou-se analisar as mudanças nos usos e cobertura da terra em um período de 36 anos. Utilizou-se de 86 fotografias aéreas de 1971/1972 e de uma fusão de imagens do satélite ALOS de 2007/2008 onde cada uso foi vetorizado.

O processamento dos dados no módulo *Land Change Modeler* gerou os mapas de ganho e perda, persistência e mudanças. Verificou-se como principal mudança que a classe pastagem perdeu predominância de área no período para a classe cana-de-açúcar, atualmente em processo de expansão. Destaca-se ainda a perda expressiva que teve a classe campestre, de 24% em 1971/1972 para apenas 1,3% em 2007/2008.
.

**Palabras claves:** land change modeler; geoprocessamento; uso e cobertura da terra; bacia hidrográfica; Ribeirão do Rebojo

## INTRODUÇÃO

Técnicas de detecção de mudanças nos usos e cobertura da terra são cada vez mais utilizadas revelando grande potencial de análises. Para Leite e Rosa (2012, p.91) a identificação das informações referentes ao uso, ocupação e cobertura da terra "quando atualizada, é de grande importância ao planejamento e orienta a ocupação da paisagem, respeitando sua capacidade de suporte e/ou sua estabilidade/vulnerabilidade". Tanto nas áreas urbanas como nas áreas rurais o uso da terra acarreta transformações importantes na paisagem que necessitam ser levadas em consideração. Em relação aos conceitos de uso e cobertura da terra Novo (1989) diz que o "termo uso da terra refere-se à utilização cultural da terra", enquanto o termo "cobertura da terra ou *land cover* refere-se ao seu revestimento". Considerando as técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto bem como dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Florenzano (2007) salienta que "as imagens de sensores remotos, como fonte de dados da superfície terrestre, são cada vez mais utilizadas para a elaboração de diferentes tipos de mapas", ressaltando que dos dados brutos presentes em uma imagem obtida por sensores remotos, após sua interpretação, obtêm-se informações relevantes. Quanto aos sistemas de informação geográfica Fitz (2008) define como sendo "um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido". Piroli e Pereira (1999) mencionam a utilidade prática destas ferramentas e tecnologias reiterando que a junção dos sistemas de informações geográficas com imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento, possibilitam excelentes resultados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo como recorte de estudo a bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo, localizada no oeste do Estado de São Paulo, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), objetivou-se analisar as mudanças no uso e cobertura da terra em um período de 36 anos, Figura 1.

Para as análises utilizou-se de 86 fotografias aéreas não ortorretificadas em escala de voo de 1:25.000, datadas de 1971/1972, as quais foram mosaicadas no aplicativo Adobe Photoshop CS4; imagens do satélite ALOS de 2007/2008, sensores Prism e Avnir-2 (2,5 m e 10 m de resolução espacial, respectivamente) e a fusão de tais sensores, na composição 342 das bandas multiespectrais. Em seguida, foi executado o processo de georreferenciamento da imagem fusionada e do mosaico de fotografias aéreas da área de estudo em escala 1:50.000 (IBGE) a partir de pontos de controle coletados em campo com GPS; a vetorização das classes de uso e cobertura da terra conforme proposta do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2006). Para o mapeamento considerou-se as seguintes classes de uso e cobertura da terra: áreas antrópicas não agrícolas (Cidade, Estradas); áreas antrópicas agrícolas (Cultura agrícola, Cana-de-açúcar, Pastagem, Reflorestamento e Sedes); áreas de vegetação natural (Floresta, Campestre e Área úmida) e água (Represamentos). Com o

processamento dos dados no módulo LCM (*Land Change Modeler*) do Idrisi Taiga obteve-se os mapas de ganho e perda, persistência e mudanças, permitindo as análises necessárias acerca das mudanças registradas nos usos e cobertura no período em análise.

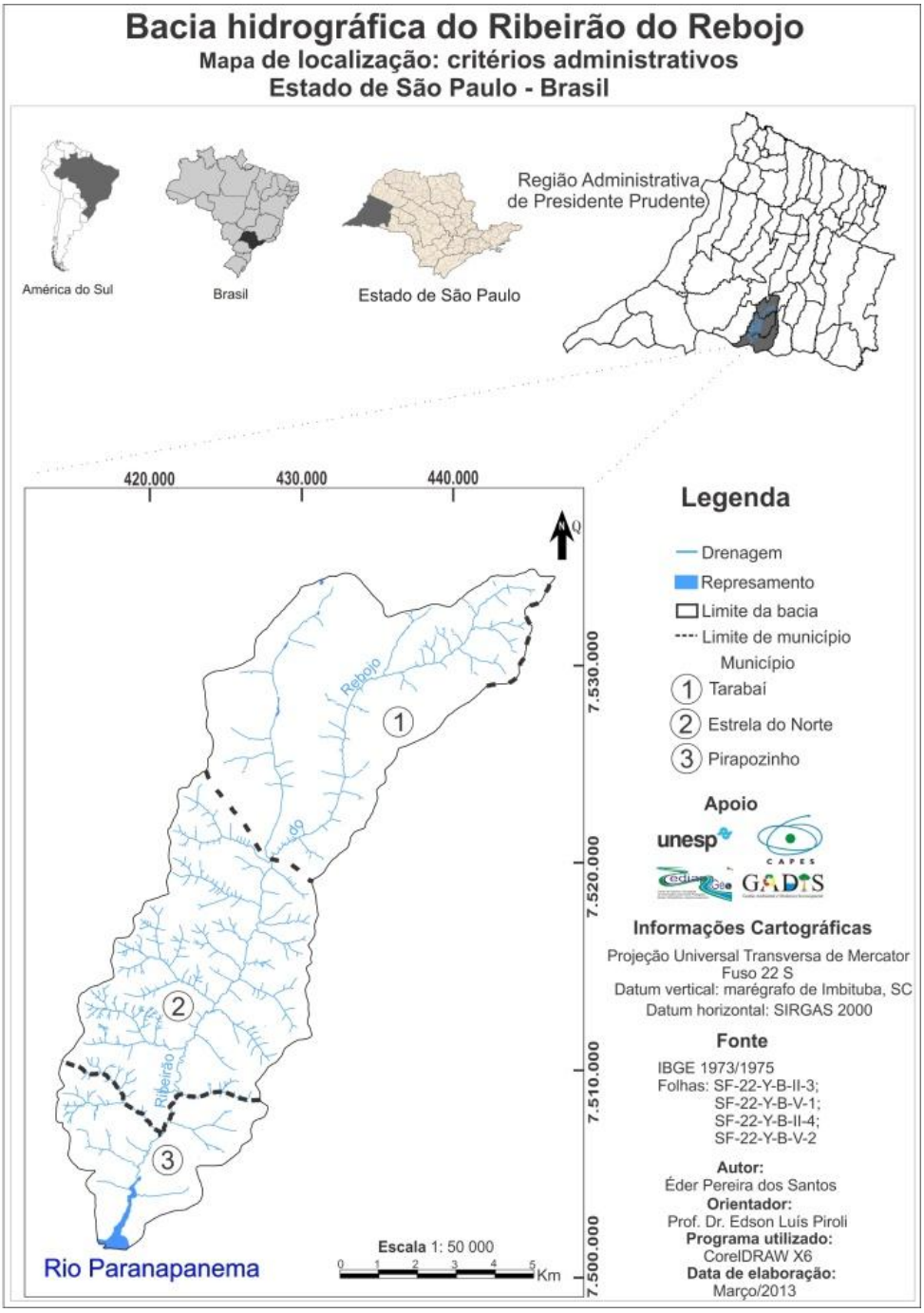



*Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo/SP.*

## RESULTADOS

Em um primeiro momento obteve-se os mapas dos usos e cobertura da terra de cada período em análise. Na Tabela 1 e Figura 2 têm-se as informações referentes ao período de 1971/1972 e observa-se que a classe Pastagem era o principal uso da terra no período, cobrindo 43,9% da área. A segunda classe mais expressiva era a classe Campestre abrangendo 24% da área.

*Tabela 1: Uso e cobertura da terra em 1971/1972.*

| Uso e Cobertura da terra | Área (ha) | Percentual de cobertura (%) |
|---|---|---|
| Área úmida | 2.624,01 | 7,8 |
| Pastagem | 14.813,1 | 43,9 |
| Cultura agrícola | 5.307,26 | 15,7 |
| Represamentos | 25,51 | 0,1 |
| Cidade | 63,97 | 0,2 |
| Sedes | 191,67 | 0,6 |
| Estradas | 190,7 | 0,6 |
| Floresta | 2.401,81 | 7,1 |
| Campestre | 8.091,64 | 24,0 |
| **Total** | **33.709,6** | **100** |

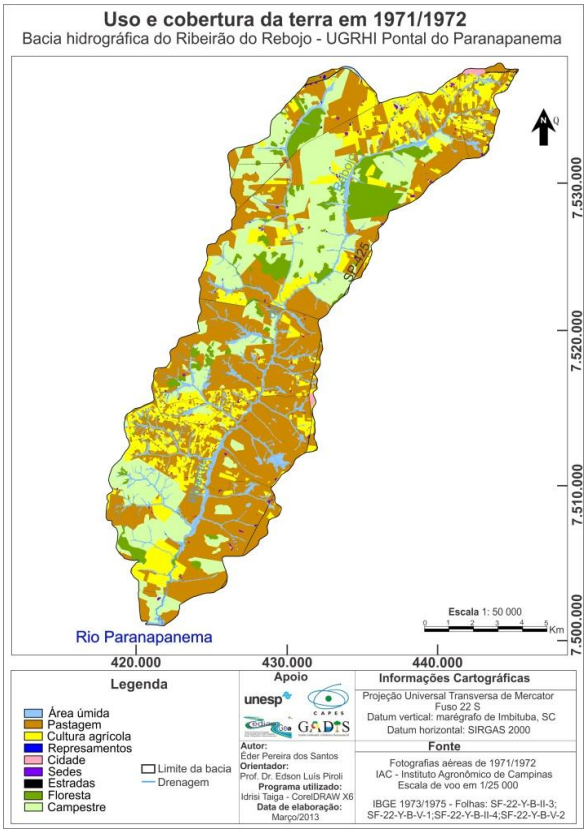



*Figura 2: Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo: 1971/1972.*

Na Tabela 2 e Figura 3 têm-se os dados e a espacialização das classes de uso e cobertura da terra de 2007/2008. Nota-se que o uso que ocupava a maior porcentagem de área da bacia no período era a Cana-de-açúcar, com 35,6%, sendo a segunda maior ocorrência a classe Pastagem, com 27,6%.

*Tabela 2: Uso e cobertura da terra em 2007/2008.*

| Uso e Cobertura da terra | Área (ha) | Percentual de cobertura (%) |
|---|---|---|
| Área úmida | 2.496,94 | 7,4 |
| Cana-de-açúcar | 11.985,13 | 35,6 |
| Pastagem | 9.287,80 | 27,6 |
| Cultura agrícola | 6.387,89 | 18,9 |
| Represamentos | 224,15 | 0,7 |
| Cidade | 160,17 | 0,5 |
| Sedes | 382,49 | 1,1 |
| Estradas | 204,64 | 0,6 |
| Floresta | 2.083,90 | 6,2 |
| Reflorestamento | 56,86 | 0,2 |
| Campestre | 439,64 | 1,3 |
| **Total** | **33.709,63** | **100** |

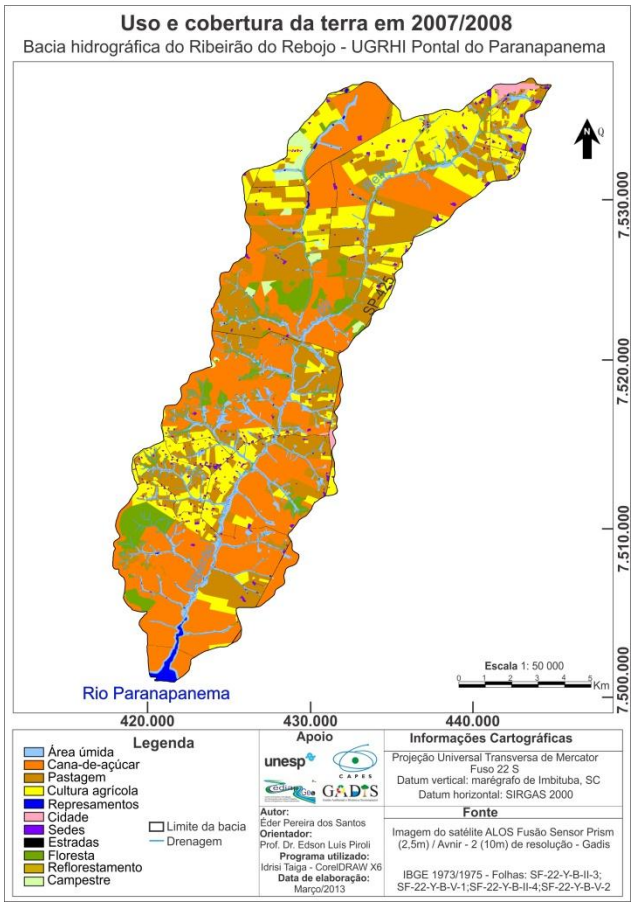



*Figura 3: Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo: 2007/2008.*

A partir dos dados das duas épocas, percebe-se que as áreas de floresta tiveram pequena redução, de 7,1% (2.401,81 ha) em 1971/1972 para 6,2% (2.083,90 ha) em 2007/2008. Na Figura 4 observa-se a contribuição de cada uso e cobertura para a mudança líquida nessa classe a qual obteve ganhos da classe campestre e área úmida e perdas para as classes cana-de-açúcar, pastagem e cultura agrícola.

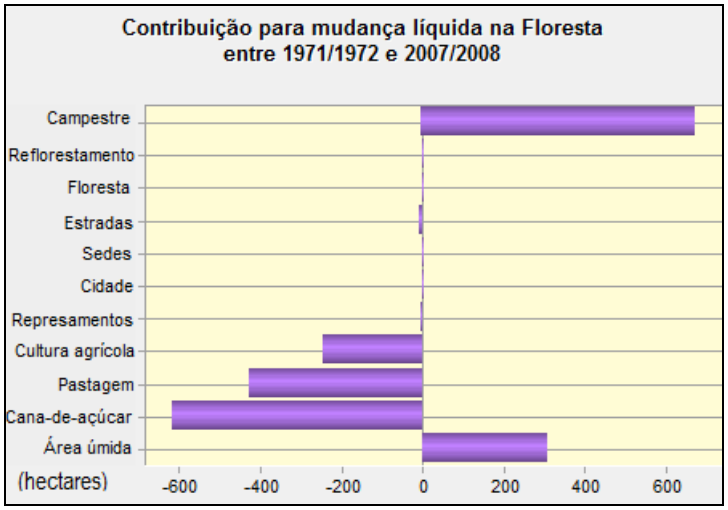



*Figura 4: Contribuição dos usos e cobertura da terra para as mudanças na classe floresta.*

Observa-se que na classe represamentos houve mudança expressiva em sua área, que correspondia em 1971/1972 a apenas 25,51 ha, e que em 2007/2008 foi ampliada para 224,15 ha. Isto ocorreu devido ao represamento das águas do Rio Paranapanema, onde o Ribeirão do Rebojo deságua, para a implantação de uma usina hidrelétrica, fazendo com que as várzeas da foz do ribeirão fossem inundadas pelas águas da represa. Na Figura 5 pode-se observar a contribuição líquida de cada classe para o de área de represamentos no período.

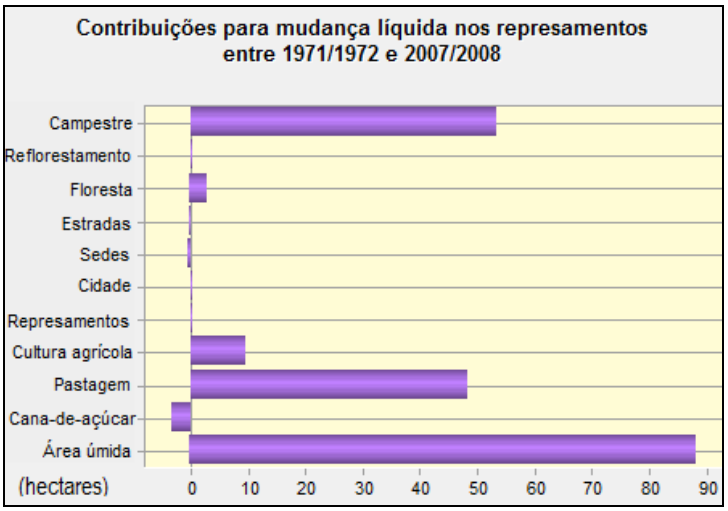



*Figura 5: Contribuição dos usos e cobertura da terra para as mudanças na classe represamentos.*

Outra expressiva alteração sofrida no período relaciona-se a classe campestre que abrangia área de 8.091,64 ha em 1971/1972, representando 24% do total da bacia e que no mapeamento de 2007/2008 registrou 439,64 ha (apenas 1,3% de área total). Na Figura 6 observa-se a contribuição de cada uso e cobertura para a mudança líquida na classe campestre e na Figura 7 a espacialização da relação de perda, ganho e persistência dessa classe em 36 anos.

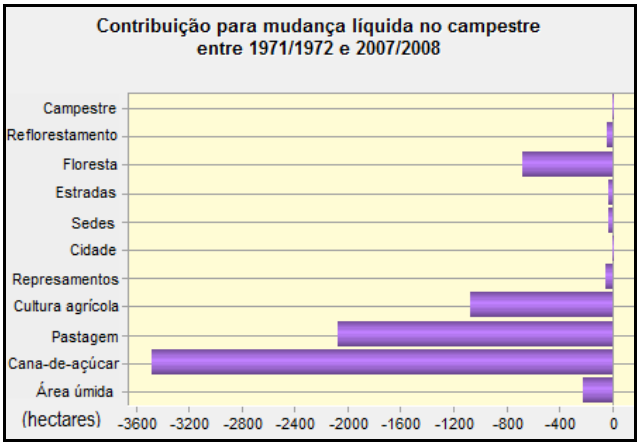



*Figura 6: Contribuição dos usos e cobertura da terra para as mudanças na classe campestre.*

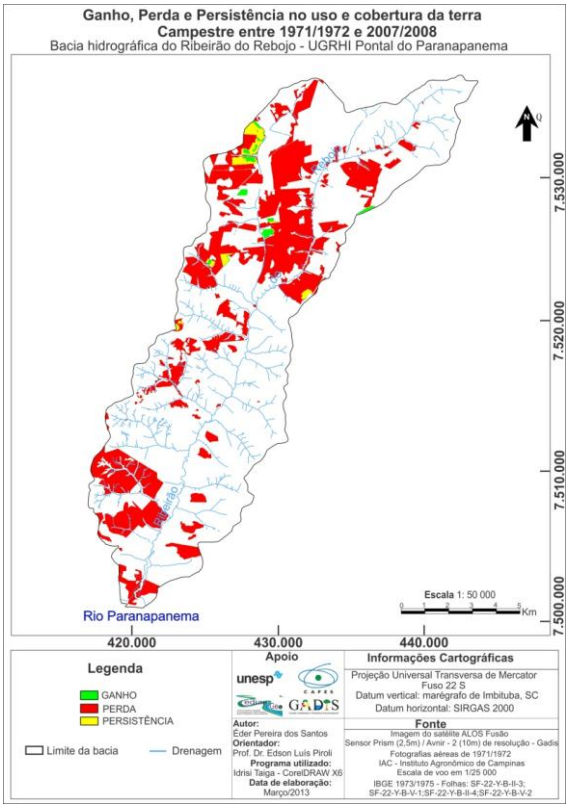



*Figura 7: Mapa de ganho, perda e persistência da classe campestre entre 1971/1972 e 2007/2008.*

Outra mudança importante identificada foi o fato da classe pastagem, predominante no período de 1971/1972, ter perdido este posto em 2007/2008. Na Figura 8 pode-se observar em quais áreas da bacia esta classe apresentou ganho, perda ou persistência. A observação da figura nos mostra que a categoria pastagem foi substituída sobretudo na região esquerda do baixo Rebojo, onde a morfologia do terreno permite a introdução de maquinários para a agricultura mecanizada, tanto da cana-de-açúcar, quanto de culturas agrícolas anuais.

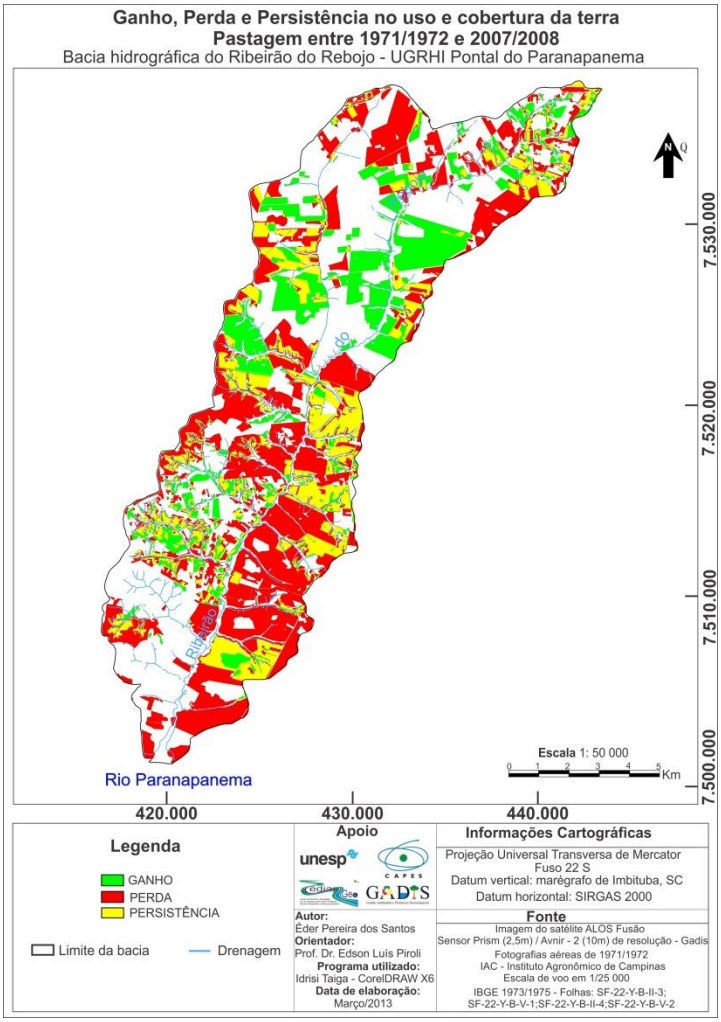



*Figura 8: Ganho, Perda e Persistência da classe Pastagem entre 1971/1972 e 2007/2008.*

Analisando-se o contexto geral da área, a Figura 9 nos mostra os dados de perda e ganho por categoria e permite identificar a dinâmica que predominou no período analisado em relação aos usos e cobertura da terra na área da bacia hidrográfica. Verifica-se que as perdas mais expressivas estiveram relacionadas às classes Pastagem, Campestre e Cultura agrícola. Já os ganhos mais expressivos estavam relacionados às classes Cana-de-açúcar, Pastagem e Cultura agrícola. Isto indica que as relações de substituição do uso da terra são

complexas, ocorrendo casos de retirada de uma determinada cobertura de um local e implantação da mesma em outro. Estas mudanças estão condicionadas a aspectos de políticas agrícolas (subsídios e incentivos ou a retirada deles), políticas ambientais (mais restritiva nas décadas de 1990 e 2000), necessidades do mercado nacional e/ou internacional (falta ou sobra de um produto, o que determina uma maior ou menor valorização). Como grandes transformações evidenciadas na paisagem da bacia hidrográfica situam-se as mudanças registradas em relação às classes Pastagem e Campestre, tendo a classe Cana-de-açúcar como principal ator destas transformações no período de análise.

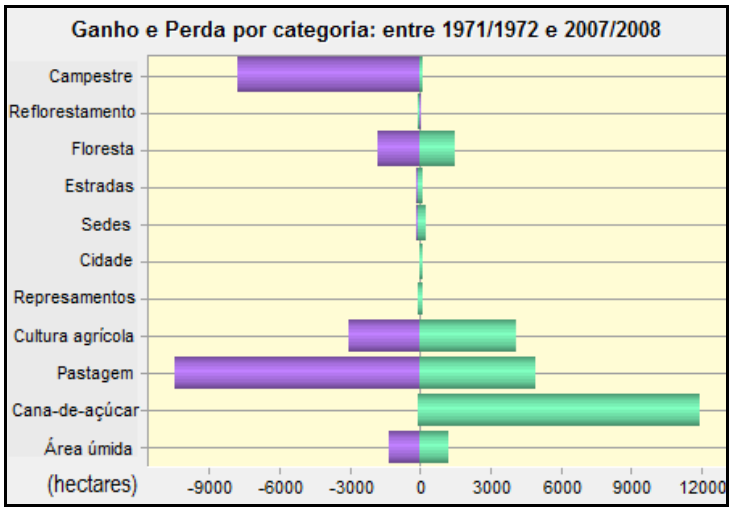



*Figura 9: Ganho e perda por categoria de uso e cobertura da terra.*

## DISCUSSÕES

No mapeamento de 1971/1972 verificou-se como principal tipo de uso e cobertura da terra a classe Pastagem representando 43,9% de área. Esse dado relaciona-se ao fato de que a área de estudo, bem como a região do Pontal do Paranapanema da qual faz parte, tinha como principal atividade antrópica na época as pastagens destinadas à criação do gado, representando a principal fonte econômica da região. No mapeamento de 2007/2008 as pastagens passam a representar 27, 6% de área na bacia, perdendo o posto de principal classe de ocorrência para a cana-de-açúcar. Esta, não apenas se tornou a principal classe de uso da terra na área da bacia, como está em processo de expansão tendo respaldo em fatores externos a região. Uma das causas desta mudança foi o impulso que o setor sucroalcooleiro ganhou no Brasil a partir da década de 1970 com o Programa PROALCOOL que visava substituir as importações de petróleo, devido à alta de preços deste recurso energético em virtude da crise internacional no setor. Segundo Thomaz Junior (2009, p.229) na região do Pontal do Paranapanema, as áreas de produção canavieira "se conformaram ao longo dos anos 1980 e 1990, sobretudo nas proximidades das unidades agroindustriais canavieiras". O autor ressalta também que está em curso uma ampliação "para as áreas mais próximas aos vales do Paranapanema, Peixe e Aguapeí-Feio, no entorno e porção norte da Reserva Estadual Morro do Diabo".

Consolidando a expansão canavieira na região do Pontal do Paranapanema foi aprovado em 2008 o Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, o qual especifica que grande parte da região é propícia a esta atividade.

Já em relação a grande alteração e mudança brusca na classe Campestre, observou-se que esta ocorreu devido à efetivação da ocupação antrópica na área de estudo, bem como de toda a região que faz parte. Se no mapeamento de 1971/1972 era possível visualizar, por meio das fotografias aéreas, vastas áreas de vegetação natural esparsa, no mapeamento seguinte, em 2007/2008, verificou-se grandes perdas o que se justifica pela substituição dos pastos pela cultura agrícola, e, principalmente, pela expansão canavieira.

Com relação à expressiva alteração de área na classe Represamentos, de 25,51 ha em 1971/1972 para 224,15 ha em 2007/2008, esta é explicada pela construção da Usina Hidroelétrica de Taquaruçu, a oeste da sua foz do Ribeirão Rebojo, cuja finalização ocorreu em fins da década de 1990. A formação do reservatório alterou de forma significativa a foz do Ribeirão do Rebojo, alargando suas margens.

No tocante às áreas de vegetação natural (floresta), que em virtude do processo histórico de ocupação da região, tiveram grandes perdas, ressalta-se que foram observados nesta pesquisa importantes fragmentos florestais que foram mantidos ao longo do tempo e outros provenientes de projetos de recomposição levados a cabo na área da bacia. Mesmo assim, a área coberta por esta categoria ainda é insuficiente para atender às necessidades ecológicas da área. Além disso, observou-se a inexistência de matas ciliares em muitas Áreas de Preservação Permanente, o que precisa ser adequado à legislação ambiental brasileira.

## CONCLUSÕES

As técnicas de detecção e mapeamento de mudanças para análise da bacia hidrográfica permitiram a identificação de profundas transformações em sua paisagem ao longo de 36 anos. A principal mudança registrada para o período foi a substituição da classe pastagem, como principal uso e cobertura, pela classe cana-de-açúcar. Esta última tem se tornado não apenas a principal classe de uso da terra na área da bacia, mas também a causa prioritária da dinâmica antrópica em toda a região do Pontal do Paranapanema. Essa dinâmica, verificada em campo, extrapola a área de estudo em virtude de políticas voltadas a expansão do setor sucroalcooleiro no país e na região. Percebe-se também que, ainda que a classe pastagem tenha tido uma importante redução de área, de 43,9% em 1971/1972 para 27,6 em 2007/2008, ainda permanece sendo uma classe expressiva na bacia e na região.

O uso das técnicas de geoprocessamento aliadas ao sensoriamento remoto e a um Sistema de Informações Geográficas demonstrou grande capacidade de contribuição nas pesquisas e análises de detecção de mudanças no uso e cobertura da terra. O módulo *Land Change Modeler*, componente do SIG Idrisi Taiga possibilitou a extração de ricas informações demonstrando o potencial das técnicas bem como das análises realizadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UNESP (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho") campus de Presidente Prudente pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa de mestrado e À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos que permitiu a dedicação de forma integral a pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Florenzano, T.G. 2007. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de Textos. São Paulo.
2. Fitz, P.R. 2008. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de Textos. São Paulo.
3. Ibge. 2006. **Manual Técnico de Uso da Terra**. IBGE. 2ª ed. Rio de Janeiro.
4. Leite, E. F.; Rosa, R. 2012. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia.** v.4, p. 90-106.
5. Novo, E. M. L. M. 1989. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. Edgar Blücher. São José dos Campos.
6. Piroli, E.L.; Pereira, R.S. 1999. Geração de imagem georreferenciada do município de Santa Maria utilizando imagem de satélite e sistemas de informações geográficas. **Ciência Rural**, v.29, p.475-478.
7. Santos, E.P. dos. 2013. **Mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo entre 1971/1972 e 2007/2008. UGRHI Pontal do Paranapanema – SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente.
8. Thomaz Junior, A. 2009. **Dinâmica Geográfica do Trabalho no Século XXI (limites explicativos, autocrítica e desafios teóricos), v.1**. Tese (Livre Docência em Geografia) – Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# MODELACIÓN DE LA ACCESIBILIDAD ESPACIAL A LA RED HOSPITALARIA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CONCEPCIÓN

**Martínez, Marcela[a]; Rojas, Carolina[b]**
**Universidad de Concepción**
**[a](mamartinezb@udec.cl)**
**[b](crojasq@udec.cl)**

**RESUMEN**

En los últimos años los modelos de accesibilidad han demostrado ser un importante instrumento para la determinación de desigualdades y para buscar alternativas que las solucionen. Este trabajo tiene por objetivo modelar la accesibilidad espacial desde los asentamientos poblados del Área Metropolitana de Concepción (AMC) a su red hospitalaria pública, con la finalidad de identificar los desequilibrios socio-territoriales que se generan en el territorio. Se propone el uso de la regresión geográficamente ponderada (GWR) para modelar la accesibilidad con variables socioeconómicas y de transporte. Los resultados permitieron identificar las zonas más desfavorecidas en el acceso espacial al equipamiento hospitalario, donde además las variables explican con mayor fuerza la accesibilidad usando el modelo local (GWR). La aplicación de este modelo presentó numerosas ventajas, puesto que permite mejorar los ajustes y conocer la distribución espacial, tanto de los coeficientes de las variables explicativas, como en la significación local del modelo.

**Palabras claves:** Accesibilidad, equidad espacial, equipamiento hospitalario, regresión geográficamente ponderada.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han desarrollado numerosos estudios apoyados en el uso de herramientas SIG para evaluar la incidencia de la accesibilidad en los desequilibrios territoriales de determinados núcleos, principalmente asociada a aspectos relevantes como la salud pública, ofreciendo además importantes posibilidades para evaluar la distribución espacial de la oferta de los equipamientos hospitalarios y de atención primaria (Ramírez & Bosque Sendra, 2001; Schuurman *et al*., 2006; Sasaki *et al*., 2010; Buzai, 2011), pudiéndose identificar áreas razonablemente servidas y/o marginadas, y los grupos socio-espaciales beneficiados y/o desfavorecidos en cuanto a su accesibilidad (Fuenzalida, 2010).

En este contexto los estudios geográficos desde un enfoque espacial y automatizado, en general aplicados a la planificación, localización y gestión territorial de los servicios sanitarios, han tenido como objetivo evaluar cómo se garantiza un acceso equitativo de la población a las prestaciones, tanto de atención primaria como especializada en un sistema de salud, cuya expresión espacial implica al mismo tiempo una distribución geográfica equitativa de los centros que prestan servicios de salud a la población, que en escasas ocasiones ha considerado el sistema de transporte que posibilita la movilidad a la población.

En el Área Metropolitana de Concepción (AMC), existen 228 localidades urbanas y rurales distribuidas en las distintas comunas que la componen, con altas densidades de población en algunas localidades desprovistas de hospitales y centros de atención primaria. Muchas de estas localidades presentan altos índices de ruralidad y una infraestructura vial deficiente, que impide la adecuada conectividad a las áreas urbanas, donde se localizan dichos equipamientos de salud. Considerando estos aspectos, sumado a las características socioeconómicas y circunstancias materiales de la población tratada en hospitales públicos, se considera relevante la modelación de la accesibilidad a estos equipamientos en el AMC, para la determinación de las desigualdades existentes en el territorio, y para buscar alternativas que las solucionen.

De esta forma, el objetivo de este trabajo es modelar la accesibilidad espacial desde los asentamientos poblados urbanos y rurales del Área Metropolitana de Concepción (AMC) a la red hospitalaria de salud pública, con la finalidad de identificar y analizar los desequilibrios socio-territoriales que se generan en la dinámica del territorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la modelación de la red se utilizan las funcionalidades de análisis de redes de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde se incluyen todas las carreteras estatales, concesionadas y urbanas de las comunas que conforman el AMC, a escala 1:10.000, actualizadas al año 2013 por la Secretaria Regional Ministerial Seremi MINVU. Las redes se catastran como un elemento geométrico lineal y las localidades como elementos georreferenciados, con propiedades y atributos específicos.

El cálculo de la accesibilidad utiliza el promedio de las impedancias que separan cada localidad de origen con los recintos hospitalarios de destino a través de la red, siendo el número de establecimientos hospitalarios de destino previamente designado para cada localidad, según la comuna a la cual pertenezcan. Por lo tanto, en este estudio la accesibilidad se entiende como el promedio de los tiempos de viaje de cada localidad a sus hospitales asignados, según lo regulado por el Ministerio de Salud a través de la disposición de los Servicios de Salud en el área de estudio.

La utilización de los tiempos de viaje en la modelación de la accesibilidad a los establecimientos de salud primaria u hospitalaria, ha sido incorporada ampliamente en diversos estudios (Brabyn & Skelly, 2001; Munoz & Kallestal, 2012; Bagheri *et al*., 2009; Hare & Barcus, 2007; Rodríguez, 2010), donde se considera el factor localización (población, centros de salud) y las características de la red para su obtención (velocidad de la vía, longitud por tramos).

Para la modelación de la accesibilidad como variable dependiente, se aplicaron los métodos de Mínimos Cuadrados Ordinarios (*Ordinary Least Squares* - OLS) y Regresión Geográficamente Ponderada (*Geographically Weighted Regression* - GWR). Se utilizaron seis variables explicativas de carácter socioeconómico y de transporte que representan determinantes sociales de la salud de la población, estas fueron las siguientes: población analfabeta, viviendas rurales, viviendas irrecuperables, hogares con automóvil particular, recorridos de transporte público y conectividad.

Para la asignación de los pesos en el modelo GWR se utilizó un esquema de ponderación conocido como Kernel adaptativo (con variación espacial), en el que en la medida de las variaciones de densidad de los datos, se asignan medidas más grandes donde éstos se encuentran de forma dispersa, y medidas menores donde están más concentrados (Rojas *et al*., 2013).

Las diferencias en la utilización de un modelo estadístico global y local se basan principalmente en la capacidad de este último de ser espacializado y representado en un ambiente SIG, con énfasis en las diferencias a través del espacio, desagregación local de las estadísticas locales, entre otras (Fotheringham *et al*., 2002).

En este estudio se consideró como unidad de análisis los distritos censales (polígonos) del AMC, por lo tanto las variables explicativas se obtuvieron en función de esta unidad territorial. Cuatro variables fueron escogidas del Censo de Población y Vivienda del año 2002, correspondientes a las jerarquías Personas, Vivienda y Hogar. Dos variables fueron obtenidas del Proyecto Gesitran Biobío[1], correspondientes a la jerarquía Transporte (número de recorridos de transporte público e índice de conectividad).

## RESULTADOS

### Accesibilidad a la oferta de hospitales públicos del AMC

Los resultados (Figura 1), muestran un patrón de distribución geográfico de los valores que sigue las típicas pautas centro-periferia, donde las áreas de la ciudad donde se localizan las unidades hospitalarias, por lo general, muestran elevados niveles de accesibilidad (0.9 a 24.2 minutos), las áreas adyacentes registran niveles de accesibilidad intermedios (24.2 a 33.1 minutos), y las áreas más alejadas de las unidades de salud (al Sur del AMC), muestran niveles de accesibilidad desfavorables o muy desfavorables (33.1 a 104.8 minutos), siendo éstas principalmente zonas rurales.

Resulta importante de destacar los óptimos niveles de acceso que se observan en el área urbanizada de Concepción, Talcahuano, Hualpén, San Pedro de la Paz y Penco (conurbación central), que concentran gran parte del equipamiento hospitalario del área de estudio (H. Regional, H. de Penco y H. Higueras), además de

[1] Plataforma Tecnológica para la Gestión Integral del Sistema de Transporte en la Región del Biobío www.gesitranbiobio.cl.

presentar una buena conectividad urbana desde el punto de vista de la topología de la red. En este anillo concéntrico, los tiempos de viaje medios para acceder a las unidades hospitalarias varían entre 0.9 y 14. 8 minutos.

En general, las variaciones en los niveles de accesibilidad en el AMC responden a las facilidades para alcanzar el equipamiento hospitalario considerando la morfología de la red, aspecto útil para identificar dónde se concentran los problemas de infraestructura, con altos niveles de rodeo y al mismo tiempo bajas velocidades determinadas por la tipología de la vialidad. En estas zonas, como es el caso de las localidades pertenecientes a Hualqui y Santa Juana, el tipo de vialidad predominante corresponde a caminos rurales de tierra y huellas que en algunos casos no permiten en transporte motorizado, por lo que la población en estos segmentos debe utilizar como medio de transporte la caminata.

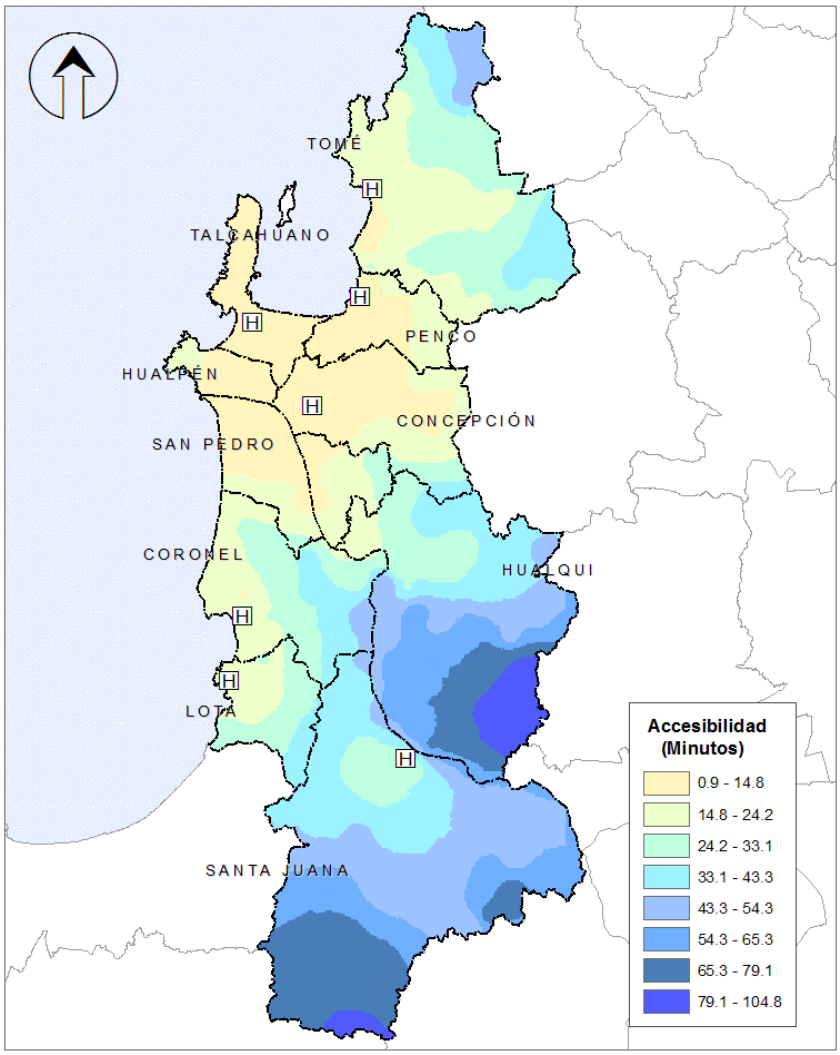



*Figura 1. Accesibilidad a la oferta de hospitales públicos del AMC.*
*Fuente: Elaboración propia.*

**Regresión Geográficamente Ponderada (GWR)**

Luego del análisis de correlación aplicado a todas las variables explicativas en que se descarta aquellas que presentan correlaciones mayores a 0.8 (Bocco *et al*., 2000; Rojas *et al*., 2015), se aplica el índice de Moran a las siente variables (incluyendo la variable dependiente) con la finalidad de comprobar la presencia o no de autocorrelación espacial en sus distribuciones. Los resultados muestra que para la totalidad de las variables, los resultados del índice de Moran sugieren presencia de autocorrelación espacial significativa estadísticamente, con una pauta de distribución agrupada (*clustered*). Así, las puntuaciones Z y los valores P indican que se rechaza la hipótesis nula (que establece que los valores de entidades están distribuidos en forma aleatoria en el área de estudio).

Entonces, el modelo final propuesto incorpora seis variables independientes: una relativa a la población (porcentaje de personas analfabetas), una relativa a los hogares (porcentaje de hogares con tenencia de automóvil particular), dos relativas a las características de la vivienda (porcentaje de viviendas rurales e irrecuperables), y dos asociadas al transporte (índice de conectividad y número de recorridos de transporte público), y todas utilizan como unidad espacial al distrito censal.

El $R^2$ ajustado obtenido en el modelo GWR es de 0.87, lo que supone una mejora muy importante con respecto al modelo OLS (0.67). También resulta un valor más reducido del AIC, así como de otros parámetros (Sigma y Desviación Estándar). Asimismo, el análisis de los residuos también muestra mejores resultados en la GWR que en la OLS. Esta mejora se comprueba estadísticamente (Tabla 1), donde el valor calculado del índice de Moran para los residuos se aproxima mucho más al valor esperado en el modelo GWR, mostrando además una menor varianza y mayores probabilidades de distribución aleatoria (valores P y puntuaciones Z).

*Tabla 1. Índice de Moran en los residuos (OLS y GWR).*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | **Método OLS** | **Método GWR** |
|---|---|---|
| I Calculado | 0.251 | 0.019 |
| I Esperado | -0.008 | -0.008 |
| Varianza | 0.001 | 0.000 |
| Z-score | 6.372 | 0.933 |
| p-value | 0.000 | 0.350 |
| Pauta | Agrupación | Aleatoria |

Por otra parte, la distribución espacial de los ajustes locales producidos con la GWR ($R^2$ locales), permite conocer la variación espacial del poder explicativo del modelo. La distribución del $R^2$ local a nivel distrital, varía entre 0.60 y 0.80 (Figura 2), teniendo el modelo una mejor capacidad explicativa en la zona central del AMC (distritos pertenecientes a las comunas de Concepción, Hualpén y Talcahuano), incrementándose los $R^2$ por encima del 0.73.

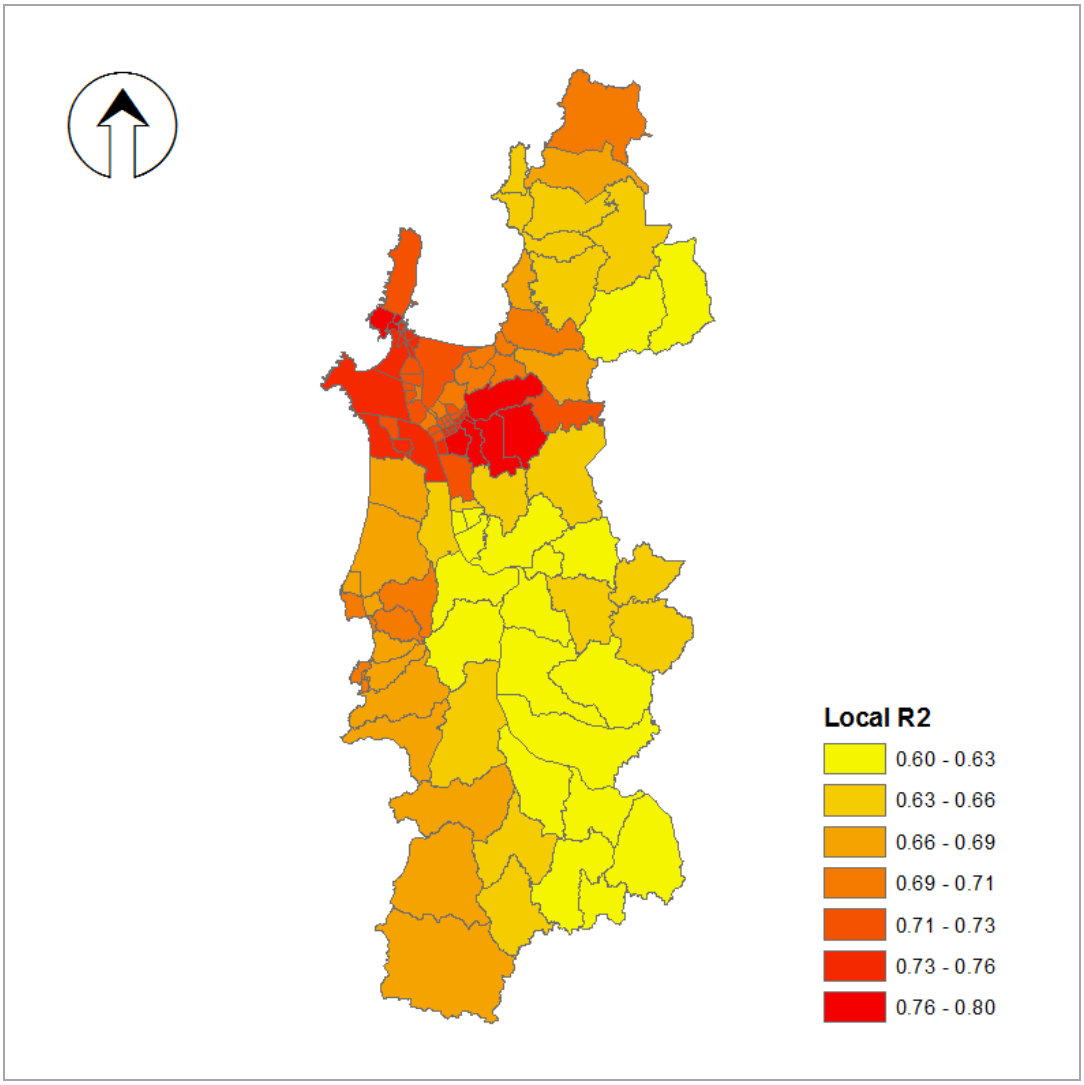



*Figura 2. Distribución espacial de los $R^2$ locales modelo GWR.*
*Fuente: Elaboración propia.*

Para el análisis de la variabilidad espacial de los coeficientes locales de las variables explicativas (elasticidades) en el modelo GWR, a continuación se muestra su representación espacial junto con los valores t estadísticamente significativos (al nivel de 90%, con valores t mayor a 1.64) y no significativos en algunos distritos censales.

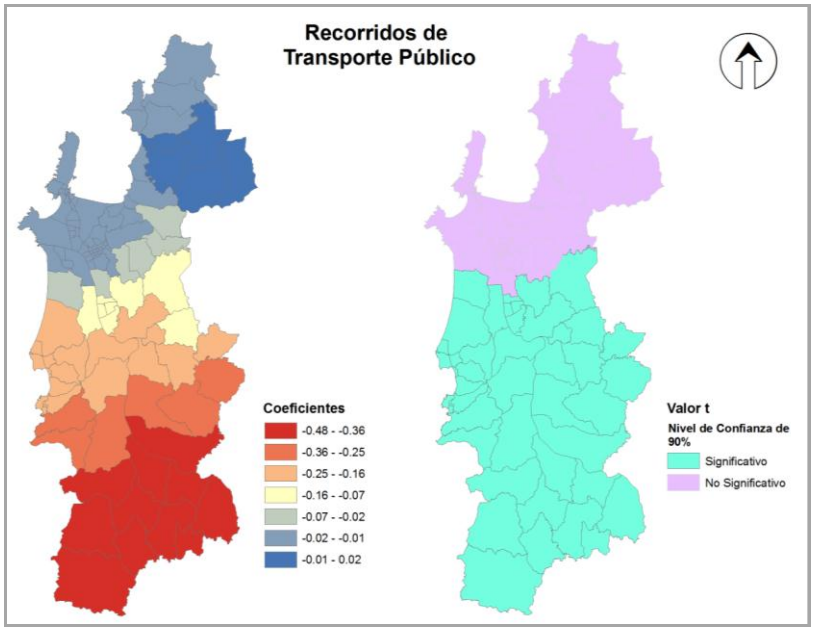



*Figura 3. Distribución espacial de los coeficientes locales y valores t modelo GWR: Recorridos TP. Fuente: Elaboración propia.*

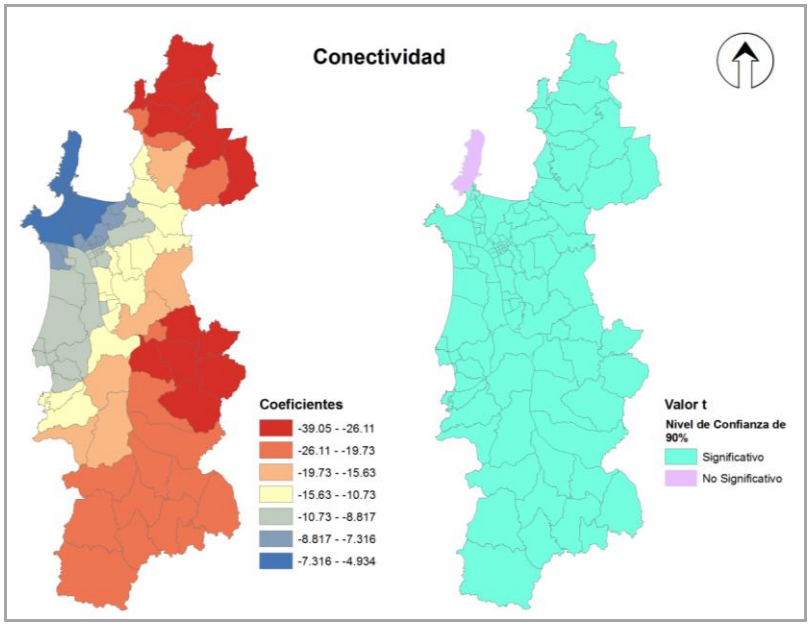



*Figura 4. Distribución espacial de los coeficientes locales y valores t modelo GWR: Conectividad. Fuente: Elaboración propia.*

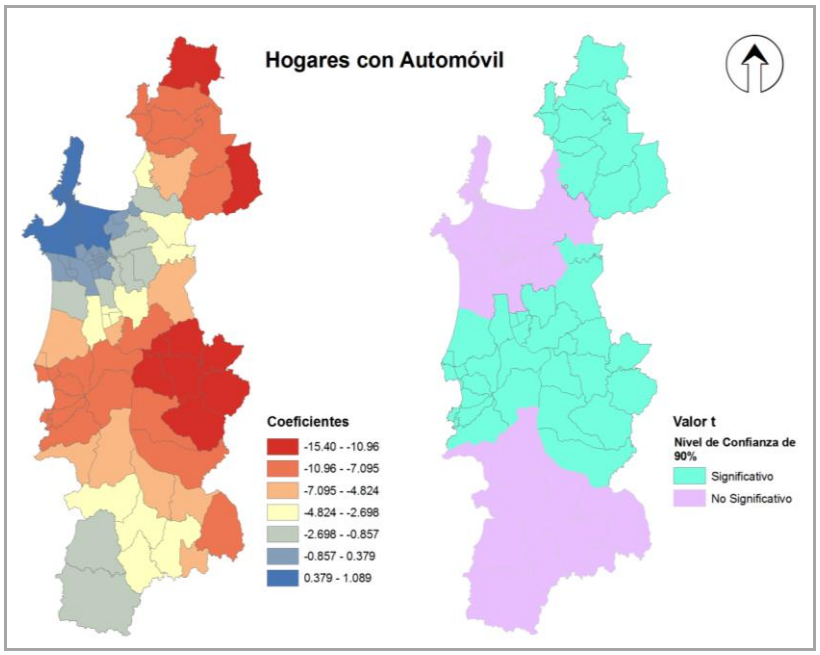



*Figura 5. Distribución espacial de los coeficientes locales y valores t modelo GWR: Hogares con Automóvil. Fuente: Elaboración propia.*

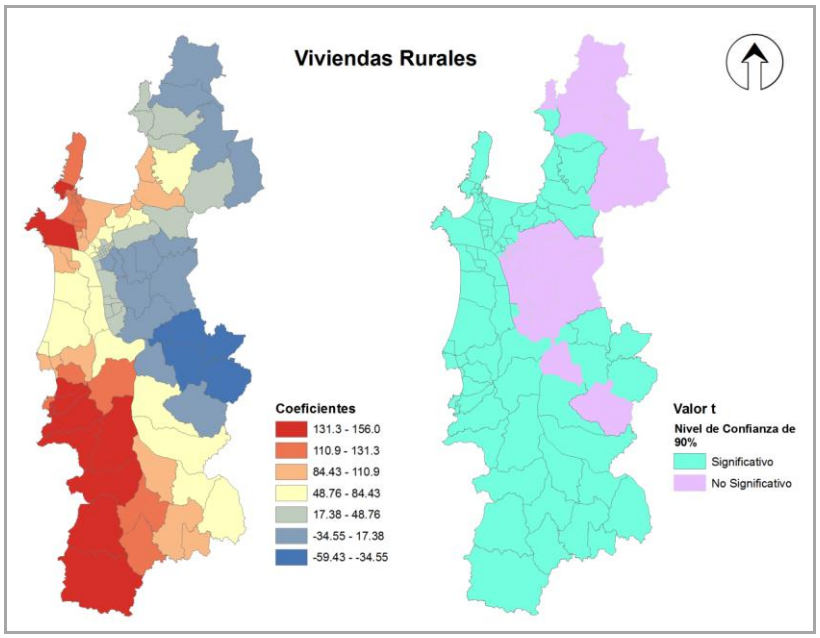



*Figura 6. Distribución espacial de los coeficientes locales y valores t modelo GWR: Viviendas Rurales. Fuente: Elaboración propia.*

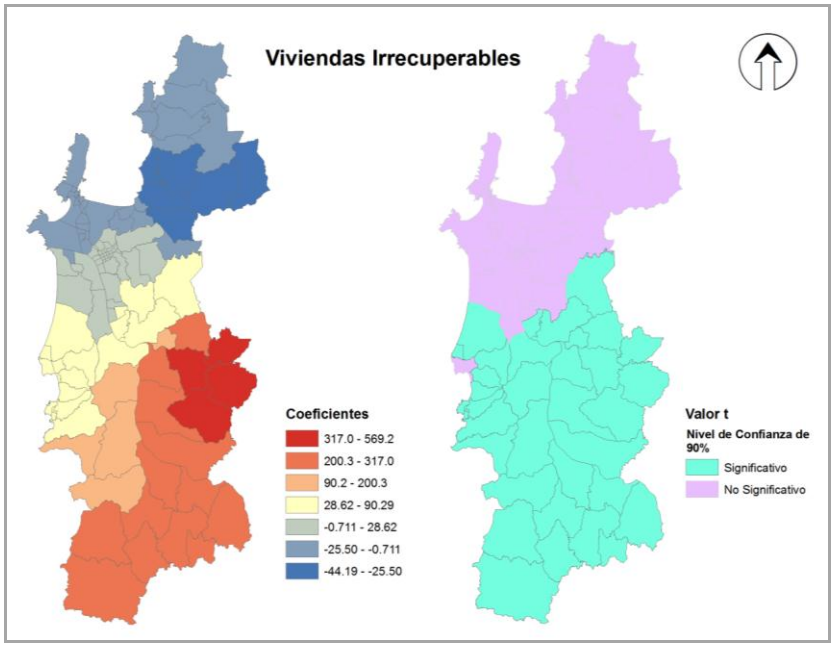



*Figura 7. Distribución espacial de los coeficientes locales y valores t modelo GWR: Viviendas Irrecuperables. Fuente: Elaboración propia.*

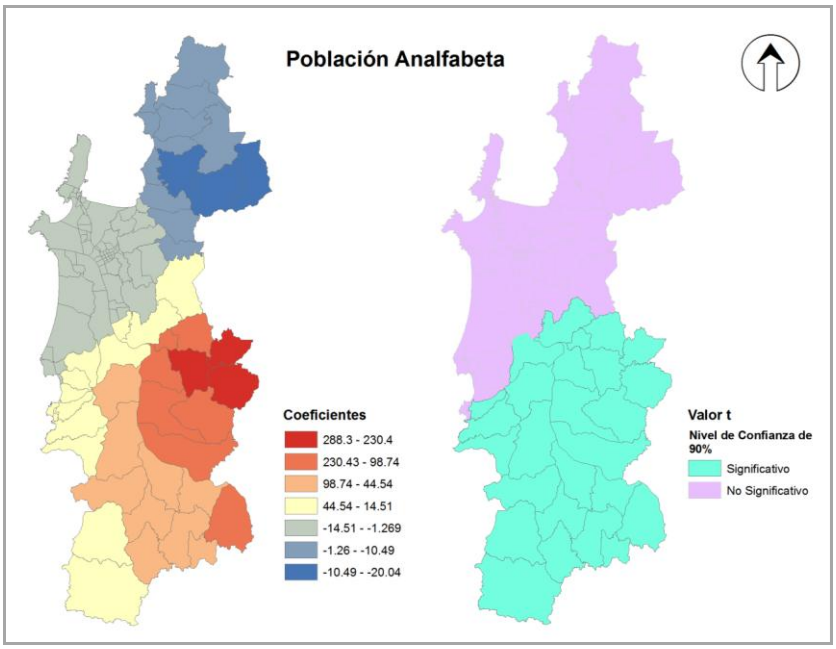



*Figura 7. Distribución espacial de los coeficientes locales y valores t modelo GWR: Población Analfabeta. Fuente: Elaboración propia.*

## DISCUSIÓN

En este trabajo se encontró que aproximadamente el 4.1% de la población (37.228 personas) que vive en el AMC (900.000 personas), tiene un acceso desfavorable o muy desfavorable a los establecimientos hospitalarios públicos (tiempos de viaje superiores a 30 y 45 minutos respectivamente). El 32.8% de esta población habita en zonas rurales, particularmente en las comunas de Tomé, Santa Juana y Hualqui, en las que se identificaron áreas de baja accesibilidad a la atención hospitalaria. En estos lugares, la población presenta tiempos de viaje altos, y a la vez alta necesidad en el acceso a los servicios de atención de salud.

En la modelación de la accesibilidad a hospitales utilizando variables socioeconómicas y de transporte, se encontraron resultados interesantes desde el punto de vista de las variaciones locales de los coeficientes, identificándose una fuerte incidencia de las variables explicativas sobre los tiempos de viaje a atención hospitalaria al Sur del AMC.

Respecto a la modelación, el método de regresión múltiple (OLS) ofrece un $R^2$ ajustado 0.67, mientras que el método de regresión geográficamente ponderado (GWR) muestra un $R^2$ ajustado de 0.87, esto significa que con las seis variables seleccionadas se explica la variabilidad en los tiempos de viaje a los hospitales con una precisión de más de un 80%, lo que supone una mejora muy importante con respecto al modelo OLS. Los resultados permitieron identificar las zonas más desfavorecidas en el acceso espacial al equipamiento hospitalario, las que muestran además los mayores coeficientes de las variables seleccionadas.

Es importante señalar que una de las limitantes de este trabajo, es que aborda el acceso a la salud como un componente lineal del viaje (relación entre un origen y un destino), y no desde la perspectiva de la utilización y/o concreción de prestaciones de salud. Para ello, los estudios de movilidad en salud sustituyen este vínculo por la relación entre una necesidad (recibir atención en el sistema público de salud) y su satisfacción (concretar la prestación de salud), siendo el primer abordaje insuficiente en este tipo de investigaciones, especialmente en el estudio de casos que requieren tratamientos médicos prolongados o controles periódicos (Gutiérrez, 2009).

## CONCLUSIONES

La medición de la accesibilidad a los equipamientos de salud hospitalaria a escala AMC no sólo permitió identificar áreas del territorio con problemas críticos, sino también profundizar en el análisis de la desigualdad de acceso, aspecto complejo de evaluar bajo las aportaciones clásicas en geografía que utilizan el concepto de accesibilidad desde el área de servicio o cobertura de un equipamiento hospitalario, considerando como elemento fundamental únicamente la localización del equipamiento a servir.

Los resultados de la modelación a nivel local, permitieron vislumbrar dónde el modelo tiene un mayor y menor ajuste ($R^2$), cómo cambia la relación entre las variables en el espacio (coeficientes) y con qué significación estadística, mostrando numerosas ventajas frente a la aplicación de un modelo global de regresión múltiple (Gutiérrez *et al.*, 2012). Este trabajo aporta evidencia de la importancia de considerar el análisis local en los estudios relacionados con la accesibilidad a la salud, siendo éstos en Chile cada vez más requeridos desde una perspectiva geográfica y de transporte.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Bagheri, N., Holt, A. & Benwell, G. 2009. Using geographically weighted regression to validate approaches for modelling accessibility to primary health care. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2(3), 177-194.
2. Brabyn, L. & Skelly, C. 2001. Geographical Access to Services, Health (GASH): modelling population access to New Zealand public hospitals. In *Proceedings: Thirteenth Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*, 2(5), 163-174.
3. Buzai, G. D. 2011. Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: análisis espacial de Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS) en la ciudad de Luján, Argentina. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 111-123.
4. Fotheringham, A. S., Brunsdon, C. & Charlton, M. 2002. *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships*. Chichester: Wiley.
5. Fuenzalida, M. 2010. Análisis de desigualdades territoriales en la oferta de equipamientos públicos: el caso de los hospitales en la red asistencial del sistema público de salud en Chile. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG, Luján)*. 2(2), 111-125.
6. Gutiérrez, A. 2009. La movilidad de la metrópolis desigual: el viaje a la salud pública y gratuita en la periferia de Buenos Aires. *CONICET/UBA, Instituto de Geografía, Programa Transporte y Territorio.*
7. Gutiérrez, J., García Palomares, J. C. & Cardozo, O. 2012. Regresión Geográficamente Ponderada (GWR) y estimación de la demanda de las estaciones del Metro de Madrid. *En XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Madrid.*
8. Hare, T. & Barcus, H. 2007. Geographical accessibility and Kentucky's heart-related hospital services. *Applied Geography*, *27*(3), 181-205.
9. Munoz, U. & Kallestal, C. 2012. Geographical accessibility and spatial coverage modeling of the primary health care network in the Western Province of Rwanda. *International Journal of Health Geographics*, 11, 40.
10. Ramírez, M. & Bosque Sendra, J. 2001. Localización de hospitales: analogías y diferencias del uso del modelo P-mediano en Sig raster y vectorial. *Anales de Geografía de la Universidad complutense*, 21, 53.
11. Rodríguez, V. 2010. Medición de la accesibilidad geográfica de la población a la red de hospitales de alta resolución de Andalucía mediante sistemas de información geográfica. En R. Díaz-Delgado, L. Pesquer, E. Prat, J. Bustamante, J. Masó & J. Pons, *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. 549-564. Sevilla: Universidad de Sevilla.
12. Rojas, C., Plata, W., Valdebenito, P., Muñiz, I. & De la Fuente, H. 2013. La Dinámica de expansión urbana del Área Metropolitana de Concepción. En J. Williams, R. Hidalgo, P. Brand & L. Pérez, *Metropolizaciones Colombia -Chile: Experiencias de Bogotá, Medellín, Santiago y Concepción*. 39-56. Universidad Nacional de Colombia: Línea Editorial 1 Investigaciones.
13. Sasaki, S., Comber, A., Suzuki, H. & Brunsdon, C. 2010. Using genetic algorithms to optimise current and future health planning-the example of ambulance locations. *International Journal of Health Geographics*, 9, 4.
14. Schuurman, N., Fiedler, R., Grzybowski, S. & Grund, D. 2006. Defining rational hospital catchments for non-urban areas based on travel-time. *International Journal of Health Geographics*, 5, 43.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL Y TERRITORIAL EN EL ESTADO DE SINALOA RESULTADO DE LA DINÁMICA DE LOS USOS DE SUELO

**Plata Rocha, Wenseslao[a]; Corrales Barraza, Gabriela; Mojardin Armenta, Sergio Alberto**
**Ciencias de la Tierra y el Espacio, Universidad Autónoma de Sinaloa, México**
**[a](wenses@uas.edu.mx)**

**RESUMEN**
En las últimas décadas nuestro planeta en general ha venido desarrollando cambios en sus diferentes ecosistemas, los cuales han impactado directa o indirectamente en el cambio climático. En este renglón se muestra en el presente trabajo el impacto que ha sufrido el Estado de Sinaloa, México, provocado principalmente por los cambios en los usos de suelo, el crecimiento urbano y la deforestación en las últimas 4 décadas.

En este se evidencia un impacto ambiental sobre sus ecosistemas, ocasionado por el incremento de las zonas urbanas que incide sobre las selvas bajas y la agricultura. Aunado a esto se encuentra que la tasa media anual de deforestación supera la media nacional, siendo los municipios de Culiacán, Sinaloa, Mazatlán y Mocorito los mas afectados. Asimismo, el incremento de las zonas urbanas ha ocasionado el abandono de la actividad agrícola en torno a las prinicpales ciudades.

**Palabras claves:** Uso de suelo, deforestación, TIG.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años en todo el planeta se están produciendo importantes y significativos cambios debido a la conversión de la cobertura de uso y ocupación del suelo, el crecimiento urbano y la deforestación, lo cual ha impactado en la sostenibilidad global y en la calidad de vida de la población (Vitousek et al., 1997). Dichos cambios son producidos por la interacción entre el medio humano y natural, factor importante en el desarrollo económico y social, y un tema de investigación preponderante en estudios de cambio climáticos, medio ambiente y desarrollo sostenible (Mustard et al., 2004). Ante esto, se reconoce a nivel mundial la importancia de estudiar y comprender las dinámicas del cambio de cobertura/uso del suelo y su efecto e impacto sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Lambin et al., 2003).

A partir de esto se ha obtenido que a nivel global entre los cambios más destacados se enlista la pérdida de la mitad de la cubierta forestal mundial endémica y la devastación o perturbación irreversible de 30% de los ecosistemas. Este proceso es motivado principalmente por el crecimiento de la agricultura (Lambin et al., 2003; Rudel et al., 2009) y el crecimiento acelerado de la población urbana (Defries et al., 2010). En este sentido, el incremento poblacional (de un billón a finales del siglo XIX a 6.5 billones a principios de siglo XXI), aunado a las tasas de consumo, son patrones asociados a estos procesos de degradación (Mas & Ferndandez, 2003; Lambin et al., 2001).

En general, México no escapa de las tendencias mundiales, donde se observan una gran cantidad de cambios que están por arriba de la media mundial en cuanto a tasas de deforestación, incremento de las áreas de cultivo y pastoreo, expansión urbana y muchos otros (Mas et al., 2004; Guevara et al., 2001; Guerra & Ochoa, 2006)

En este sentido, Sinaloa, es una región de una variada e importante biodiversidad y con una gran cantidad de recursos forestales, pecuarios, agrícolas, acuícolas, industriales, comerciales, turísticos, entre otros; los cuales han presentado durante las últimas decadas una dinámica acelerada que ha modificado y fragmentado el paisaje del Estado, afectando su sostenibilidad ambiental y territorial. Ante esto el objetivo principal de este trabajo es obtener indicadores ambientales y territoriales que muetren el impacto y presión bajo la cual esta inmerso nuestros Estado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Estado de Sinaloa, al igual que otras entidades del País, ha sufrido un gran impacto en su medioambiente, paisaje, áreas naturales, principalmente, como consecuencia de una dinámica económica y demográfica, la cual impacta en sus ecosistemas, bajo una carente e inadecuada planeación territorial. Dicha dinámica se debe a la ubicación geográfica del Estado, el cual colinda al norte con el Estado de Sonora y Chihuahua, al sur con el Estado de Nayarit y el Océano Pacifico, al este con el Estado de Chihuahua, Durando y Nayarit y al oeste con el Océano Pacifico (Figura 1). La superficie total del Estado de Sinaloa es de 57.365 km2 (2,9 % de la superficie total del País), albergando una población que pasó de 1.266.528 habitantes en el año 1970 a 2.767.761 en el año 2010 (INEGI, 2010).




*Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.*

### Fuente de datos

Para realizar el estudio se utilizaron como fuente de datos 4 mapas de diferente fecha (1976, 1993, 2000 y 2007), con una leyenda con 10 categorías (Agricultura de riego y humedad, Agricultura de temporal, Asentamiento humano, Bosque, Cuerpo de agua, Matorral, Otros tipos de vegetación, Pastizales, Selvas y Vegetación hidrófila), a un nivel de detalle adecuado para examinar los procesos de cambio en el territorio a nivel Estatal (

Figura 2).

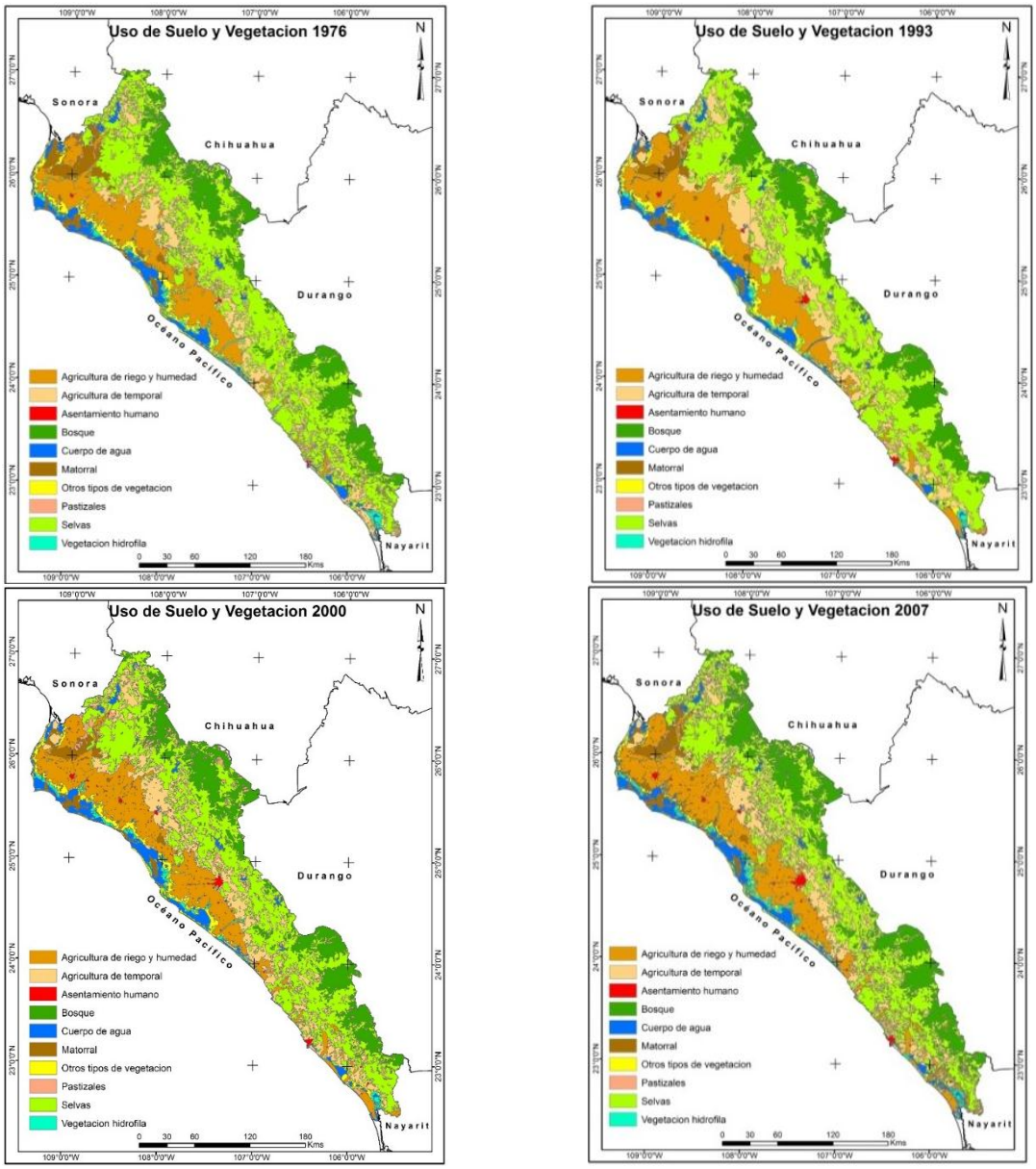



*Figura 2. Mapas de usos de suelo y vegetación (1976, 1993, 2000 y 2007)*
*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEGI.*

**Técnicas**

Para estimar los indicadores ambientales y territoriales primero que nada se analizaron los cambios de uso de suelo a partir de la metodología de Pontius et al., 2004, entre las fechas 1973-1993, 1993-2000, 2000-2007 (Corrales & Plata, 2013), a partir del cual se generaron las transiciones significativas, tasas de deforestación, indice de persistencias bajo el esquema de la figura 3. Asimismo, se utilizó el software ArcGIS, y el módulo Land Change Modeler (LCM) en IDRISI.

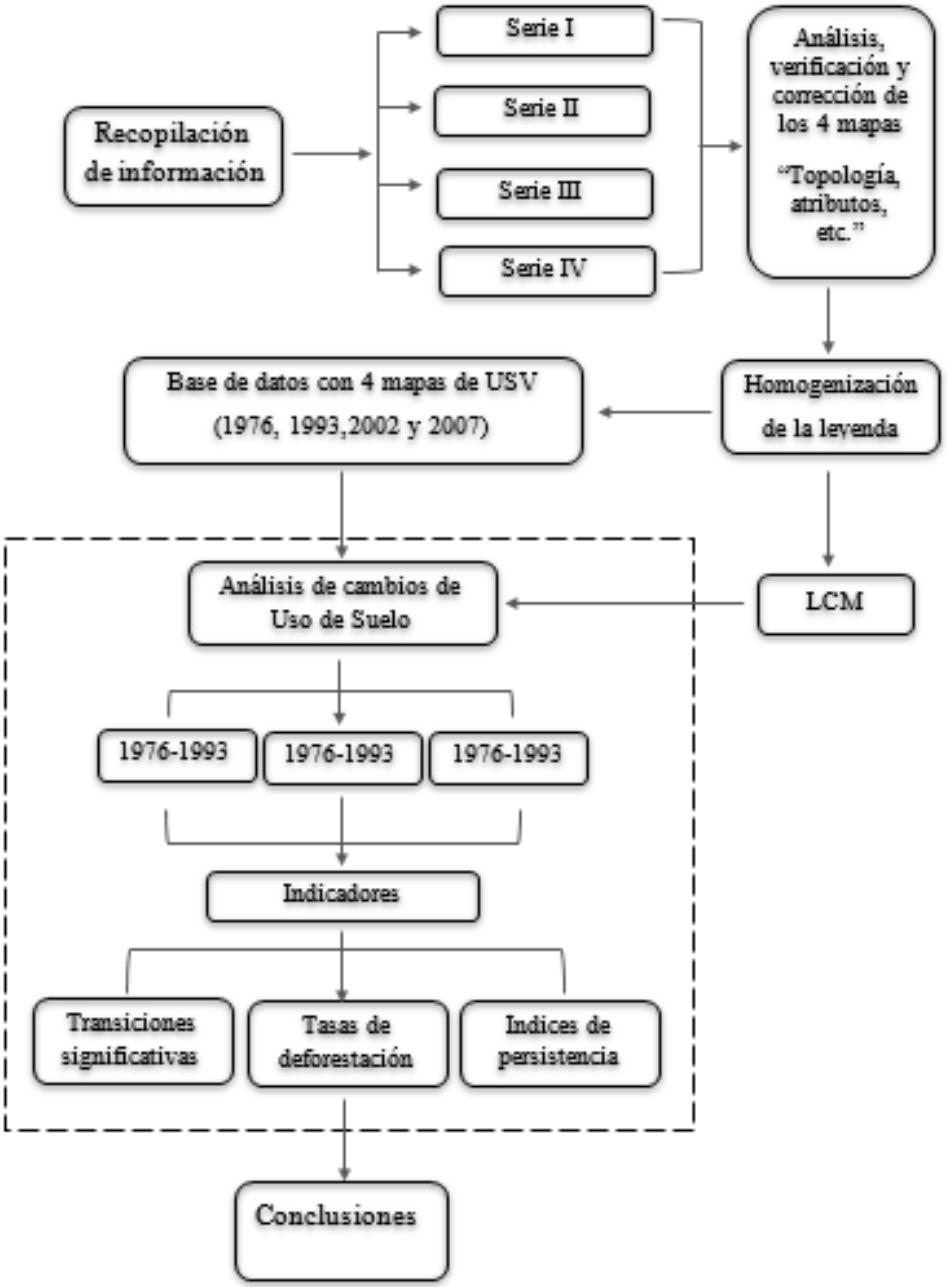



*Figura 3. Esquema metodologico para el analisis de indicadores ambientales y territoriales.*

**Transiciones significativas**

En estudio de cambios de usos de suelo es necesario además de estudiar las transiciones entre las diferentes categorías verificar si éstas son significativas (ganancias y pérdidas). Lo anterior es posible llevarlo a cabo a través de la matriz de transiciones sistemáticas (Pontius, et al., 2004). Se dice que una transición es sistemática, si la transición observada difiere de la transición esperada debido a un proceso aleatorio. Si una

categoría no tiene tendencia particular de ganar o perder de cualquiera de las otras categorías, entonces la transición observada correspondería a los patrones esperados debido a procesos aleatorios (Alo & Pontius, 2007).

Esta matriz se calcula distribuyendo las ganancias y las pérdidas a través de las otras categorías según la proporción relativa de cada categoría en el $T_1$ y $T_2$, respectivamente. Asimismo, para identificar si los valores de la matriz de transiciones sistemáticas son significativos, se considera la tasa de crecimiento, obtenida como una función de la diferencia entre los valores observados (matriz de cambios) y los valores esperados (matriz de transiciones sistemáticas: Pontius y et al., 2004).

$$Ts_{ij} = (P_{+j} - P_{jj})\left(\frac{P_{i+}}{P - P_{j+}}\right)$$

**Tasa de cambio y deforestación**

Asimismo, con base en las superficies correspondientes a los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo para las diferentes fechas, es posible y necesario obtener las **tasas de cambio y deforestación** de acuerdo a la ecuación utilizada por la FAO (1996) para el cálculo de tasas de deforestación. Esta tasa expresa el cambio en porcentaje de la superficie al inicio de cada año y se calcula de la siguiente manera:

$$t = \left(1 - \frac{s_1 - s_2}{s_1}\right)^{1/n} - 1$$

Dónde: $t$ es la tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100); $s_1$ es superficie en la fecha 1; $s_2$ la superficie en la fecha 2 y $n$ es el número de años entre las dos fechas.

**Índice de Persistencia**

Por otro lado es factible determinar si las persistencias, es decir las zonas que no tuvieron cambios, son vulnerables a las transiciones de usos de suelo ocurridas. Para esto se calculó también el índice de persistencia de Braimoh (2006), el cual evalúa las características de las zonas estables en relación a la ganancia, pérdida y cambios netos. El cálculo de dichos índices es obteniendo a partir de la información de la matriz de transiciones para cada par de fechas de los mapas de uso de suelo mediante las siguientes ecuaciones:

Para la relación ganancia – persistencia:

$$Gp = \left( \frac{Ganancia}{Persistencia} \right)$$

Para la relación pérdida – persistencia:

$$Lp = \left( \frac{Pérdida}{Persistencia} \right)$$

Y para la relación, cambio neto - persistencia:

$$Np = \left( \frac{CambioNeto}{Persistencia} \right)$$

Los valores de los cocientes mayores a 1 indican que una categoría tiene una tendencia alta a presentar una transición hacia otra categoría más que a persistir o mantenerse.

## RESULTADOS

### Transiciones sistemáticas

Con el objetivo de verificar si las ganancias y las pérdidas registradas fueron significativas, o no, en relación con la superficie total de cada categoría y la superficie del área de estudio, se procedió a calcular y analizar las transiciones sistemáticas en los términos propuestos por Pontius et al., (2004), en los cuales se indica que un que un valor igual o menor a cero indica una transición aleatoria y tasa con un valor positivo revela una transición sistemática entre categorías.

Los datos que aparecen en la tabla 1 arrojan que son los Asentamientos humanos, Agricultura temporal y los Pastizales son las categorías que registran tasas de ganancias significativamente superior a las esperadas en los 3 periodos analizados (tasas con valores positivos). Mientras que las categorías que presentan pérdidas superiores a las esperadas, están las Selvas, Matorrales, Pastizales en los 3 periodos y la Agricultura de temporal en el primer periodo.

*Tabla 1. Transiciones significativas en función de pérdidas y ganancias, para los periodos de 1976 a 1993 (negrita), 1993 a 2002 (cursiva) y 2002 a 2007 (normal).*

| Categorías | Ganancia Observada | Ganancia Esperada | Tasa Ganancia | Pérdidas Observada | Pérdidas Esperada | Tasa Pérdidas |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Agricultura de riego y humedad** | **213,544** | **220,914** | **-0.03** | **44,269** | **189,144** | **-3.27** |
| | *69,819* | *129,224* | *-0.85* | *51,500* | *129,248* | *-1.51* |
| | 296,344 | 282,074 | 0.05 | 52,156 | 164,205 | -2.15 |
| **Agricultura temporal** | **279,594** | **146,196** | **0.48** | **223,544** | **140,245** | **0.37** |
| | *173,831* | *103,702* | *0.4* | *92,750* | *96,632* | *-0.04* |
| | 376,581 | 192,561 | 0.49 | 183,925 | 117,230 | 0.36 |
| **Asentamiento humano** | **14,231** | **4,242** | **0.7** | **563** | **1,239** | **-1.2** |
| | *30,631* | *6,504* | *0.79* | *825* | *2,588* | *-2.14* |
| | 54,606 | 15,905 | 0.71 | 3,738 | 8,133 | -1.18 |
| **Bosque** | **77,219** | **178,644** | **-1.31** | **82,213** | **183,561** | **-1.23** |
| | *39,844* | *105,574* | *-1.65* | *50,944* | *108,790* | *-1.14* |
| | 63,481 | 221,636 | -2.49 | 58,013 | 132,953 | -1.29 |
| **Cuerpo de agua** | **56,494** | **58,950** | **-0.04** | **26,506** | **53,549** | **-1.02** |
| | *14,075* | *32,760* | *-1.33* | *29,350* | *35,315* | *-0.2* |
| | 52,688 | 68,709 | -0.30 | 13,781 | 42,122 | -2.06 |
| **Matorral** | **14,731** | **35,046** | **-1.38** | **74,356** | **48,447** | **0.35** |
| | *11,444* | *16,499* | *-0.44* | *47,256* | *21,315* | *0.55* |
| | 49,644 | 48,333 | 0.03 | 15,869 | 21,717 | -0.37 |
| **Otros tipos de vegetación** | **52,175** | **46,710** | **0.1** | **51,606** | **47,791** | **0.07** |
| | *18,706* | *24,749* | *-0.32* | *41,544* | *28,388* | *0.32* |
| | 25,831 | 24,413 | 0.05 | 118,981 | 29,855 | 0.75 |
| **Pastizales** | **25,569** | **10,190** | **0.6** | **47,700** | **15,228** | **0.68** |
| | *106,106* | *17,127* | *0.84* | *21,319* | *6,292* | *0.7* |
| | 73,425 | 28,457 | 0.61 | 82,269 | 20,148 | 0.76 |
| **Selvas** | **214,213** | **249,359** | **-0.16** | **379,825** | **266,677** | **0.3** |
| | *99,413* | *137,890* | *-0.39* | *240,594* | *146,548* | *0.39* |
| | 122,788 | 266,265 | -1.17 | 219,594 | 216,403 | 0.01 |
| **Vegetación Hidrófila** | **23,125** | **20,642** | **0.11** | **40,313** | **24,828** | **0.38** |
| | *24,350* | *14,190* | *0.42* | *12,138* | *12,797* | *-0.05* |
| | 72,431 | 39,466 | 0.46 | 23,438 | 17,565 | 0.25 |

**Tasas de cambio y deforestación**

Con base en las superficies correspondientes a los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo para las diferentes fechas, se calcularon las tasas de cambio de acuerdo a la ecuación utilizada por la FAO, permitiéndonos mostrar los indicadores de cambios ocurridos de una manera clara con respecto a la superficie al inicio de cada año.

Es necesario señalar que las tasas por debajo de cero, indican las categorías que están perdiendo, y las que se disponen por encima, son las que están ganando superficie (Tabla 2). De este modo se observa como los asentamientos humanos experimentaron una ganancia importante en los tres periodos y los pastizales en el último periodo, seguida un poco de lejos por la agricultura de riego y humedad y la agricultura de temporal, excepto en el tercer periodo. Mientras que las tasas de cambio más significativas con respecto a la pérdida es para pastizales (primer y tercer periodo), matorrales (primeros dos periodos) y selvas en los tres periodos.

*Tabla 2. Tasas de cambio anuales.*

| CATEGORÍAS | 1976 - 1993 | 1993 - 2000 | 2000 - 2007 |
|---|---|---|---|
| Agricultura de riego y humedad | **1.05** | **0.25** | **0.70** |
| Agricultura temporal | **0.41** | **1.34** | -0.18 |
| Asentamiento humano | **7.64** | **14.35** | **2.91** |
| Bosque | -0.03 | -0.18 | 0.26 |
| Cuerpo de agua | 0.69 | -0.82 | 0.41 |
| Matorral | ***-1.77*** | ***-3.36*** | **5.52** |
| Otros tipos de vegetación | 0.02 | -1.55 | -9.04 |
| Pastizales | ***-2.21*** | **15.69** | ***-2.69*** |
| Selvas | ***-0.43*** | ***-0.96*** | ***-0.44*** |
| Vegetación Hidrófila | -0.96 | 1.72 | 4.94 |

**Índices de persistencia**

Como se mencionó anteriormente el índice de persistencia nos da una valoración de la vulnerabilidad que presentan las coberturas de ocupación y uso de suelo. Es importante señalar que los porcentajes de persistencia generalmente son mucho mayores a los de cambio, no obstante, existen algunas categorías que tienden a cambiar más que a mantenerse estables.

En este sentido, se tiene que los asentamientos humanos y pastizales paro los dos primeros periodos de estudio tienen un índice de Ganancia-persistencia ($G_P$) mayor a 1, lo cual indica que tienden a ganar más que a persistir. Por su parte, los pastizales, según su índice de Pérdida-persistencia ($L_P$), en el primer y tercer periodo tiende a perder más que a persistir, las demás categorías presentan valores menores a 1. Y en lo referente al índice de cambio Neto-persistencia ($N_P$), los bosques y matorrales muestran valores negativos en el primer y segundo periodo, los pastizales en el primero y tercero y las selvas en los tres periodos lo que significa que estas categorías tienden a perder más que a ganar en función de su persistencia.

*Tabla 3. Índices de persistencia.*

| CATEGORÍAS | 1976-1993 | | | 1993-2000 | | | 2000-2007 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gp | Lp | Np | Gp | Lp | Np | Gp | Lp | Np |
| Agricultura de riego y humedad | 0.26 | 0.05 | 0.20 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0.10 | 0.05 | 0.05 |
| Agricultura temporal | 0.51 | 0.41 | 0.10 | 0.24 | 0.13 | 0.11 | 0.24 | 0.25 | -0.02 |
| Asentamiento humano | **2.89** | 0.11 | 2.78 | **1.67** | 0.05 | 1.63 | 0.32 | 0.08 | 0.24 |
| Bosque | 0.10 | 0.10 | **-0.01** | 0.05 | 0.06 | **-0.01** | 0.09 | 0.07 | 0.02 |
| Cuerpo de agua | 0.26 | 0.12 | 0.14 | 0.06 | 0.12 | -0.06 | 0.09 | 0.06 | 0.03 |
| Matorral | 0.10 | 0.48 | **-0.39** | 0.09 | 0.39 | **-0.30** | 0.65 | 0.14 | 0.52 |
| Otros tipos de vegetación | 0.31 | 0.31 | 0.00 | 0.10 | 0.23 | -0.13 | 0.30 | 1.52 | -1.22 |
| Pastizales | **1.15** | **2.15** | **-1.00** | **4.01** | 0.81 | 3.20 | **1.18** | **1.64** | **-0.46** |
| Selvas | 0.11 | 0.19 | **-0.08** | 0.05 | 0.13 | **-0.07** | 0.09 | 0.12 | **-0.03** |
| Vegetación Hidrófila | 0.32 | 0.55 | -0.24 | 0.29 | 0.14 | 0.15 | 0.79 | 0.28 | 0.51 |

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el espacio de tiempo analizado (1976 a 2007) los asentamientos humanos es la categoría con la tasa de cambio más alta, la agricultura de riego y humedad y la agricultura temporal son categorías que ganan del resto de las categorías, mientras que, los matorrales, las selvas y los bosques son las coberturas que más superficie pierden.

Es importante observar que la única categoría que presenta una tasa negativa en todos los periodos son las selvas, y aunque sus tasas de cambio son pequeñas, representan grandes cantidades de superficie pérdida de

1976 a 2007, y su deforestación se debe, principalmente, al crecimiento de áreas dedicadas a la agricultura temporal y en menor cantidad a la agricultura de riego y humedad, ocasionando un impacto económico favorable pero un grave impacto desde el punto de vista medioambiental.

También, si analizamos las ganancias y pérdidas en función de la superficie de cada categoría y de las transiciones más significativas, vemos como el cambio más significativo se presentan en los Asentamientos humanos; que tiene una ganancia de más del doble de su superficie inicial, y también la agricultura temporal y los pastizales son las categorías que registran tasas de ganancias significativamente superior a las esperadas en los 3 periodos analizados. Mientras que las categorías que presentan pérdidas superiores a las esperadas, están las Selvas, Matorrales, Pastizales en los 3 periodos y la Agricultura de temporal en el primer periodo.
En este trabajo destacó la importancia de estudiar las transiciones a partir de las persistencias, aun cuando se sabe que el territorio en su mayoría se mantiene estable (≈ 80%), como es para el caso de nuestra área de estudio, se pudo detectar que existen categorías te tienden más a cambiar que a mantenerse estables, como es el caso de los asentamientos humanos y pastizales, entre otros.

Por último, las metodologías empleadas permiten detectar el impacto que está sufriendo el territorio a consecuencia de los cambios en sus usos de suelo, ocasionados principalmente por la deforestación y el crecimiento urbano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alo, C. & Pontius, R., 2007. Identifying systematic land cover transitions using remote sensing and GIS: the fate of forest incide and outside protected areas of Southwestern Ghana. ***Environment and Planning***, Volumen en prensa.
2. Braimoh, A. K., 2006. Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana.. ***Agriculture, Ecosystems and Environment***, 113(1-4), p. 254–263. .
3. Corrales , G. & Plata, W., 2013. Análisis de Cambio de Uso de Suelo para el estado de Sinaloa, utilizando Sistemas de Información Geográfica. Culiacán, Sinaloa: s.n.
4. Defries, R., Rudel, T., Uriarte, M. & Hansen, M., 2010. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. ***Nature Geoscience***, Volumen 3, pp. 178-181.
5. FAO, 2006. ***Ordenación responsable de los bosques plantados: Directrices voluntarias. Documento de Trabajo sobre los bosques y árboles plantados***, Roma: s.n.

6. Guerra, M. & Ochoa, G., 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990- 2000)".. ***Investigaciones Geográficas***, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM(59), pp. 7-25.
7. Guevara, S., De la Torra, A. & Rivera, P., 2001. ***Pobreza y degradación ambiental. Un enfoque de acervos.***, México. D.F: INE-SEMARNAT.
8. INEGI, 2010. *INEGI.* [En línea]
   Available at: http://www.inegi.org.mx/
9. Lambien , E. y otros, 2001. The Causes of Land-Use and -Cover Change: Moving beyondthe Myths. *Global* ***Environmental Change,*** Volumen 11, pp. 261-269.
10. Lambin, E., Helmut, J. & Lepers, E., 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. ***Annual Reviews Environment Resource.***, Volumen 28, p. 205–241..
11. Lambin, E. y otros, 2001. The Causes of Land-Use and -Cover Change: Moving beyondthe Myths. ***Global Environmental Change***, Volumen 11, pp. 261-269.
12. Mas, J. & Ferndandez, T., 2003. Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. ***Investigaciones Geográficas***, Boletín del Instituto de Geografía(51), pp. 73-87.
13. Mas, J. y otros, 2004. Monitoreo de los recursos forestales de México en las tres últimas décadas. Aplicaciones de geotecnologias para la ingeniería forestal. En: A. D. J.R., ed. ***Memorias del VI seminario de actualización en Sensores Remotos y SIG aplicados a la ingeniería forestal***. s.l.:s.n., pp. 41-49.
14. Mustard, . J., Defries , R., Fisher, T. & Moran, E., 2004. Land-Use and Land-Cover Change Pathways and Impacts. En: G. G. e. al., ed. ***Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface***. Dordrecht, The Netherlands.: Kluwer Academic Publishers, pp. 411-429.
15. Pontius, R., Shusas, E. & McEachern, M., 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. ***Agriculture, Ecosystems & Environment***, 101(2-3), pp. 251-268..
16. Rudel, T., Defries, R., Asner, G. & Laurance, W., 2009. Changing drivers of deforestation and new opportunities for Conservation. ***Conservation Biology***, 23(6), p. 1396–1405.
17. Vitousek, P., Mooney, A., Lubchenco, J. & Melillo, J., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. ***Science***, Volumen 277, pp. 494-499.

# E-8

# Aplicación de los SIG a temas de Borde Costero

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# DIAGNÓSTICO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL COM O USO DO GEOPROCESSAMENTO

**Fitz, Paulo Roberto**[a]
**Centro Universitário Ritter dos Reis, Brasil**
[a]**(paulo.fitz@gmail.com)**

**RESUMEN**
O presente trabalho buscou subsidiar o Projeto "Conservação da Biodiversidade como Fator de Contribuição ao Desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Sul". Este projeto está sendo desenvolvido pela SEMA – Secretaria do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul e propõe a realização de um ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico. A natureza das condições ambientais assistiu à confecção do diagnóstico da geologia e da geomorfologia da área trabalhada, nossa participação no processo, onde foram identificadas as restrições e potencialidades de uso dos recursos da área 4 – Litoral Médio. Para a realização do estudo buscou-se, na literatura, conceitos relacionados. Optou-se pelo conceito de fragilidade ambiental proposto por Jurandyr Ross em 1994, cuja metodologia baseia-se na ideia de que a natureza possui uma funcionalidade própria via suas componentes físicas e bióticas. Esta foi adaptada de acordo com os materiais disponíveis: cartas topográficas na escala 1:50.000, cartas de geomorfologia e de geologia na escala 1:100.000, imagens do satélite Landsat TM-5 do ano de 2011, além dos mapas de geologia da CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e de geomorfologia do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em escalas diversas. Os mapas foram vetorizados no software Carta Linx com base no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e, posteriormente, convertidos para o formato matricial a fim de se realizar os cruzamentos necessários para a produção do diagnóstico no software Idrisi. Após, os mapas foram convertidos para uso no software ArcGIS. Como parâmetros fixos, utilizou-se uma resolução de 10.000 x 13.050 pixels enquadrados numa grade com coordenadas variando entre 380.000mE e 580.000mE, e entre 6.439.000mN e 6.700.000mN onde cada pixel ficou com 20 metros. As litologias e feições geomorfológicas foram analisadas sob a óptica

de suas fragilidades/vulnerabilidades ambientais, especialmente no quesito erosão, sendo desmembradas e hierarquizadas conforme suas próprias características obedecendo à adaptação da proposta de Ross. A análise dos produtos obtidos, a partir do cruzamento das informações derivadas dos mapas gerados, sugere que muitas áreas da região analisada apresentam certo grau de fragilidade ambiental, em termos de limitação de uso, conforme a geologia e a geomorfologia apresentada. Concluindo, sugeriu-se que, quando de futuras ocupações nestas áreas, seja exigido um laudo pormenorizado para impedir problemas ambientais relativos.

**Palabras claves:** Geoprocessamento; diagnóstico ambiental; fragilidade ambiental; ZEE.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho buscou subsidiar o Projeto "Conservação da Biodiversidade como Fator de Contribuição ao Desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Sul" com vistas à realização do diagnóstico da geologia e geomorfologia da área 4 do projeto RS biodiversidade – litoral médio e respectivo zoneamento temático. A área engloba os municípios de Barra do Ribeiro, Capivari do Sul, Mostardas, Palmares do Sul, São José do Norte, Tapes, Tavares e Viamão, todos localizados no Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. Em termos geológicos, a maior parte da área da área passou por processos de transgressões e regressões desde o período Pleistoceno, há cerca de 1,8 milhões de anos. Esta condição estabeleceu um sistema deposicional de leques aluviais e de lagunas-barreiras. A figura 1 apresenta um mosaico de imagens do satélite Landsat TM5 de 2011 onde este sistema pode ser observado.

A figura 1 exibe uma composição colorida (falsa-cor) em cuja imagem foi sobreposta uma camada de arquivos vetoriais – destacados em azul – demarcando as lagoas existentes ao longo da restinga entre a Laguna dos Patos e o oceano. Conforme pode ser observado, a maior parte da área trabalhada pode ser caracterizada

> por uma linha de costa retilinizada, com orientação SW-NE à frente de sucessões de cordões litorâneos regionalmente denominados de barreiras (Villwock *et al.*,1986), sendo em muitos pontos recobertos por extensos campos de dunas os quais progradam sobre banhados e um conjunto de lagoas e lagunas costeiras. Tais características permitem classificá-la em termos de unidades macro e meso morfológica em cordão litorâneo largo associado a uma planície de cristas de praia. (CALLIARI, TOLDO JR., NICOLODI, s/d, p. 430)

Assim sendo, conforme os autores, com relação à dinâmica costeira, exceto a região de Torres,

> as praias ao longo da costa do RS são totalmente expostas. Predominantemente são constituídas de areia fina quartzosa (Martins, 1967), apresentando baixa declividade (2º) com poucos e inexpressivos cúspides praiais. (CALLIARI, TOLDO JR., NICOLODI, s/d, p. 439)

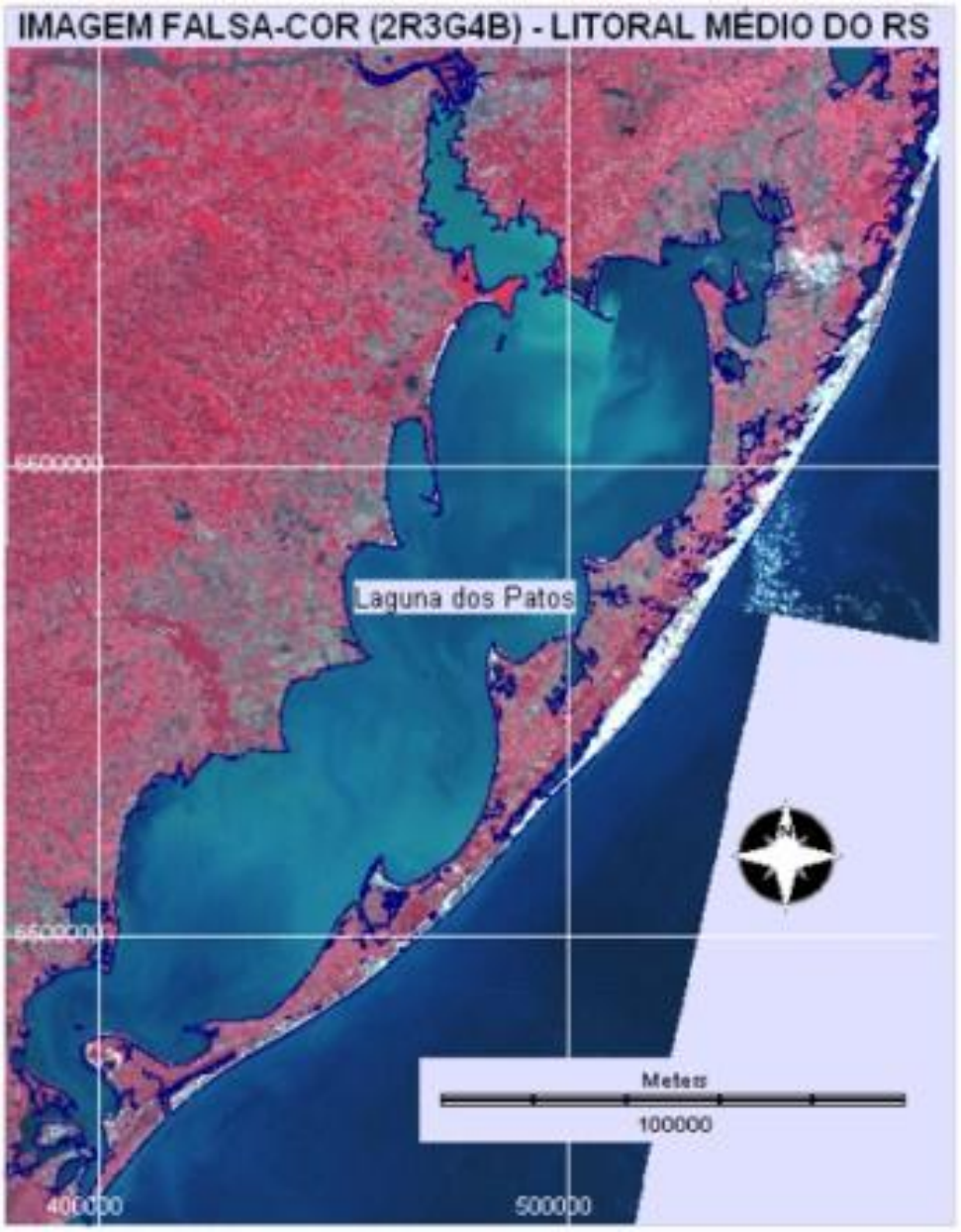



*Figura 1. Composição colorida "falsa-cor" do Litoral Médio do Rio Grande do Sul.*

A composição da paisagem da costa é exposta pelas figuras 2 e 3. A figura 2 ostenta uma visão parcial panorâmica do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP) localizado nos municípios de Mostardas, Tavares e São José do Norte. Já a figura 3 mostra dunas costeiras com coberturas de espécies herbáceas (SEELIGER; COSTA, 2010, p. 139)



*Figura 2. Parque Nacional da Lagoa do Peixe (vista parcial).*



*Figura 3. Dunas costeiras em Mostardas, RS.*

Afastando-se da linha de costa, desde a margem oeste da Laguna dos Patos, na direção de Porto Alegre, observa-se a ocorrência de "excelentes exposições de granitos de idade Neoproterozóica e de septos do embasamento com evolução relacionada ao Paleoproterozóico" (PHILIPP; CAMPOS, 2004, p.79). Estes

eventos inserem-se na paisagem que contempla planícies e terraços de origem fluvial e lacustre. A figura 4 apresenta esta ocorrência nas proximidades de Barra do Ribeiro.

Conforme se pode inferir, a região trabalhada possui características diversas levando à identificação de restrições e potencialidades de uso dos recursos. Para isto, optou-se por trabalhar com o conceito de fragilidade ambiental proposto por Ross (1994), cuja metodologia baseia-se na ideia de que a natureza possui uma funcionalidade própria de suas componentes físicas e bióticas resgatando o conceito de ecodinâmica de Jean Tricart (1977). Nesta concepção, o ambiente

> é analisado sob o prisma da Teoria de Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico Esse equilíbrio entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nas diversas componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes. (Ross, 1994, p. 65)

Assim, Ross (1994) buscou sistematizar uma hierarquia de fragilidade que procura mostrar a fragilidade do ambiente em relação ao escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais. Dessa maneira, procurou-se aproximar a ideia desenvolvida pelo autor para a área estudada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Resumidamente, procedeu-se da seguinte maneira:

a) Leitura e análise dos materiais disponíveis;
b) Digitalização dos mapas disponibilizados;
c) Análise das imagens de satélite;
d) Georreferenciamento dos mapas digitais;
e) Vetorização dos mapas digitalizados;
f) Cruzamento e análise das informações disponíveis;
g) Geração do mapa "Diagnóstico Ambiental da Geologia e Geomorfologia".

## DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Os mapas foram digitalizados em porções pré-determinadas, no formato A3 e georreferenciados de acordo com a base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul, na escala 1:50.000, disponibilizada pelo Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Hasenack; Weber, 2010). Os mapas georreferenciados foram convertidos para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000. Tais procedimentos foram realizados com o software Idrisi Taiga sendo utilizados, ao menos, 20 (vinte) pontos de controle para a execução do referenciamento cruzado das feições dos mapas utilizados. O

georreferenciamento dos mapas na escala 1:100.000 foi realizado com um erro residual máximo de posicionamento de 1,5m para pixels com resolução de 10 x 10 metros nas respectivas componentes X e Y. Este erro torna-se bastante satisfatório, uma vez que a literatura sugere um erro inferior à metade da resolução da imagem de entrada. (Eastman, 2009)

Os mapas foram vetorizados no software Carta Linx para posterior exportação em formato compatível com o software Arc Gis na escala 1:100.000. Alguns ajustes se fizeram necessários em função das diferentes bases de dados.

Todos os mapas gerados foram convertidos para o formato matricial para realizarem-se os cruzamentos necessários para a produção do diagnóstico. Como parâmetros fixos, utilizou-se uma resolução de 10.000 x 13.050 pixels, enquadrados numa grade com coordenadas variando entre 380.000mE e 580.000 mE e 6.439.000mN e 6.700.000 mN, onde cada pixel equivale a 20 metros. Os mapas de geologia e de geomorfologia gerados são apresentados pelas figuras 4 e 5 a seguir.

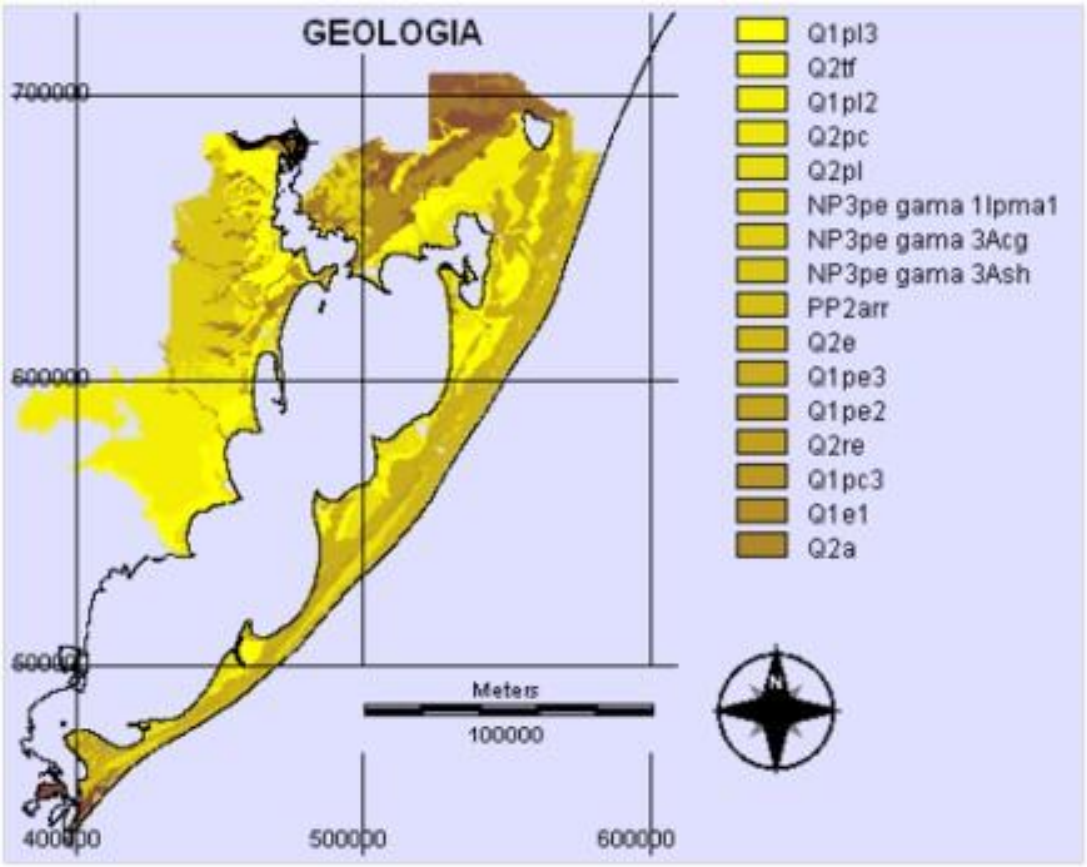



*Figura 4. Mapa Geológico do Litoral Médio.*

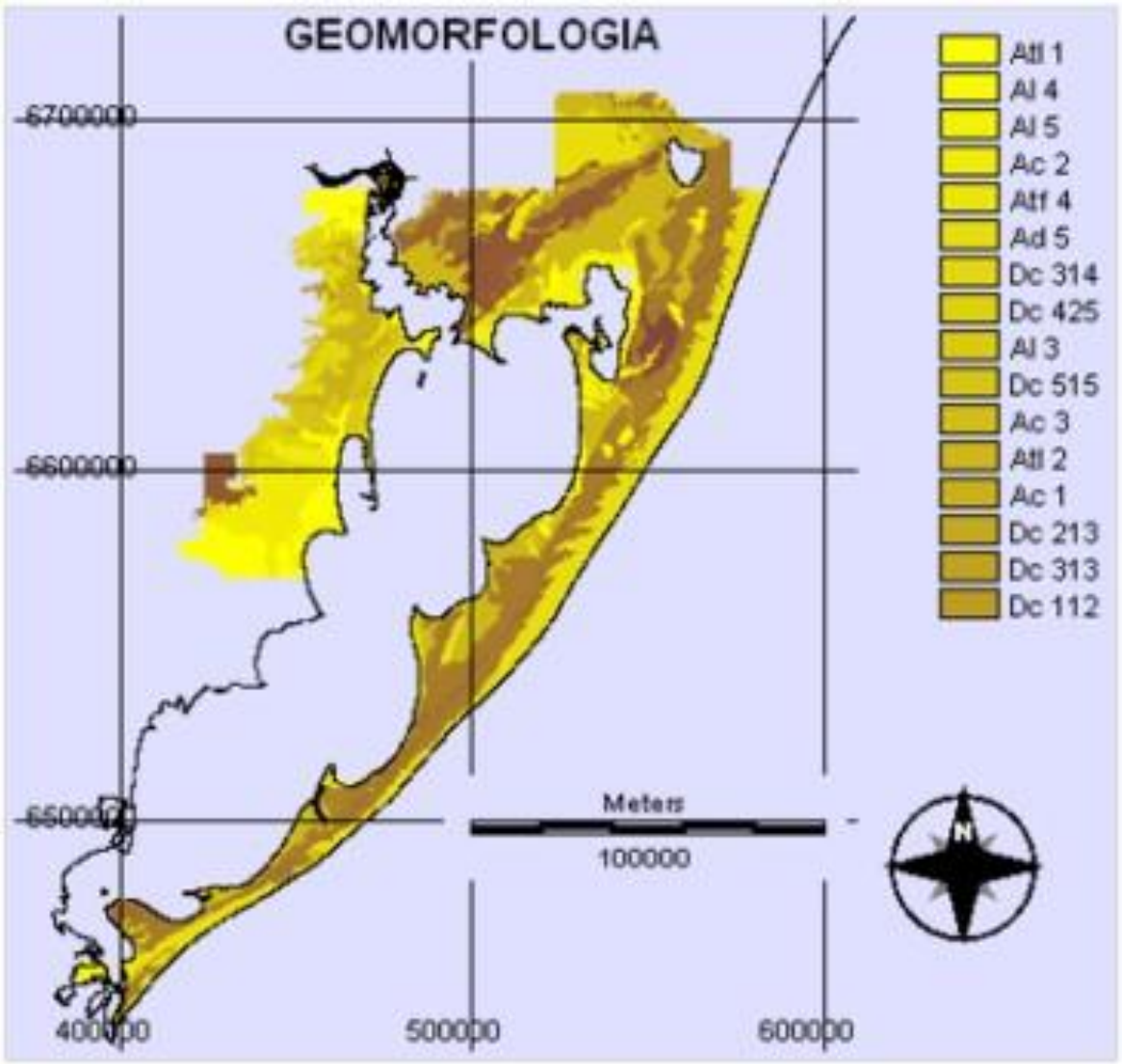



*Figura 5. Mapa Geomorfológico do Litoral Médio.*

As litologias e as feições geomorfológicas foram analisadas sob a óptica de suas fragilidades/vulnerabilidades ambientais, especialmente no quesito suscetibilidade a geração de processos erosivos. Com relação à geologia da região, levou-se em consideração a formação geológica correspondente para adaptar a proposta de Ross (1994) quanto ao uso de mapa de solos.

De igual sorte, foram considerados os apontamentos do ZEE realizado para o Estado de Roraima (MME, 2002) que considerou os graus de vulnerabilidade dos litotipos e sedimentos das estruturas em função da

capacidade de suporte quanto à erosão. Assim, os litotipos e sedimentos menos estruturados tendem a ser mais suscetíveis às atividades erosivas.

A tabela 1 apresenta as categorias de fragilidade/vulnerabilidade ambiental levando-se em consideração a suscetibilidade à erosão do relevo.

*Tabela 1. Categorias Hierárquicas De Fragilidade/Vulnerabilidade Ambiental – Geologia.*

| **Categoria** | **Unidade/Litologia** | **Valor** |
|---|---|---|
| Muito Baixa | Np3pe γ 3Acg, NP3pe γ 3Ash | 1 |
| Baixa | K1βg, P1rb | 2 |
| Média | J3K1bt, NP3e γ 1Ipma1, NQca, PP2arr, Q1ca, Q1pl1 | 3 |
| Alta | Q1e1, Q1pc3, Q1pe2, Q1pe3, Q1pl2, Q1pl3, Q2tf | 4 |
| Muito Alta | Q2a, Q2d, Q2e, Q2p, Q2pc, Q2pl, Q2re | 5 |

Conforme pode ser observado na tabela 1, há tendência de maior fragilidade em áreas de sistemas lagunas-barreiras vinculadas aos litótipos existentes nos ambientes sedimentares do período quaternário (mais recente). Já os litótipos ligados às formações graníticas possuem fragilidades, em geral, baixas estando estes mais subjugados às declividades do que à sua origem geológica. O mapa contemplando as fragilidades/vulnerabilidades com relação à geologia é apresentado pela figura 6.

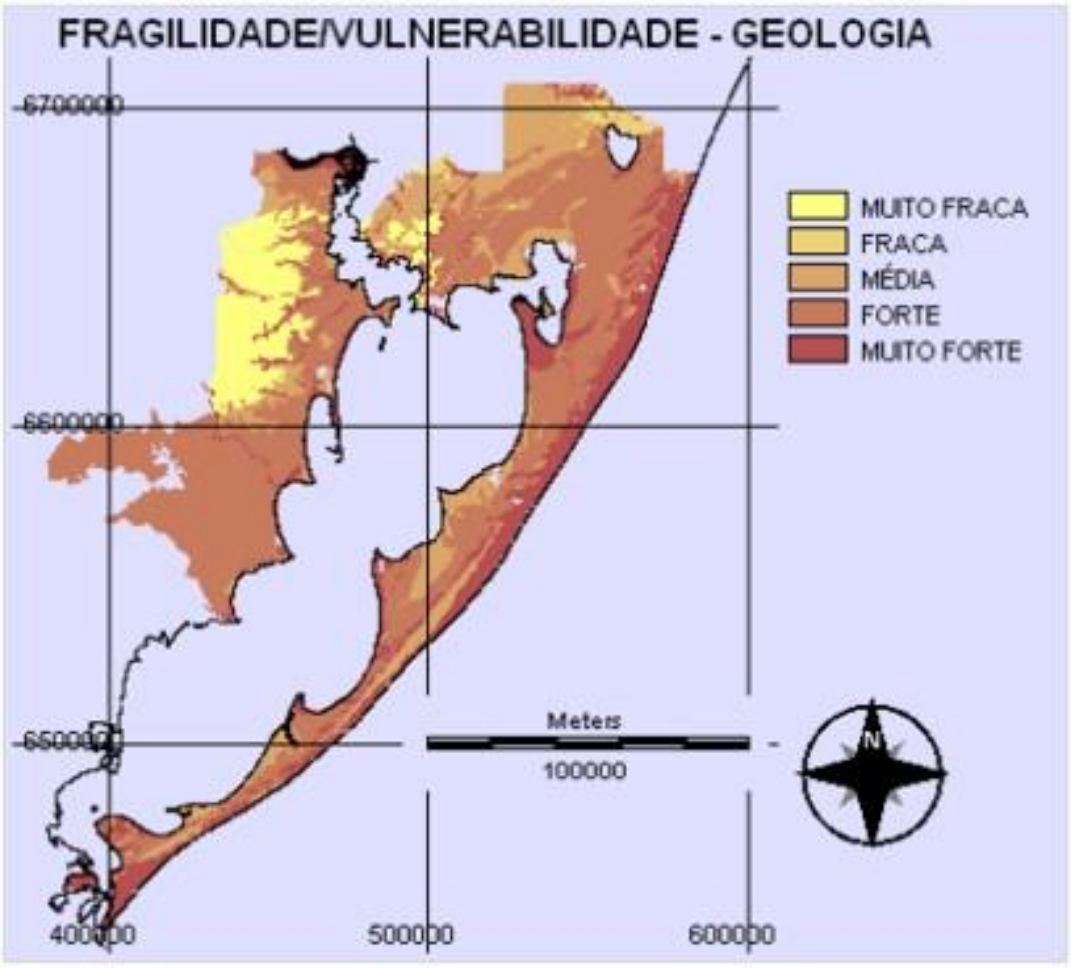



*Figura 6. Categorias de Fragilidade Ambiental – Geologia.*

Ainda em relação à geologia, foi gerado um plano de informações somente com o sistema geológico-estrutural de falhamentos/fraturas existentes na região em função da importância de sistemas como o do Aquífero Guarani referido por Machado e Faccini (2004) e quanto a possível implementação de aterros sanitários, como colocado por Calijuri; Mello; Lorenz (2002), onde os autores apresentam um *buffer* com distâncias mínimas de 200m de falhas geológicas. Assim, para contornar possíveis contaminações no substrato da região estudada, foi utilizado um *buffer* de 500m de distância das falhas mapeadas com um grau de fragilidade médio igual a 3 (figura 7).

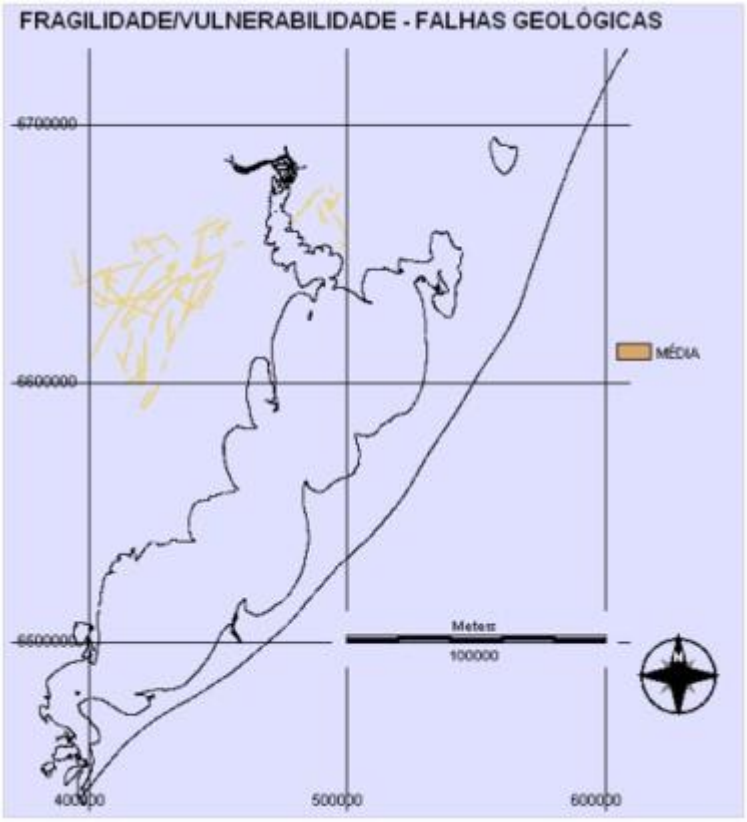



*Figura 7. Categorias de Fragilidade – Falhas Geológicas.*

O litoral do Rio Grande do Sul caracteriza-se pela sua costa sinuosa, quase retilínea, numa orientação SW-NE com cordões litorâneos muitas vezes cobertos por campos de dunas que podem encerrar banhados e lagoas costeiras. A fragilidade/vulnerabilidade ambiental vinculada à geomorfologia levou em consideração esta configuração. Há predominância de areias finas quartzosas em praias que apresentam, no geral, pequenas declividades (cerca de 2º), com raras desembocaduras fluviais e lagunares. Deve-se atentar para a intensa atividade eólica que atua diretamente na dinâmica da costa sul-riograndense.

A linha de costa foi classificada de acordo com a proposta de Muehe (apud: Calliari; Toldo Jr.; Nicolodi, 2005) que se baseia em unidades macro e meso morfológicas seguidas da unidade morfodinâmica para o litoral. Conforme a proposta, tem-se como unidade Macro Morfológica, a Planície de cristas de praia, como unidade Meso Morfológica, o Cordão litorâneo sob efeito de transposição de ondas, e como Unidade Morfodinâmica, a Praia Intermediária, a Praia Dissipativa, as Dunas Frontais, os Arenitos de Praia e a Desembocadura Fluvial. Esta feição recebeu um atributo constante e igual a 5, ou seja, fragilidade/vulnerabilidade muito alta.

As demais porções da área de estudo, especialmente às vinculadas aos municípios de Tapes, Barra do Ribeiro e Viamão apresentam certas características bastante diversas das áreas costeiras. Estas acabaram por determinar uma diferenciação na avaliação das categorias de fragilidade/vulnerabilidade.

A tabela 2 apresenta as categorias de fragilidade/vulnerabilidade ambiental levando-se em consideração a suscetibilidade à erosão do relevo.

*Tabela 2. Categorias Hierárquicas de Fragilidade/Vulnerabilidade Ambiental – Geomorfologia.*

| **Categoria** | **Modelado** | **Valor** |
|---|---|---|
| Muito Baixa | Ac 1, Atl 1 | 1 |
| Baixa | Ac 2, Atl 2, Atm 2, Dc 112 | 2 |
| Média | Ac 3, Al 3, Atm 3, Dc 213, Dc 313, Dc 413 | 3 |
| Alta | Al 4, Atf 4, Atl 4, Dc 314, Dc 324, Dc 414 | 4 |
| Muito Alta | Ae 5, Af 5, Dc 325, Dc 415, Dc 425, Dc 515 | 5 |

O mapa contemplando as fragilidades/vulnerabilidades com relação à geomorfologia é apresentado pela figura 8 e aponta as áreas com categorias vinculadas à Unidade Morfodinâmica do litoral.

Munidos dos planos de informação intermediários que contemplam as classes de vulnerabilidade/fragilidade ambiental, foram realizados os cruzamentos entre os mesmos. Para tal, utilizou-se o módulo *overlay* do Idrisi através da função *maximum* que realiza a operação de sobreposição dos planos de informação onde são eleitos os valores máximos dos pixels das imagens. Dessa maneira, a imagem final permaneceu com 5 (cinco) classes de fragilidade ambiental.

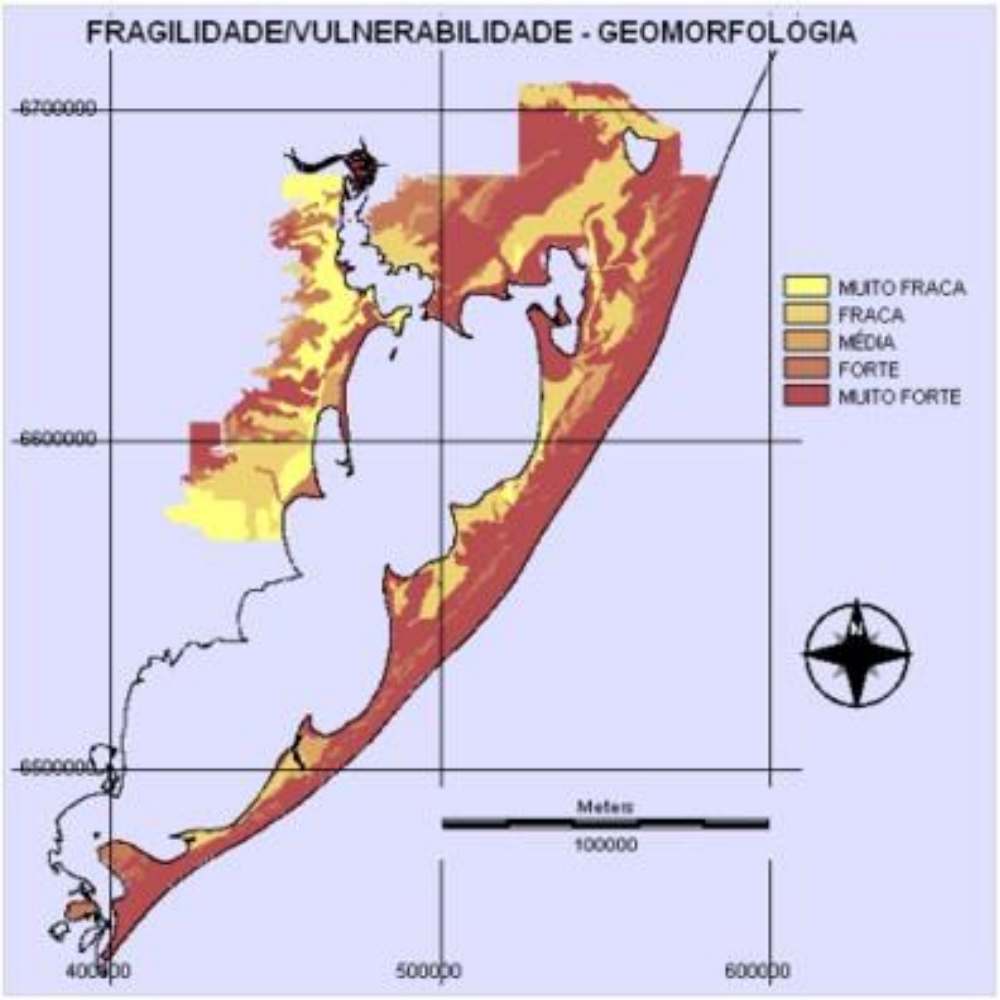



*Figura 8. Categorias de Fragilidade Ambiental – Geomorfologia.*

Realizados os cruzamentos, foi confeccionado o mapa temático final (figura 9) contemplando o diagnóstico da geologia e geomorfologia da área 4 do projeto RS biodiversidade – litoral médio em função de sua fragilidade ambiental.

A análise dos produtos gerados a partir do cruzamento das informações constantes nos mapas gerados sugere que muitas áreas da zona estudada apresentam certo grau de limitação com relação aos temas geologia e geomorfologia.

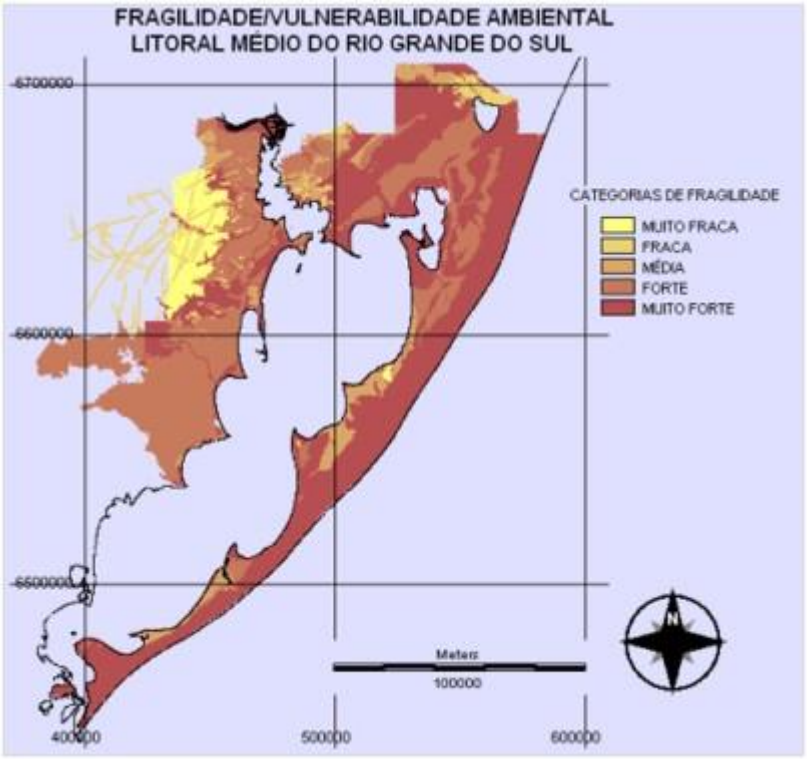



*Figura 9. Categorias de Fragilidade do Litoral Médio do RS.*

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado buscou subsidiar o projeto RS biodiversidade a partir da indicação das restrições e potencialidades da geologia e da geomorfologia da região. Foram encontradas certas discrepâncias entre os mapas tidos como base, com outros mapas mais recentes, porém em escala menor. O uso de imagens de satélite auxiliou nesta verificação e contribuiu para a atualização das cartas, visto que certas áreas que, conforme a base possuíam lagoas e/ou áreas alagadiças, contemplam hoje cultivos de arroz.

### 4.1 Potencialidades e restrições geológicas e geomorfológicas

Com relação às questões de potencialidades de uso dos recursos minerais da região estudada, observa-se que, apesar de apresentar uma gama considerável de possibilidades, há restrições em termos de sua fragilidade/vulnerabilidade ambiental. Assim, o aproveitamento dos recursos deverá ser examinado caso a caso, podendo-se listar as seguintes ocorrências:

- Areia industrial;
- Areia para a construção civil
- Arenito para pedra de talhe;

- Argila para cerâmica vermelha;
- Aquíferos;
- Basalto para brita;
- Granito para brita;
- Granito para pedra de talhe;
- Granito para rocha ornamental;
- Material de empréstimo;
- Minerais pesados;
- Saibro de basalto;
- Saibro de granito;

Além das questões relativas aos recursos minerais, tem-se a possibilidade de aproveitamentos da área através de atividades de turismo, de lazer e recreação, paisagismo, agropecuária, geração de energia etc.

Com relação às restrições, especialmente levando-se em consideração a ação dos agentes erosivos, tem-se o seguinte quadro:

- Nas áreas litorâneas, os campos eólicos constituídos por dunas frontais e campos de dunas parabólicas e barcanóides ou mesmo dunas transgressivas apresentam porções bastante suscetíveis aos agentes erosivos e receberam altos graus de fragilidade/vulnerabilidade.
- O rosário de lagoas e seu entorno com presença constante de banhados constitui área de extrema fragilidade. Foram verificadas intervenções antrópicas substanciais nestas porções.
- As áreas de depósitos coluviais também são bastante suscetíveis aos agentes erosivos.
- As áreas de encostas de morros que apresentam, por vezes, vertentes íngremes, mereceriam melhor atenção.
- Com relação às falhas geológicas, tem-se que o entorno de suas áreas apresentam risco de contaminação de águas subterrâneas.

4.2 Recomendações

Para auxiliar a confecção do ZEE da região, foi confeccionada a tabela 3 que apresenta recomendações para futuros empreendimentos.

*Tabela 3. Categorias Hierárquicas de Fragilidade Ambiental – Recomendações.*

| **Categoria** | **Valor** | **RECOMENDAÇÕES** |
|---|---|---|
| Muito Baixa | 1 | • Restringir o florestamento com espécies exóticas. |
| Baixa | 2 | • Restringir a disposição de resíduos sólidos ou aterros sanitários.<br>• Restringir o florestamento com espécies exóticas.<br>• Restringir a ocupação de áreas inundáveis. |
| Média | 3 | • Restringir a mineração.<br>• Restringir a disposição de resíduos sólidos ou aterros sanitários.<br>• Restringir edificações.<br>• Restringir o florestamento com espécies exóticas.<br>• Não ocupar áreas inundáveis. |
| Alta | 4 | • Restringir a mineração.<br>• Restringir a disposição de resíduos sólidos ou aterros sanitários.<br>• Restringir as atividades agropecuárias.<br>• Restringir edificações.<br>• Restringir o florestamento com espécies exóticas.<br>• Não ocupar áreas inundáveis. |
| Muito Alta | 5 | • Restringir a mineração.<br>• Restringir a disposição de resíduos sólidos ou aterros sanitários.<br>• Restringir as atividades agropecuárias.<br>• Não permitir edificações.<br>• Não permitir o florestamento com espécies exóticas.<br>• Não ocupar áreas inundáveis. |

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. CALIJURI, Maria Lúcia; MELLO, André Luís de Oliveira; LORENZ, Juliana Ferreira. **Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com o uso de Análise Estratégica de Decisão.** In: Informática Pública. Vol. 4(2): 231-250 (2002).
   Disponível em: www.ip.pbh.gov.br/ANO4_N2_PDF/ip0402calijuri.pdf. Acesso em: 10/10/2013.
2. CALLIARI, Lauro; TOLDO JR., Elírio E.; NICOLODI, João L. Classificação Geomorfológica. In: MUEHE, Dieter (org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro – Rio Grande do Sul.** MMA: Brasília, s/d. Disponível em: http://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-g-erosao-e-progradacao. Acesso: 16/08/2013.
3. DNPM. SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração Disponível em http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/. Acesso em 17/11/2013.
4. EASTMAN, Ronald J. Idrisi **Taiga – Guide to GIS and Image Processing**. Worcester, MA, USA: Clark Labs: Clark University, 2009.
5. HASENACK, Heinrich; WEBER, Eliseu (org.) **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul (escala 1:50.000)**. Porto Alegre, RS: Centro de Ecologia UFRGS, 2010.
6. MACHADO, José Luiz Flores; FACCINI, Ubiratan F. Influência dos Falhamentos Regionais na Estruturação do Sistema Aqüífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. In: **SUPLEMENTO - XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas** (2004). ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: São Paulo, Brasil. Disponível em http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23510/15595. Acesso em: 10/10/2013.
7. MME – Ministério de Minas e Energia. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima.** Brasília, DF, 2002. Disponível em www.suframa.gov.br/publicacoes/interiorizando/roraima.pdf. Acesso em: 20/09/2013.
8. ROSS, Jurandyr L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados.** Revista do Departamento de Geografia. N. 8. P. 63-74. São Paulo: USP, 1994.
9. SEELIGER, Ulrich; COSTA, César Serra Bonifácio. As dunas costeiras adjacentes ao estuário. In: SEELIGER, Ulrich; ODEBRECHT, Clarisse. (Eds.) O Estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações. Rio Grande: Furg, 2010, p. 137-143.
10. TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. IBGE/SUPREN: Rio de Janeiro, 1977.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# METODOLOGÍA APLICABLE A LA SUSCEPTIBILIDAD DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN AMBIENTES COSTEROS URBANIZADOS DE CHILE CENTRO – SUR

**López Filun, Pablo[a]; Garrido Zúñiga, Bastián[b]**
[a] **Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, palopez6@uc.cl**
[b] **Universidad de Concepción, Chile, bastiangarrido@udec.cl**

**RESUMEN**
Se diseñó e implementó una metodología para determinar el nivel de susceptibilidad de procesos de remoción en masa en el sector de Caleta Tumbes ubicada en la costa de Chile centro – sur. El proceso metodológico consistió en la elaboración de un modelo de susceptibilidad, en base a la identificación de factores condicionantes que mayor incidencia tienen en la generación de procesos de remoción en masa, el cual se evaluó a través del método de evaluación multicriterio (EMC). El resultado indicó que los deslizamientos rotacionales fueron los procesos de mayor predominio, registrándose ocho procesos en estado activo en tramos de pendiente entre los 45 a 90º, en sectores con orientación de laderas NO – NE, orientación que evidenció un alto grado de humedad y que se caracterizó por una cobertura vegetal de tipo arbustiva poco consolidada.

**Palabras claves:** Susceptibilidad, Remoción en masa, Sistemas de Información Geográfica, Evaluación Multicriterio.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa son procesos gravitacionales de movilización lenta o rápida de un determinado volumen de suelo o roca que se desplaza pendiente abajo hasta una cota inferior a la original (Cruden y Varnes, 1996). Estos procesos causan graves daños en infraestructura, bienes materiales y vidas humanas, especialmente en ambientes costeros urbanizados (Dragicevic *et al.,* 2015), donde la presión demográfica ha ido aumentando rápidamente hacia zonas que poseen inadecuadas condiciones para el desarrollo urbano y que son altamente susceptibles a este tipo de procesos (Di Martire *et al.,* 2012). En esta línea, durante las últimas décadas, se han desarrollado múltiples metodologías que estiman la facilidad o propensión con la que estos procesos pueden ocurrir según las condiciones locales del terreno (Varnes, 1984). La estimación espacial de las áreas predispuestas a desarrollar procesos de remoción en masa se ha desarrollado a través de mapas de susceptibilidad (Van Western *et al.,* 2008). Esto es, mediante la distribución y clasificación espacial de unidades de terreno que están predispuestas a desencadenar este tipo de procesos (Fell *et al.,* 2008).

Estas metodologías se han determinado a través de diferentes enfoques, principalmente mediante métodos cualitativos y cuantitativos (Aleotti y Chodwhury, 1999), el primero orientado en un enfoque heurístico, donde el grado de susceptibilidad se determina de manera directa o indirecta, a partir del conocimiento y experiencia del investigador, el cual estima el grado de susceptibilidad mediante mapas que indican a través de parámetros o índices los factores de inestabilidad que predisponen el desarrollo de procesos de remoción en masa (Sabokbar *et al*., 2014). Por otro lado, el método cuantitativo orientado en un enfoque determinístico, estima el grado de susceptibilidad a través de la cuantificación de cada factor de inestabilidad en valores absolutos, los que son ponderados y estimados mediantes métodos estadísticos y probabilísticos (Vranken *et al.,* 2014). En este sentido, la introducción en las ultimas décadas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha permitido estimar y analizar en diferentes escalas espaciales la combinación de estos métodos (Xu *et al.,* 2012), lo cual ha permitido elaborar medidas de prevención y regulación de las formas de ocupación del suelo (Dragicevic *et al.,* 2015). En Chile central, los procesos de remoción en masa son fenómenos comunes, dado el relieve montañoso andino y el desarrollo de cuencas costeras. Durante décadas, han provocado cuantiosos daños y pérdidas de vidas humanas (Hauser 2000; Naranjo y Varela 1996). El sector de Caleta Tumbes (36 ºS), en la costa de Chile centro – sur, es uno de los centros poblados más expuestos a peligros naturales asociados a eventos climáticos, entre ellos los procesos de remoción en masa (Mardones *et al.,* 2006). En donde los equilibrios morfodinámicos vinculados a factores litológicos y geomorfológicos se ven muy alterados por un régimen climático de tipo mediterráneo (Peña *et al.,* 1993), especialmente en laderas con pendientes que superan los 20º, las cuales según Garrido (2015), concentran la mayor cantidad de procesos de remoción en masa en estado activo. El objetivo de esta investigación es diseñar e implementar una metodología aplicable a la determinación de áreas susceptibles a procesos de remoción en masa en ambientes costeros urbanizados de Chile centro – sur, con el propósito de contribuir a la planificación territorial en áreas propensas a diversas tipologías de remoción en masa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio comprende parte de la zona costera de Chile central, perteneciente a la localidad de caleta Tumbes, ubicada entre los 36°38.360'S y 73°5.696'O al noreste de la plataforma de abrasión marina de la península de Tumbes, frente a la Isla Quiriquina y a 12 km de la ciudad de Talcahuano (Fig. 1). Las características geomorfológicas se conforman en un *horst* constituido por bloques solevantados por tectónica de fallas de una altitud máxima de 180 msnm, el cual está compuesto por rocas metamórficas de edad

Paleozoica profundamente meteorizadas (Gajardo 1981, citado en Mardones 1994), en esta unidad la morfometría presenta vertientes cóncavo-convexas, con valores entre los 11º y 39º, en vertientes suaves y entre 31º y más de 40º en acantilados (Mardones, 1994). El área presenta un clima que se caracteriza por un régimen templado mediterráneo con una estación invernal lluviosa, y una fuerte variación interanual de la intensidad pluvial (Romero 1985, citado en Mardones, Echeverría y Jara 2006), con precipitaciones concentradas en invierno (Devynk 1970, citado en Alarcón 1995).

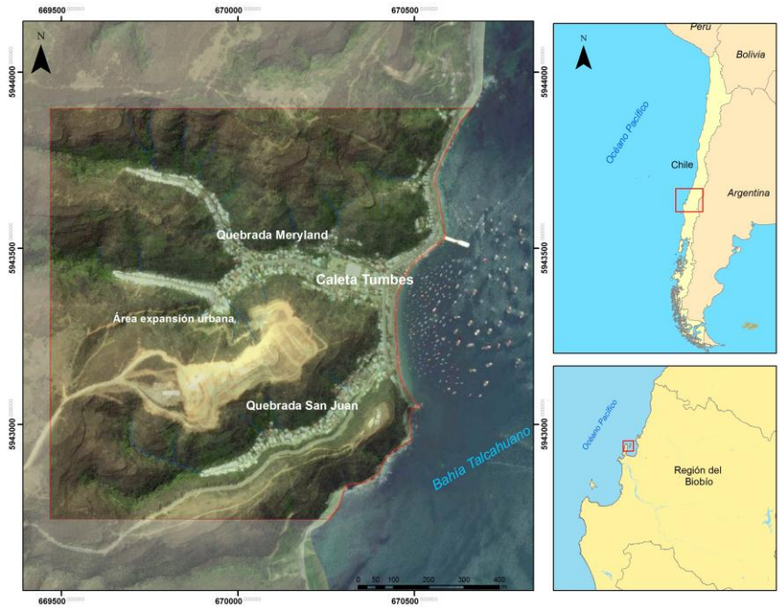



*Figura 1. Localización del área de estudio.*

## Metodología

El proceso metodológico consistió en la elaboración de un modelo de susceptibilidad, en base a la identificación de factores condicionantes que mayor incidencia tienen en la generación de procesos de remoción en masa. Para ello, como primera etapa, se realizó un trabajo de campo donde se identificó, clasificó y georreferenció los procesos de remoción en masa que afectan al sector de Caleta Tumbes, donde se evaluó el tipo de proceso, las condiciones del macizo rocoso, orientación, pendiente y cobertura vegetal. Aquí se determinó el nivel de susceptibilidad, donde cada factor se reclasicó de acuerdo a su nivel de incidencia en la generación de procesos de remocion en masa (Tabla 1). La información obtenida se ejecutó a escala 1:6.500, con proyección UTM, Datum WGS84, Huso 18 Sur, en el software ArcGis10.

*Tabla 1. Evaluación de factores condicionantes.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | Susceptibilidad | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Factor Condicionante** | **Baja** | **Media** | **Alta** | **Muy Alta** |
| **Pendiente** | 0 a 5 | 5 a 10 - 10 a 25 | 25 a 45 | > 45 |
| **Geomorfología** | SE a S | S a SW - E a SE | SW a W - NE a E | NE a E - W a NW - NW a N |
| **Geología** | Playa | Planicie litoral | Basamento Cristalino | Niveles de Altura I, II y III |
| **Orientación** | - | Formación Curanilahue | Formación Quiriquina | Serie Oriental |
| **Vegetación** | Densa | Semidensa | - | Descubierta |
| **Peso** | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Color** | | | | |

En una segunda etapa, se evaluó el nivel de incidencia en la inestabilidad de cada factor condicionante a través del método de evaluación multicriterio (EMC), donde cada factor se pondero mediante el método de jerarquías analíticas (MJA) (Tabla 2). El resultado, es la obtención de la ponderación de cada factor, lo cual permitió la evaluación de las áreas de mayor susceptibilidad, para ello se estableció un índice de susceptibilidad a través del método de sumatoria lineal ponderada (Fig. 2), el cual a través de la herramienta *ModelBuilder* en el software ArcGis 10.1 (Fig. 2), determinó las zonas de susceptibilidad, las que se clasificaron en intervalos de susceptibilidad alta, media y baja. Finalmente se obtuvo un mapa de susceptibilidad que integró los factores con sus respectivos pesos y ponderaciones anteriormente evaluados de acuerdo a su nivel de importancia.

*Tabla 2. Matriz de Jerarquías Analíticas (MJA).*
*Fuente: Elaboración propia.*

| Factores Condicionantes | Pendientes | Geomorfología | Geología | Orientación | Vegetación | Ponderación |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pendientes | **1** | 1 | 2 | 5 | 6 | 32% |
| Geomorfología | 1 | **1** | 2 | 5 | 6 | 32% |
| Geología | 0,5 | 0,5 | **1** | 5 | 6 | 22% |
| Orientación | 0,2 | 0,2 | 0,2 | **1** | 6 | 10% |
| Vegetación | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | **1** | 4% |
| **Sumatoria** | **2,9** | **2,9** | **5,4** | **16,2** | **25** | **100%** |

$$\boldsymbol{Susceptibilidad} = \sum_{i=1}^{5} 0{,}32Pen + 0{,}32Li + 0{,}22Geo + 0{,}1Veg + 0{,}04Exp$$

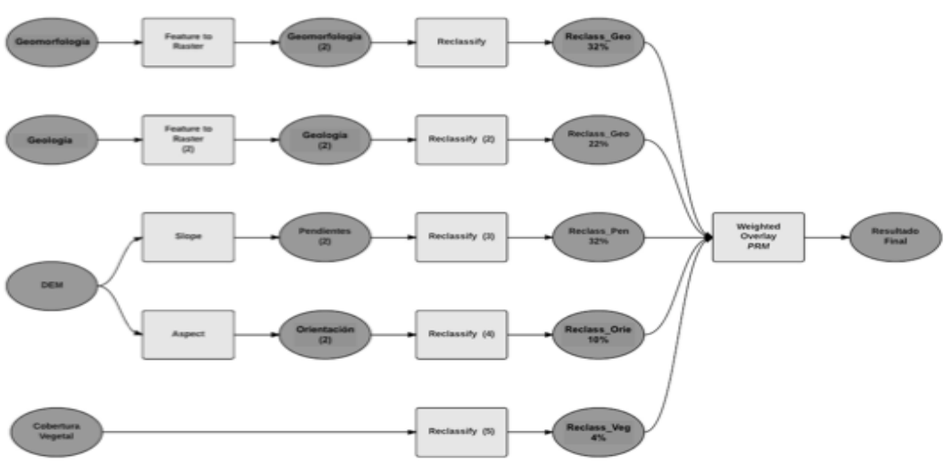



*Figura 2. Modelo de susceptibilidad de procesos de remoción en masa.*

## RESULTADOS

### Inventario de procesos

Como resultado del trabajo de campo, se identificaron 8 procesos de remoción en masa en estado activo en el sector de Caleta Tumbes (Tabla 3). Los principales procesos identificados correspondieron a deslizamientos rotacionales (Fig. 3), los que se distribuyeron preferentemente en exposición de laderas NO – NE, y en un macizo rocoso fuertemente meteorizado, el cual se encontró bajo un suelo altamente saturado y poco cohesionado, y bajo una cobertura arbustiva de poca consolidación que facilitó la rápida infiltración de agua en periodos de intensa precipitación, provocando la rápida desestabilización del materia cohesionado, además se identificó que los procesos erosivos evidenciados en el desarrollo de cárcavas, son los procesos iniciales de fractura para el desarrollo de deslizamientos rotacionales.

*Tabla 3. Inventario de procesos del sector Caleta Tumbes.*
*Fuente: Elaboración propia.*

| | Coordenadas | | | Tipo de Proceso | | Perfil | | Condiciones del Macizo | | | Vegetación | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Punto** | **Coordenada Norte** | **Coordenada Este** | **Caída** | **Deslizamiento** | **Cárcava** | **Altura (m)** | **Orientación** | **Meteorizado** | **Solido** | **Suelto** | **Densa** | **No Densa** |
| 1 | 5943520 | 670280 | | x | | 7 | NE | x | x | | x | |
| 2 | 5943512 | 670211 | | x | | 21 | NE | x | | x | x | |
| 3 | 5943547 | 670523 | | x | | 20 | NO | x | x | | x | |
| 4 | 5943777 | 670565 | | x | | 20 | NE | x | | x | x | |
| 5 | 5943791 | 670580 | | | x | 2 | NE | x | | x | x | |
| 6 | 5943834 | 670590 | | x | | 7 | NE | x | | x | x | |
| 7 | 5942941 | 670109 | | | x | 26 | NO | x | | x | x | |
| 8 | 5942928 | 670076 | | | x | 29 | NO | x | | x | x | |




*Figura 3. Deslizamientos rotacionales en estado activo.*
*Fuente: Fotografía del autor.*

El último proceso desencadenado en la madrugada del día 29 de julio del año 2014, ocurrido tras varios días de intensas precipitaciones, ocasionó un deslizamiento rotacional que afectó a cuatro viviendas tras el desplazamiento del terreno, dejando a quince personas damnificadas. En la figura 4, se observa la magnitud del proceso el cual destruyó una vivienda y dejó a otras con severos daños materiales.



*Figura 4. Viviendas afectadas por deslizamiento rotacional.*
*Fuente: Fotografía del autor.*

## Análisis de factores condicionantes

### Pendientes

En Caleta Tumbes, el factor morfométrico cumplió un papel importante en la generación de procesos de remoción en masa, lo anterior como consecuencia de la incidencia de la pendiente en la movilización de material, la cual da origen a procesos característicos a partir de cada rango de pendiente. En este sentido, el resultado indicó que la mayor cantidad de los procesos inventariados se concentró en un rango de pendientes que va desde los 45º a 90º (Fig. 6.b), donde los procesos de deslizamientos de tipo rotacional son los de mayor predominio. De esta forma, se estableció que en un rango de pendientes mayor a 45º, los deslizamientos rotacionales presentaron mayor actividad, debido a la configuración de la ladera la cual presentó un perfil cóncavo – convexo (Fig. 5). Lo anterior, indicó que el factor morfométrico estableció un rol importante en la inestabilidad de laderas en el sector de Caleta Tumbes. Es por esta razón, que se clasificó con un nivel de susceptibilidad muy alto (Fig. 6.b), el rango de pendiente que va desde los 45º a 90º, donde se concentró la mayor cantidad de procesos de remoción en masa en estado activo.

### Geomorfología

En Caleta Tumbes, se reconocieron unidades geomorfológicas que permitieron identificar sectores mas propensos al desarrollo de procesos de remoción en masa. Las unidades identificadas inciden en la energía, velocidad y volumen de cada proceso que puede ser desencadenado. Dentro de las unidades identificadas, se destacó la Terraza Nivel I, que va desde los 10 hasta los 50 metros y la Planicie Litoral con Depósitos Coluviales, en estas unidades se concentró la totalidad de los procesos en estado activo inventariados. La principal característica de estas unidades, es que debido a su morfología, son el principal asentamiento urbano en Caleta Tumbes (Fig. 6.c). Por otro lado, esta unidad se caracterizó por ser una zona de acumulación de material proveniente de laderas superiores, donde se encontraron depósitos coluviales de antiguos procesos de remoción en masa con acción directa al mar (Fig. 5). Lo anterior, como consecuencia de un amplio desarrollo de drenaje que producto de las precipitaciones en invierno, transporta el material poco consolidado hacia las zonas más bajas de menor pendiente, aumentando el grado de actividad y movimiento de procesos como deslizamientos rotacionales. Sin embargo, la intervención antrópica en esta unidad por la construcción de viviendas, aumentó la inestabilidad del substrato rocoso y de suelo por el socavamiento y posterior remoción de material estable que subyace sobre la ladera. Por esta razón, se clasificó ambas unidades geomorfológicas con un nivel de susceptibilidad muy fuerte (Fig. 6.d), cuyas características morfológicas y morfométricas influyeron en la inestabilidad de la ladera, donde la actividad antrópica aportó a la inestabilidad como consecuencia del socavamiento en algunos sectores por parte de viviendas que allí se ubicaron.

### Geología

En Caleta Tumbes, se presentaron una serie de elementos estructurales que condicionaron la generación de procesos de remoción en masa, y que contribuyeron a la inestabilidad de las laderas. Según lo anterior, durante el trabajo de campo se identificaron afloramientos rocosos de tipo metamórfico de estructura laminar muy meteorizados, expuestos en sectores de mucha pendiente y en sectores del pie de la ladera, estos presentaron un alto grado de diaclasamiento, desintegración granular, humedad y fragilidad al momento de manipular el material rocoso (Fig. 5). Estos forman parte de la formación Serie Oriental, que conforma el basamento metamórfico en su contacto con el batolito costero (Fig. 6.e). De esta forma, en la formación Serie Oriental se concentró la totalidad de los procesos de remoción en masa en estado activo. Por esta razón, la Formación Oriental se clasificó con un nivel de susceptibilidad muy alto (Fig. 6.f), ya que esta incidió

principalmente en el tipo de material rocoso y de suelo, que bajo los avanzados estados de meteorización potenció las condiciones para que el material sea movilizado.

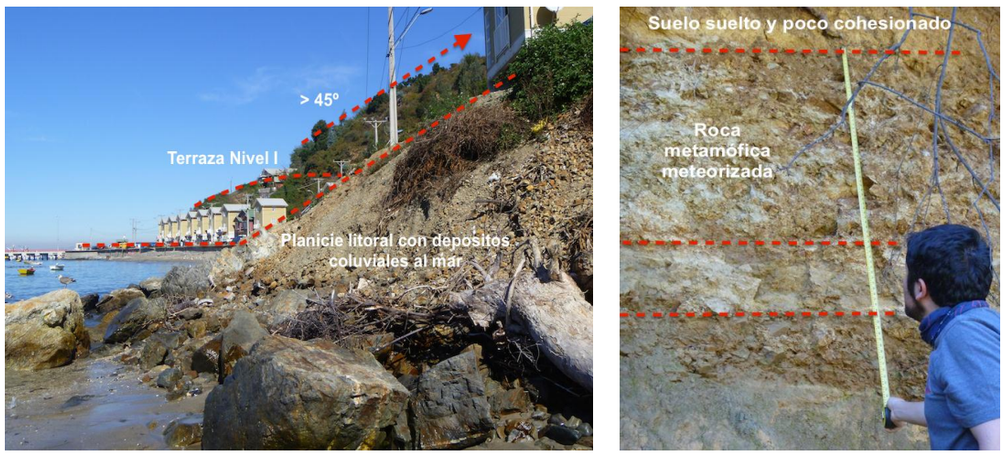
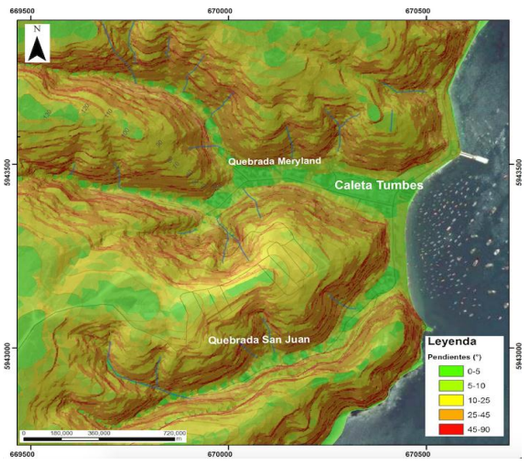
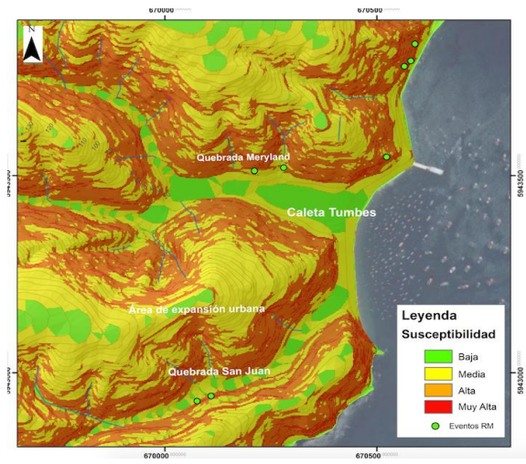
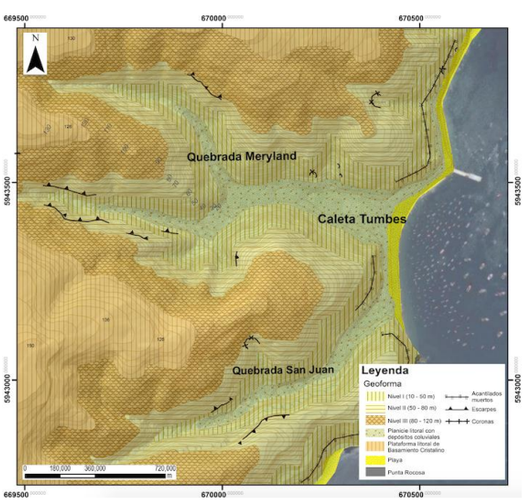
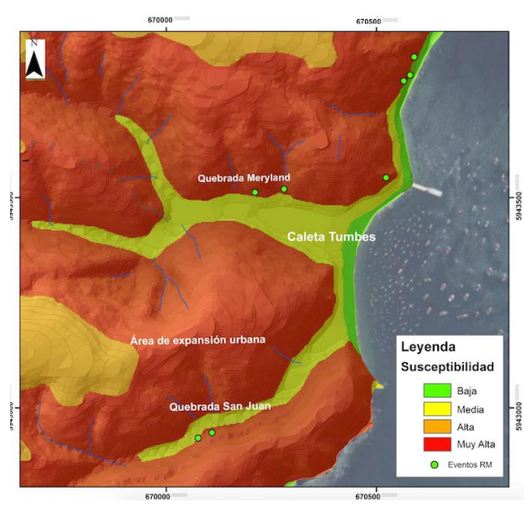



*Figura 5. Características morfométricas, geomorfológicas y geológicas del sector Caleta Tumbes. Fuente: Fotografía del autor*

| **Factor condicionante** | **Nivel de susceptibilidad** |
|---|---|
| *a. Pendientes* | *b. Reclasificación pendientes* |
|  |  |
| *c. Geomorfología* | *d. Reclasificación geomorfología* |
|  |  |

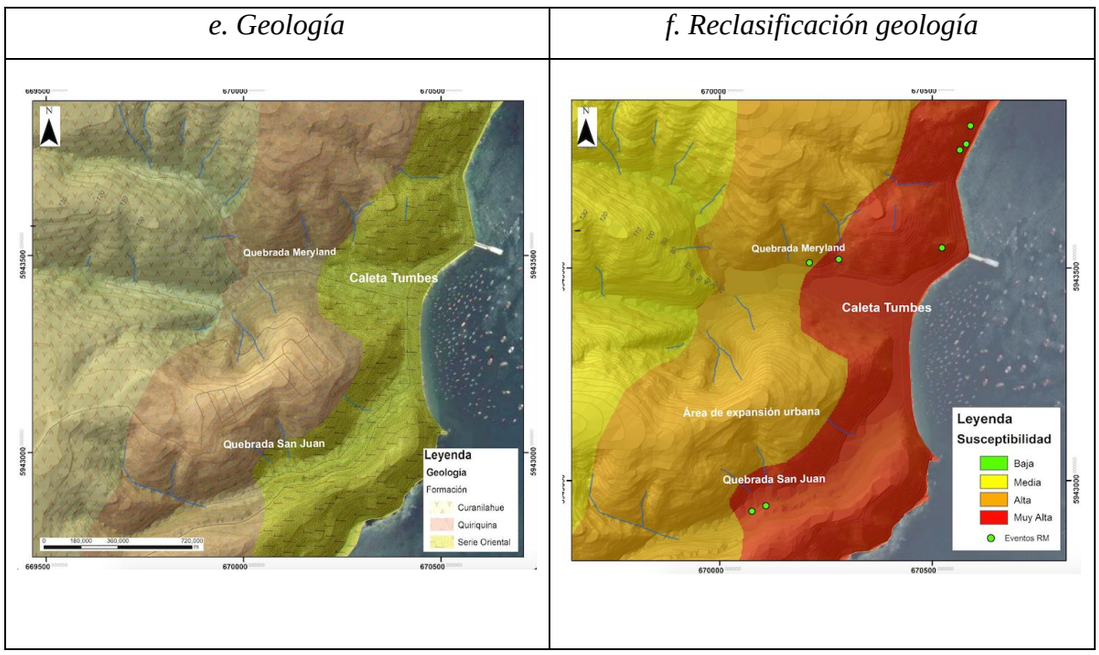



*Figura 6. Factores condicionantes y niveles de susceptibilidad del sector Caleta Tumbes.*

**Orientación de laderas**

La orientación de laderas en el sector de Caleta Tumbes, influyó en el grado de humedad que presentó la ladera como consecuencia de la exposición al sol. En este sentido, según los procesos de remoción en masa inventariados, la totalidad de los procesos se concentró en una exposición NO – NE (Fig. 8.a), orientación que registró un grado de humedad que influyó en el nivel de estabilidad de la ladera (Fig. 7). Lo anterior, se evidenció en la cantidad de procesos en estado activo, los cuales se localizaron en zonas que evidenciaron un alta saturación del suelo. De esta forma, la orientación NO – NE se clasificó con un nivel de susceptibilidad que va desde fuerte a muy fuerte (Fig. 8.b), orientación que favorece, condiciona y aumenta la probabilidad de desencadenar deslizamientos de tipo rotacional en periodos de intensas lluvias.

**Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal en Caleta Tumbes, se caracterizó por el carácter esclerófilo de tipo arbustivo muy característico de ambientes mediterráneos (Fig. 7). Se identificó que esta cumple un rol de estabilización ante los procesos erosivos, los cuales disminuyen la resistencia del suelo. Sin embargo, en esta ocasión se comprobó que la cobertura vegetal del sector Caleta Tumbes se distribuyó de manera muy poco consolidada, sobretodo en una orientación NO – N – NE (Fig. 7), donde se concentraron los mayores niveles de humedad y donde la capa de suelo se encontró poco cohesionada, sobre un macizo rocoso muy meteorizado. Lo anterior, indicó que esta no cumpliría el rol estabilizador y se relacionaría directamente con la exposición de ladera como uno de los factores que condicionaría la ocurrencia de procesos de remoción en masa. En este sentido, según el inventario de procesos, la totalidad de los procesos de remoción en masa en estado activo se concentró en sectores con vegetación semidensa de carácter arbustivo y de exposición NO – NE, correspondiente principalmente a áreas urbanizadas, sectores que se clasificaron con un nivel de susceptibilidad de fuerte a muy fuerte (Fig. 8.d).



*Figura 7. Cobertura vegetal de tipo arbustivo con orientación NO – N – NE.*
*Fuente: Fotografía del autor*

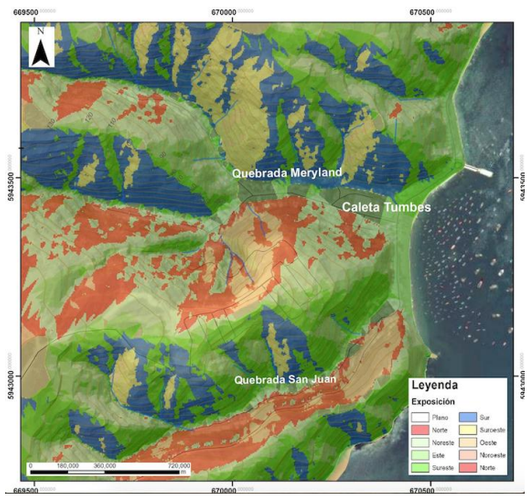
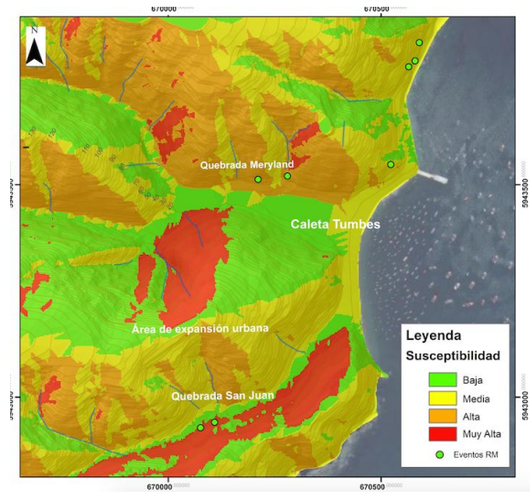
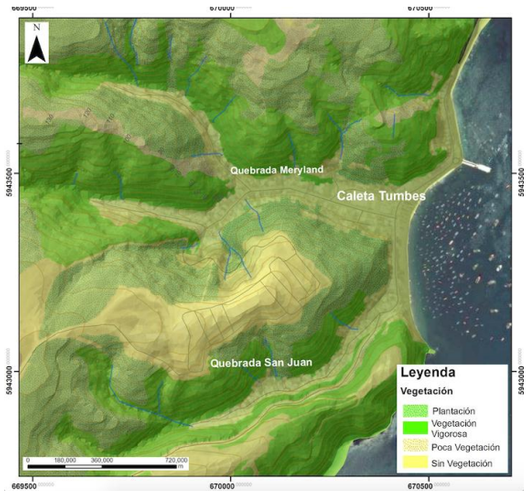
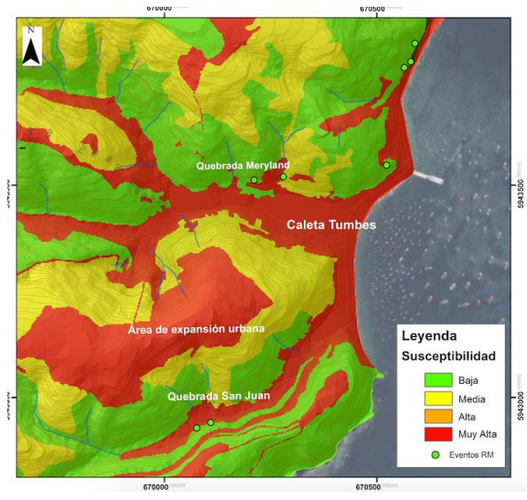
| **Factor condicionante** | **Nivel de susceptibilidad** |
|---|---|
| *a. Orientación* | *b. Reclasificación orientación* |
|  |  |
| *c. Vegetación* | *d. Reclasificación vegetación* |
|  |  |



*Figura 8. Factores condicionantes y niveles de susceptibilidad del sector Caleta Tumbes.*

**Análisis de susceptibilidad**

De acuerdo al proceso metodológico, y a la identificación de los factores condicionantes que aportan a la inestabilidad de laderas en el sector de Caleta Tumbes. Se estableció que las zona de mayor susceptibilidad correspondieron a sectores urbanizados emplazados en unidades geomorfológicas correspondientes a Terrazas Nivel I y Planicies Litorales con Depósitos Coluviales, unidades que presentaron un alto grado de pendiente principalmente entre los 45º y 90º (Fig. 10). Estos sectores se caracterizaron por presentar una alta concentración de procesos de remoción en masa en estado activo, especialmente deslizamientos de tipo rotacional, en sectores con orientación de laderas NO – NE, orientación que evidenció un alto grado de humedad y que se caracterizó por una cobertura vegetal de tipo arbustiva poco consolidada. Estas zonas correspondieron a un área de susceptibilidad que varió de fuerte a muy fuerte (Fig. 10), y que representó el 43% del área total del sector urbano de Caleta Tumbes. Por otro lado, el 57% restante correspondió a un área de susceptibilidad que varió de baja a media (Fig. 9).

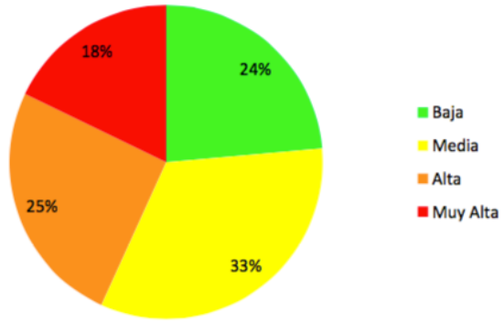



*Figura 9. Superficie susceptible a procesos de remoción en masa en Caleta Tumbes.*

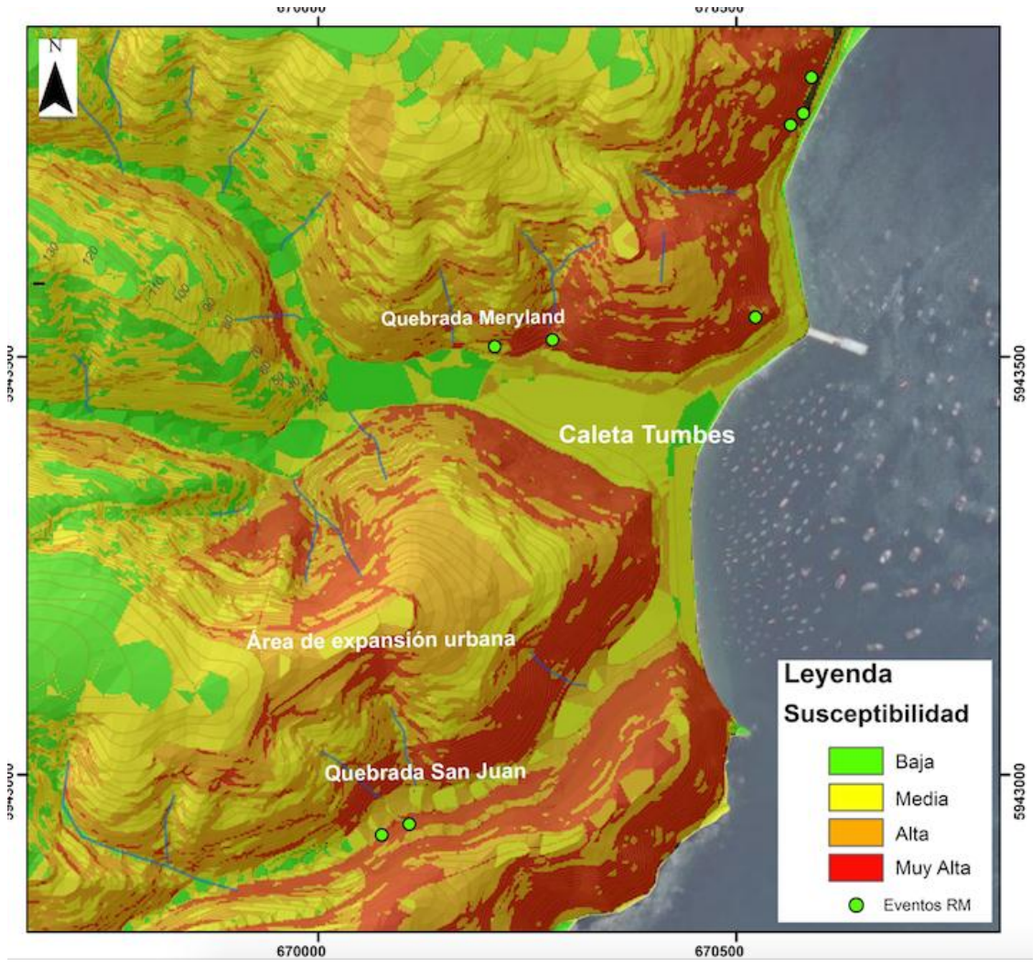



*Figura 10. Nivel de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en el sector de Caleta Tumbes.*

## CONCLUSIONES

En Caleta Tumbes los deslizamientos rotacionales fueron los procesos de mayor predominio, registrándose ocho procesos en estado activo en tramos de pendiente entre los 45 a 90º. El análisis del mapa de inventario evidenció que la mayor cantidad de procesos ocurridos el año 2014 estuvieron concentrados bajo la cota de 50 metros, lo cual indicó que el factor morfométrico estableció un rol importante en la inestabilidad de laderas en el sector de Caleta Tumbes, por lo que se clasificó con un nivel de susceptibilidad muy alto. Por otro lado, las unidades geomorfológicas de Terraza Nivel I, que va desde los 10 hasta los 50 metros y la Planicie Litoral con Depósitos Coluviales, concentraron la totalidad de los procesos en estado activo inventariados, especialmente deslizamientos de tipo rotacional, en sectores con orientación de laderas NO – NE, orientación que evidenció un alto grado de humedad y que se caracterizó por una cobertura vegetal de tipo arbustiva poco consolidada. El resultado de la metodología planteada da cuenta del enfoque cualitativo y cuantitativo del método de evaluación de susceptibilidad, cuyo resultado final se manifiestó en la zonificación de las áreas más inestables a procesos de remoción en masa. Lo anterior, es de un interés primordial ya que puede ser implementado en un sistema de alerta temprana con el fin de mitigar el desarrollo de estos procesos, permitiendo entregar a las comunidades y gobiernos locales la capacidad de organizarse y anticiparse para la protección futura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Alarcón, G. 1995. Evaluación de los riesgos naturales del Área Metropolitana de Concepción, a través de la información del Diario el Sur. Tesis de Licenciatura en Educación mención en Historia y Geografía, Universidad de Concepción, Concepción.
2. Aleotti, P., y Chowdhury, R. 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 58: 21 – 44.
3. Cruden, D. M. y Varnes D.J. 1996. Landslide types and processes. In A. K. Turnery R.L. Schuster (Editores): Landslides. Investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press. Washington D.C. pp. 36-75
4. Di Martire, Diego, M. De Rosa, V. Pesce, Michele A. Santangelo y Dominico Calcaterra. 2012. "Landslide Hazard and Land Management in High-density Urban Areas of Campania Region, Italy". *Natural Hazards and Earth System Science* 12 (4): 905-926. doi: 10.5194/nhess-12-905-2012
5. Dragićević, S., Lai, T., y Balram, S. 2015. GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments. *Habitat International*, *45*, 114–125. doi:10.1016/j.habitatint.2014.06.031
6. Faraji Sabokbar, H., Shadman Roodposhti, M., y Tazik, E. 2014. Landslide susceptibility mapping using geographically-weighted principal component analysis. *Geomorphology*, *226*, 15–24. doi:10.1016/j.geomorph.2014.07.026
7. Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., y Savage, W. Z. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, *102*(3-4), 85–98. doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.022
8. Garrido, B. 2015. Susceptibilidad a deslizamientos en laderas urbanizadas de Caleta Tumbes, comuna de Talcahuano. Tesis de pregrado en Geografía, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
9. Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile. *Boletín Servicio Nacional de Geología y Minería* 59:9-89.
10. Mardones, M., Echeverría, F y Jara, C. 2006. Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile centro sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área metropolitana de Concepción. *Revista Investigaciones Geográficas* 38:1-25.
11. Mardones, M., Rodríguez, A y Soto, J. 1994. Los riesgos naturales en la comuna de Talcahuano. Actas del *7° Congreso Geológico Chileno*, vol. 1, 653-656. Concepción: Universidad de Concepción

12. Naranjo, J. A., y Varela, J. 1996. Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993. *Boletín Servicio Nacional de Geología y Minería* 47:5-42.
13. Peña, F., Tavares, C y Mardones, C. 1993. Las condiciones climáticas como factor de riesgo en la comuna de Talcahuano. *Revista de Geografia de Chile Terra Australis* 38:83-107.
14. Van Westen, C. J., Castellanos, E., y Kuriakose, S. L. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, *102*(3-4), 112–131. doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.010
15. Varnes, D. J. 1984. Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. *International Association of Engineering Geology Commission on Landslide and other Mass Movements on Slopes*, UNESCO, Natural Hazards, 3: 61.
16. Vranken, L., Vantilt, G., Van Den Eeckhaut, M., Vandekerckhove, L., y Poesen, J. 2014. Landslide risk assessment in a densely populated hilly area. *Landslides*. doi:10.1007/s10346-014-0506-9
17. Xu, C., Dai, F., Xu, X., y Lee, Y. H. 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. *Geomorphology*, *145-146*, 70–80. doi:10.1016/j.geomorph.2011.12.040

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# MACROZONIFICACIÓN DE BORDE COSTERO DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO, EXPERIENCIA Y APRENDIZAJES

**Munizaga Carrión, Gonzalo**[a]
**Gobierno Regional de Valparaíso, Chile**
[a]**(gonzalo.munizaga@gorevalparaiso.gob.cl)**

**RESUMEN**
Con la promulgación de la Política Nacional de Uso del Borde Costero (PNUBC) en el año 1994, el Estado sienta las bases para la planificación de los espacios costeros de nuestro país, poniendo en valor tanto su carácter integrador entre tierra y mar, así como su alto valor, importancia estratégica, vulnerabilidad y fragilidad. Para llevar a cabo dicho proceso se hizo necesaria la implementación de nuevas instancias de gestión que permitieran materializar los alcances de la PNUBC, creando para ello las Comisiones Regionales de Uso del Borde Costero (CRUBC). En este contexto la región de Valparaíso inicia bajo un enfoque de sustentabilidad y participación la elaboración de la Macrozonificación de Borde Costero, entendida esta como la definición de una propuesta consensuada de carácter público, privada y sociedad organizada, respecto de las funciones territoriales preferentes para cada una de las unidades geográficas presentes en el litoral de la región.

**Palabras claves:** Zonificación, Borde Costero, cartografía participativa, mapa semáforo.

# INTRODUCCION

El constante crecimiento y expansión que han experimentado las ciudades y sus actividades de soporte en las últimas décadas, han configurado un escenario en el cual el emplazamiento y localización de las mismas adquiere cada vez más importancia desde el punto de vista estratégico y funcional. En este sentido, la región de Valparaíso, y particularmente su zona costera no ha estado ajena a este proceso, configurándose como un territorio de alto valor para el emplazamiento de una amplia gama de actividades y funciones territoriales, derivado de las atractivas condiciones y características que presenta para el establecimiento y sustento de las mismas. Es acá donde el ordenamiento territorial cobra especial relevancia, propendiendo a una disposición correcta, equilibrada y armónica de los distintos componentes que configuran el territorio, en el cual la Política Nacional de Usos del Borde Costero, PNUBC[1] (en adelante PNUBC), dio un paso sustantivo, incorporando elementos de gestión, planificación y ordenamiento para la administración de los espacios costeros de nuestro país.

En este sentido, la zonificación de borde costero, como proceso de ordenamiento y planificación de los espacios costeros, aporta a este fin, propendiendo al desarrollo equilibrado de las distintas actividades que se ejecutan en él, compatibilizando diferentes intereses de uso, existentes y potenciales, locales, sectoriales, públicos y privados, en un contexto de participación, traducida en un acuerdo social que valida y facilita su futura administración eficiente, racional y sustentable. La puesta en marcha de la Macrozonificación como herramienta de ordenamiento territorial, representa una real oportunidad de avanzar hacia la materialización de una mirada sistémica e integral con enfoque territorial para la gestión de los espacios costeros, de gran significancia y vulnerabilidad territorial.

El presente trabajo tuvo por objetivo la elaboración de un plan de ordenamiento territorial de los espacios costeros, bajo un enfoque de sustentabilidad ambiental, social, económica y territorial, que permita entre otros objetivos generar condiciones favorables a la inversión, proporcionando estabilidad y certeza respecto del uso de los espacios contenidos en el borde costero regional, en un escenario amplio de potenciales de desarrollo y acorde con los intereses regionales, locales y sectoriales, con el propósito de mejorar las condiciones de vida de toda la comunidad y dar cabida a la diversidad de usos que esta realidad reclama.

## Área de estudio

El área de planificación considera las 15 comunas costeras continentales, excluyendo los territorios insulares de Isla de Pascua y Juan Fernández. No obstante que el ámbito de aplicación del instrumento, corresponde a lo definido en la PNUBC como Borde Costero, se definió una zona de influencia contigua, denominada como

[1] Decreto Supremo 475 de 1994 del Ministerio de Defensa. Política Nacional de Borde Costero.

Zona Costera, que tiene por objeto, precisar la amplitud de las influencias directas e indirectas de los diversos fenómenos con efecto en el Borde Costero, derivado de la interacción física, biológica y antrópica entre el territorio y los ecosistemas terrestres y marinos.

La Zona Costera, fue definida en función de la interacción de los subsistemas[2], físico – natural, gestión – ordenamiento y jurídico – administrativo, fundamentado tanto en el análisis de las variables que componen cada subsistema así como en la experiencia recopilada en materia de zonificación de Borde Costero desarrollada en otras regiones del país (Coquimbo, Bío Bío y Aysén).




*Figura 1. Zona Costera región de Valparaíso.*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010.*

[2] El detalle de la definición de cada uno de los subsistemas, puede consultarse en el documento: "Diagnóstico de Borde Costero de la región de Valparaíso", disponible en: www.gorevalparaiso.cl

La PNUBC define como Borde Costero a aquella franja del territorio que comprende los terrenos de playa fiscales ubicados dentro de una franja de ochenta metros de ancho, medidos desde la línea de la más alta marea de la costa del litoral, la playa, las bahías, golfos, estrechos y canales interiores, y el mar territorial de la República, que se encuentran sujetos al control, fiscalización y supervigilancia del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina[3]. El espacio terrestre corresponde a los terrenos de playa, entendido como la "faja de terreno de propiedad del fisco sometida al control, fiscalización y supervigilancia del Ministerio de Defensa, de hasta 80 metros de ancho, medida desde la línea de la playa de la costa del litoral y desde la ribera en los ríos o lagos"[4]. El espacio marítimo por su parte, corresponde a las 12 millas náuticas de Mar Territorial (app. 22 Kilómetros), medidas desde la línea de base hacia mar adentro[5] (figura 2).

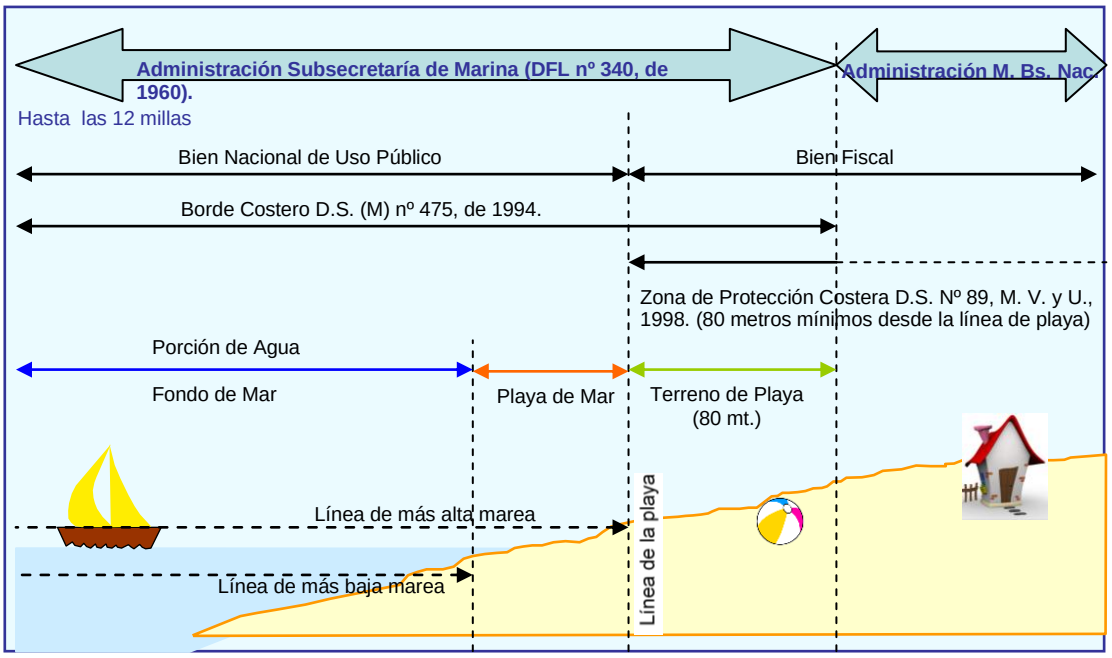



*Figura 2. Borde costero frente a predios fiscales.*
*Fuente: Subsecretaría de Marina.*

Frente a predios privados (ver figura 3), el Borde Costero abarca el Mar Territorial de la república hasta la línea de la más alta marea, lo que incluye la superficie denominada "playa de mar". En estos casos, los terrenos de propiedad privada que, según sus títulos, deslinden con sectores de terreno de playa, o con la

[3] Decreto Supremo 475 de 1994 del Ministerio de Defensa. Política Nacional de Borde Costero.
[4] Artículo 1, Nº 38, D.S. Nº2 de 2005. Ministerio de Defensa. Reglamento sobre Concesiones Marítimas.
[5] Artículo 593, Código Civil.

línea de la playa de la costa del litoral, no son terrenos de playa, y deberán considerar áreas de protección para menesteres de la pesca[6].

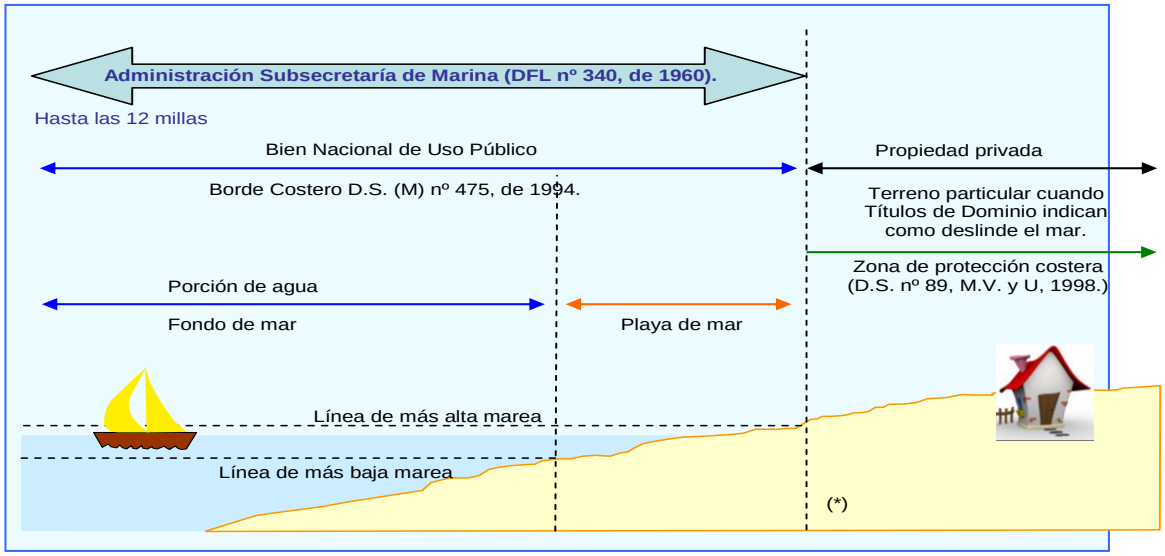



*Figura 3. Borde costero frente a predios privados.*
*Fuente: Subsecretaría de Marina.*

## MATERIALES Y METODOS

El proceso de zonificación se orientó fundamentalmente a lo establecido en la PNUBC así como en las distintas orientaciones metodológicas emanadas desde el Estado para la elaboración de la respectivas zonificaciones de Borde Costero en nuestro país. Para ello, se dispuso de la asesoría7 de un equipo especializado en gestión y planificación en zonas costeras, asesorando al equipo técnico del Gobierno Regional en metodologías participativas y mediación de conflictos tendientes a la formulación de la propuesta de zonificación territorial.

La metodología utilizada para la elaboración de la zonificación, se estructuro en base a tres etapas principales:

- Diagnóstico
- Ejecución
- Validación

[6] Código Civil Art. 612 y 613
[7] Pangaea Asesores Asociados Ltda.

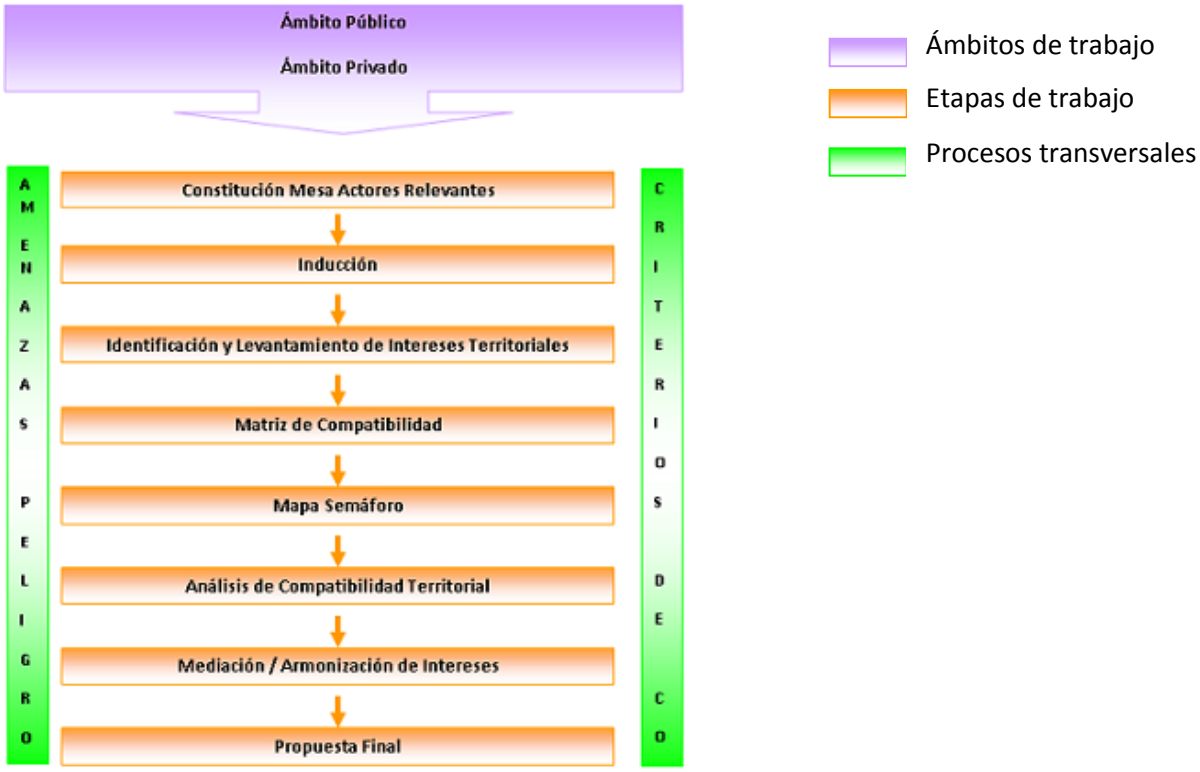



*Figura 4. Estructura Metodológica.*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010.*

El proceso de elaboración se sustentó fundamentalmente en la participación de actores públicos y privados a través de distintas instancias de construcción de contenidos, correspondientes a talleres, seminarios, reuniones, jornadas de trabajo y otras, en las cuales se fueron perfilando los insumos que en una etapa posterior se constituyeron en parte integrante de la propuesta final. Para ello, y como instancia fundamental en el proceso de construcción de la propuesta, se genero el levantamiento de intereses territoriales a partir de la organización de actores en grupos de interés de carácter público, privado y público – privado; intereses territoriales manifestados territorialmente a través de técnicas de cartografía participativa, sistematizados a través del uso de Sistemas de Información Geográfico (SIG).

*Tabla 1: Clasificación Grupos de Interés*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010.*

| Grupos de Interés | | |
|---|---|---|
| **Público** | **Privado** | **Público - Privado** |
| Direcciones regionales de servicios públicos y ministerios con presencia en la región. | Conservación Ambiental – Industrial – Inmobiliario – Municipios – Patrimonio – Org. Ciudadanas – Pesca Artesanal – Portuario – Turismo – Universidades. | Agencia Regional de Desarrollo Productivo. |

La elaboración de la propuesta se complementó con el uso de la metodología de mapa semáforo, herramienta metodológica que permite la identificación de compatibilidades territoriales de los distintos intereses manifestados por los actores, en relación a la percepción de compatibilidad de dos o más funciones territoriales, manifestados a través de tres niveles de compatibilidad: Compatible, Compatible con restricción e Incompatible.




Por lo menos dos, eventualmente aún más funciones territoriales pueden encontrarse en la misma zona, sin crear conflictos o competencias entre ellos. Aún más, la coincidencia puede crear hasta efectos sinérgicos y por ende incrementar la utilidad de activos territoriales.




Por lo menos dos, eventualmente aún más funciones territoriales pueden encontrarse en la misma zona, creando conflictos. Todavía, aplicando medidas de mitigación, técnicas de gestión, la competitividad puede mantenerse en un nivel de sostenibilidad, mitigando impactos y armonizando la co-vivencia.




Por lo menos dos, eventualmente aún más funciones territoriales pueden encontrarse en la misma zona, creando conflictos mutuos sin la posibilidad de mitigar aquellos o resolver conflictos mediante técnicas de gestión.

El uso de los Sistemas de Información Geográfico (SIG) permitió modelar un importante volumen de datos, de carácter cuantitativo y cualitativo, a través de técnicas y funciones de algebra de mapas, aplicados a la información vectorial recogida en el proceso de identificación de intereses territoriales, facilitando de esta forma tanto la interpretación de la información contenida en el mapa de superposición de intereses como el análisis de compatibilidad territorial, previo a la etapa de armonización y construcción de la propuesta.

Finalmente y luego del proceso de armonización de intereses territoriales, a través de una serie de talleres – sesiones público – privada, se construyó la propuesta de Macrozonificación de Borde Costero de la región de Valparaíso, aportando con ello de forma sustantiva al proceso de planificación y gestión de la zona costera regional, conteniendo en su propuesta entre otros aspectos un plano de zonificación que ilustra gráficamente la ubicación y emplazamiento de zonas preferentes con sus diversas categorías y/o usos específicos, expresada a través de una cartografía temática a escala 1:200.000.

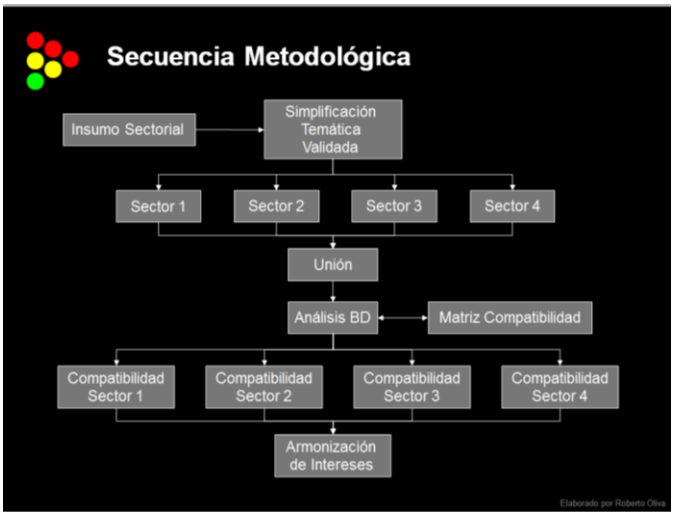



*Figura 5: Secuencia Metodológica Mapa de Compatibilidad Territorial*
*Fuente: Roberto Oliva, 2010.*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producto del proceso de planificación, se obtuvieron interesantes resultados no sólo desde el punto de vista procedimental y metodológico, que culminó efectivamente con la formulación de la propuesta, sino que también desde el punto de vista de la generación de espacios de dialogo y gestión en torno a la planificación y manejo de la zona costera regional, que permitió aunar criterios y enfoques de actores de diversa naturaleza e interés, en una visión común y consensuada de la funcionalidad territorial de la zona costera regional en un horizonte de planificación de mediano plazo (10 años).

La flexibilidad metodológica posibilitó la generación de espacios de negociación y dialogo entre actores con intereses divergentes o bien competitivos, permitiendo con ello incorporar elementos de flexibilidad y menor rigidez a los procesos de planificación territorial, caracterizados por su eminente enfoque sectorial de escasa flexibilidad. Tal es el caso de la definición por ejemplo de un área de planificación más amplia que aquella respecto del cual se tiene competencia, aun cuando su aplicación efectiva se encuentra debidamente normada y regulada por los instrumentos jurídicos respectivos, como lo fue la definición de una zona costera regional, que permitió a partir de una mirada más amplia e integradora del territorio costero regional, la identificación de problemáticas territoriales de mayor complejidad y multicausales, como aquellas presentes en el borde costero regional. Este enfoque obliga a tener una mirada extendida del territorio, neutralizando con ello el riesgo de una aproximación estrictamente sectorial pero sin restar fuerza ni protagonismo a las miradas

sectoriales, incorporándolas ponderadamente en función de un objetivo común, claro, conocido y compartido por cada sector, de manera tal que sus respectivos instrumentos puedan mantener el carácter obligatorio o vinculante de acuerdo a su naturaleza jurídica.

En términos generales se identificó una alta congruencia entre las percepciones de compatibilidad territorial derivadas de la aplicación del mapa semáforo tanto para el sector público como privado, fundamentalmente respecto a aquellas incompatibilidades territoriales asociadas a sectores de alta complejidad como áreas reservadas para el Estado, áreas de seguridad nacional, áreas industriales, portuarias y de conservación y protección (ver figura 6).

| Zonas | reservadas para el estado, uso militar | reservadas para el estado, uso no militar | portuarias | de asentamientos humanos | para actividades industriales | de pesca artesanal | apropiadas para la acuicultura | silvoagropecuarias | de turismo y recreación | para la conservación de la naturaleza | del patrimonio cultural | Conectividad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| reservadas para el estado, uso militar | | | | | | | | | | | | |
| reservadas para el estado, uso no militar | | | | | | | | | | | | |
| portuarias | | | | | | | | | | | | |
| de asentamientos humanos | | | | | | | | | | | | |
| para actividades industriales | | | | | | | | | | | | |
| de pesca artesanal | | | | | | | | | | | | |
| apropiadas para la acuicultura | | | | n/a | | | | | | | | |
| silvoagropecuarias | | | n/a | | | n/a | n/a | | | | | |
| de turismo y recreación | | | | | | | | | | | | |
| para la conservación de la naturaleza | | | | | | | | | | | | |
| del patrimonio cultural | | | | | | | | | | | | |
| Conectividad | | | | | | | | | | | | |

*Figura 6: Matriz de Compatibilidad Final*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010*

Desde el punto de vista funcional, expresado en la manifestación de intereses territoriales, se observa una mayor representatividad de la proyección de lo público respecto de lo privado principalmente en áreas terrestres. Esto queda de manifiesto principalmente en la definición de áreas de interés asociadas a la función habitacional y asentamientos humanos, que responde al peso especifico que tiene en la zonificación, lo indicado en los distintos instrumentos de planificación territorial de escala intercomunal (IPT) vigentes y proyectados para el Borde Costero regional, identificando importantes áreas como de desarrollo urbano y de

extensión urbana. Otra de las principales diferencias en la definición de intereses se tradujo en la propuesta de áreas de interés ambiental y de conservación de la naturaleza, siendo reconocidos gran parte de los sitios contenidos en la Estrategia Regional de Conservación de la Biodiversidad (ERCB) presentes en la zona costera regional, lo que quedó de manifiesto en el mapa de interés del sector público. Resulta interesante observar que se identifica una relación de complementariedad no intencional entre actores de grupos de intereses comunes como sucede en el sector pesquero artesanal, traducido en una manifestación de intereses por parte del sector público que reconocía fundamentalmente las caletas de pescadores, las áreas de manejo para extracción de recursos bentónicos (AMERB) pero no así el área destinada como reserva para la pesca artesanal correspondiente a las 5 millas de mar territorial, que si fueron consideradas y debidamente manifestadas por los representantes del sector pesquero artesanal.

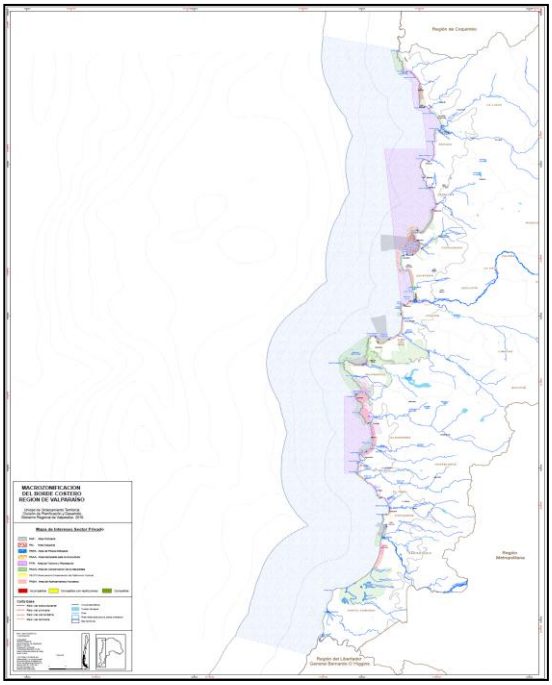



*Figura 7: Mapa intereses sector privado*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010.*

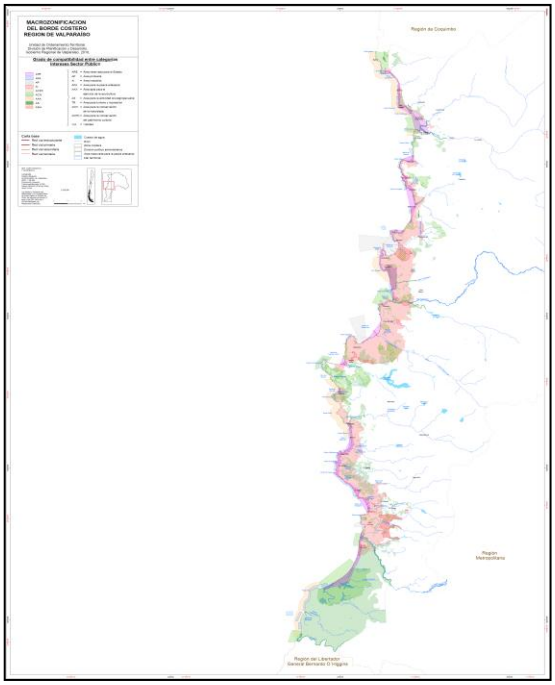



*Figura 8: Mapa intereses sector público*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010.*

La aplicación del mapa semáforo permitió identificar claramente aquellos sectores en conflicto y/o con percepciones de compatibilidad contrapuestas, facilitando de esta forma el proceso de armonización de intereses. Estas diferencias, tal como se indicó anteriormente, se manifestaron en el sector privado en aquellos sectores de mayor demanda y de alto valor actual y potencial, lo que esta en directa relación con la proyección de diversos proyectos de desarrollo en torno a áreas portuarias, sitios de alto valor ambiental no sujetos a figuras de protección legal y áreas industriales como Bahía de Quintero y San Antonio. Las

incompatibilidades territoriales derivadas de la aplicación del mapa semáforo público, se concentran básicamente en tres sectores: desembocadura de Aconcagua, sector costero San Antonio – Cartagena y Bahía de Quintero, en los cuales el elemento común lo representa la función industrial que entra en conflicto con otras funciones identificadas no compatibles con dicha función preferente (ver figura 9).

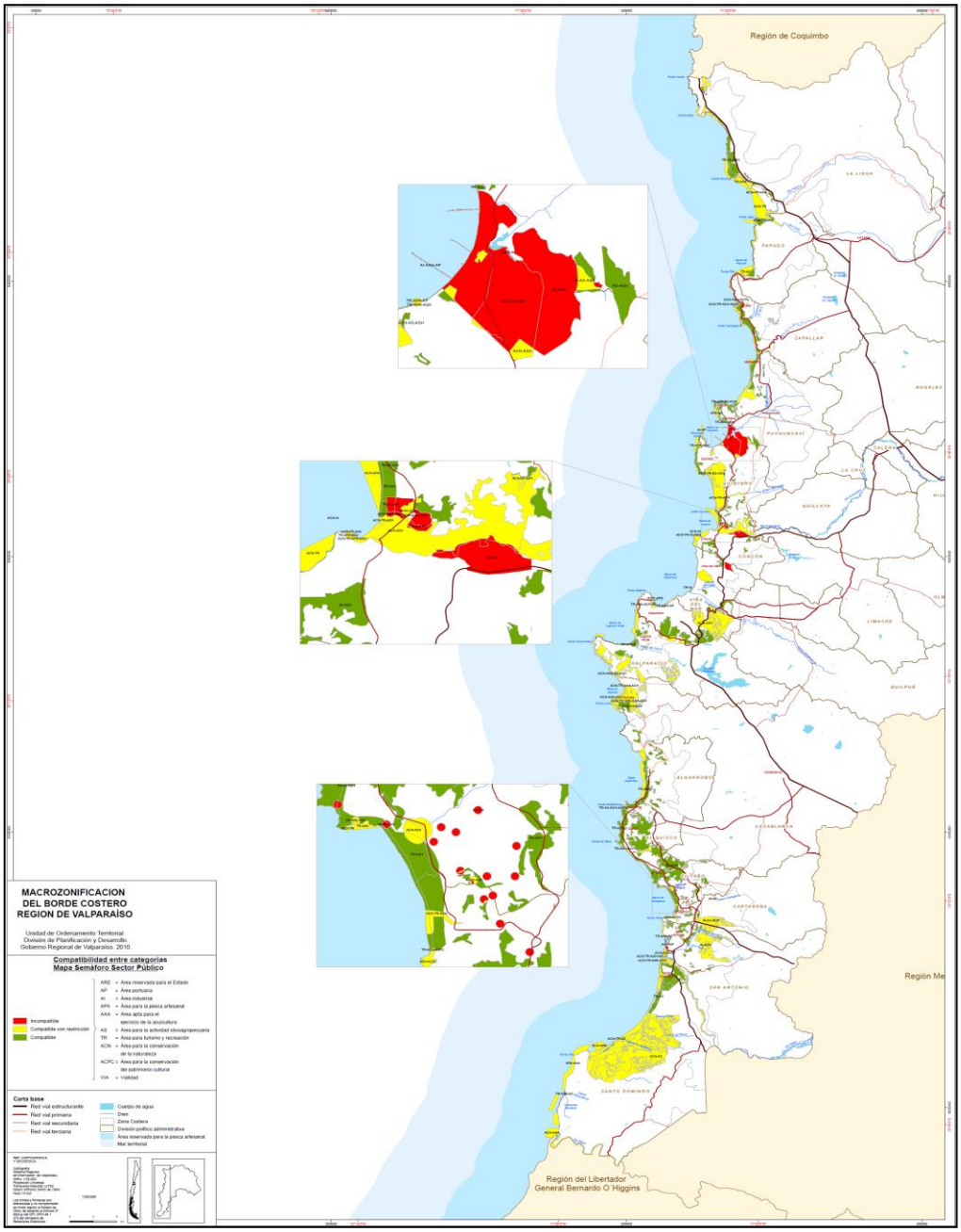



*Figura 9: Mapa semáforo sector público*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010.*

Si bien no todas las manifestaciones de intereses territoriales se encuentran reflejadas en la propuesta de zonificación final, hay algunos elementos relevantes de destacar en relación a los consensos generados al interior de la instancia público – privada que son importantes de destacar. El primero de ellos dice relación con la forma de asignación de la función preferente para cada una de las unidades geográficas del área de planificación, ya que si bien su análisis se inicia a partir de una base de información inicial compartida facilitando con ello la discusión, el análisis y la argumentación, son estos últimos elementos los que resultaron ser tanto o mas importante que la información disponible al momento de la discusión, dado que permitió el intercambio de experiencias, enfoques y visiones en torno a las distintas temáticas vinculadas con el borde costero regional. En este aspecto jugo un rol fundamental la interpretación de la información, la capacidad analítica, relacional y de síntesis derivada de la cartografía digital que acompaño todo el proceso de discusión y que permitió la libre deliberación por parte de todos los integrantes de la mesa.

Un segundo elemento destacable dice relación con la representatividad traducida en los contenidos de la propuesta, lo que se vio reflejado en la amplia aprobación por parte de los integrantes del sector público de la propuesta pública, el consenso generado en la aprobación de la propuesta público – privada por la mesa público – privada y la unanimidad en la aprobación para ser sometida a consulta pública por la Comisión Regional de Uso del Borde Costero (CRUBC).

Dentro de los elementos innovadores se encuentra la definición de áreas aptas para el ejercicio de la acuicultura (AAA), no existentes en la región de Valparaíso, la cabida de proyectos energéticos asociados a energías renovables no convencionales (ERNC) dentro de la función preferente Industrial, tanto en espacios marinos como terrestres y la definición de zonas preferentes para el desarrollo del turismo y la recreación, reconociendo no obstante que todo el frente costero regional se identifica como de un alto potencial para el desarrollo del turismo y sus actividades asociadas.

La definición de funciones territoriales debidamente delimitadas y validadas, permitió incorporar mayor certeza respecto de la gestión de los espacios costeros regionales, no solo desde el punto de vista del otorgamiento de concesiones marítimas sino que también desde el punto de vista de su manejo y planificación, dado que ejercicios de este tipo tienden a gatillar externalidades positivas, traducidas por ejemplo en la incorporación de la discusión en la agenda institucional pública y privada, incorporando con ello mayores niveles de gobernanza.

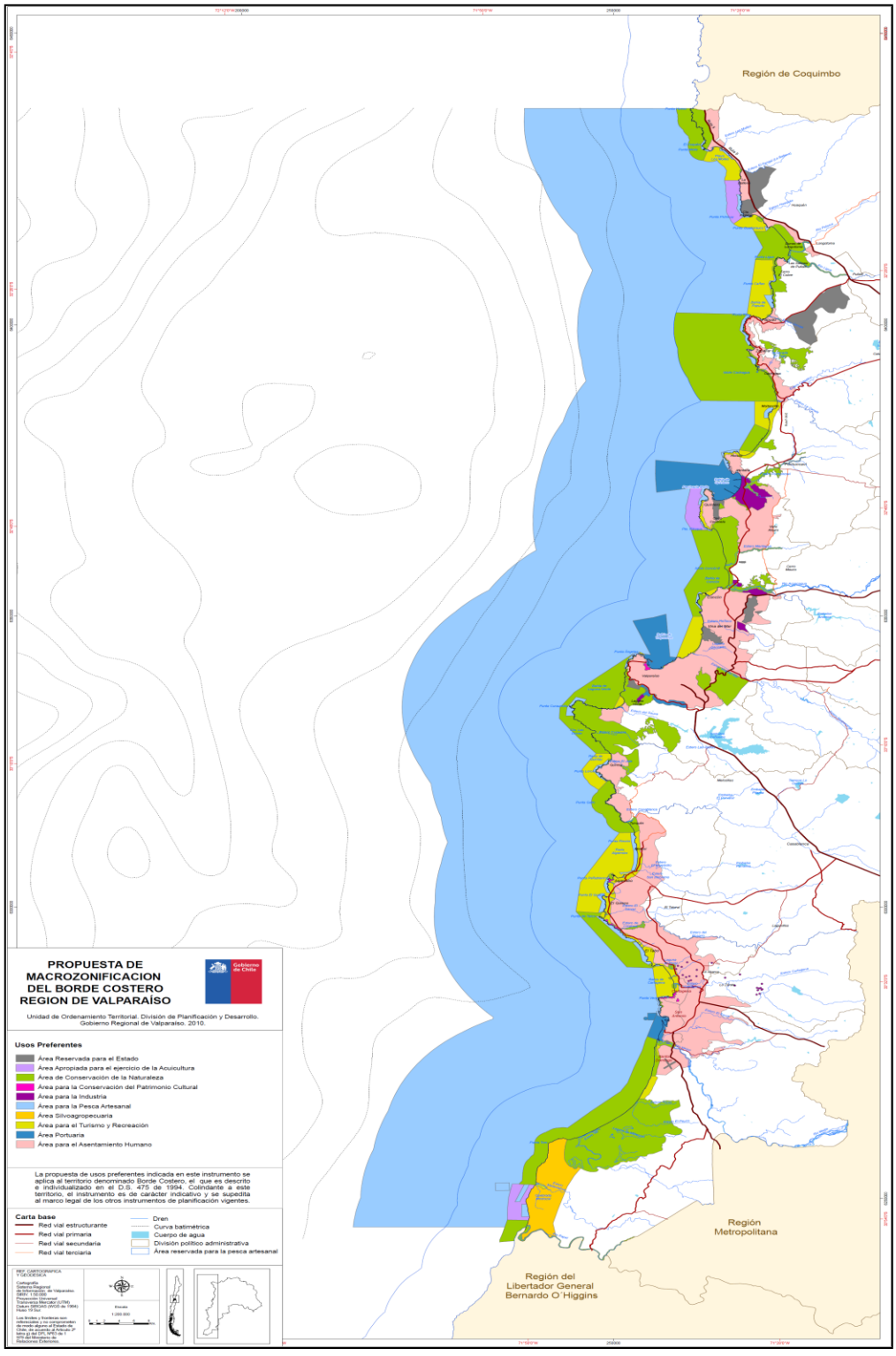



*Figura 10: Propuesta de Macrozonificación de Borde Costero*
*Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso, 2010.*

## CONCLUSIÓN

La elaboración de la Macrozonificación de Borde Costero de la región de Valparaíso, representó una acción concreta por incorporar mayores elementos de gestión y manejo respecto de una zona caracterizada por su alto valor, fragilidad y vulnerabilidad. No sólo pretendió, de manera general, dar cumplimiento a las indicaciones de los ordenamientos jurídicos respectivos, sino que también lograr una armonizar instrumentos, proyectos, intenciones e intereses por el uso del territorio costero, no solo en su dimensión geográfica sino que también desde su dimensión de sustentabilidad. Junto con ello, este instrumento complementa su carácter pasivo con una dimensión mas activa, proponiendo indicaciones contextualizadas en el territorio para la aplicación de mecanismos e instrumentos de gestión del desarrollo costero regional, facilitando de este modo, la aplicabilidad de dichos instrumentos al verse los actores involucrados en el proceso.

El proceso de asignación de funciones territoriales debe entenderse como dinámico en el tiempo, de manera tal de evaluar resultados y realizar ajustes a los instrumentos de desarrollo y las políticas regionales en esta materia. Debe establecerse un mecanismo de retroalimentación de la zonificación, en base a un consenso público y privado, que permita alcanzar nuevos acuerdos de carácter técnico, que genere al mismo tiempo un entrecruzamiento político a través de las labores de la CRUBC, para lograr la armonización de los otros instrumentos de planificación existentes con la zonificación de borde costero en curso.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOBIERNO REGIONAL DE VALPARAÍSO (2009). Diagnostico Macrozonificación de Borde Costero de la región de Valparaíso. Valparaíso, 92 pp. Valparaíso, 288 pp.
2. GOBIERNO REGIONAL DE VALPARAÍSO (2011). Memoria Explicativa Macrozonificación de Borde Costero de la región de Valparaíso. Valparaíso, 92 pp.
3. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL (1994). Política Nacional de Usos del Borde Costero. D.S. N° 475 del 14 de Diciembre de 1994. Santiago.
4. OLIVA, R. (2010). Elaboración de Mapa Semáforo usando SIG. Santiago, 24 pp.
5. PANGAEA ASESORES ASOCIADOS LTDA. (2010). Manual para confección de mapas de interés, Antecedentes, Confección y Uso de la Herramienta. Valparaíso, 28 pp.
6. PANGAEA ASESORES ASOCIADOS LTDA. (2010). Manual para la Matriz de Compatibilidad Antecedentes, Confección y Uso de la Herramienta. Valparaíso, 26 pp.
7. SUBSECRETARIA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO (2011). Guía de zonificación costera para el ordenamiento territorial. Santiago, 111 pp.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# CAMBIOS GENERADOS POR EL TSUNAMI DE CHILE DE 2010 EN UN LITORAL ARENOSO, REVELADOS POR IMÁGENES SATELITALES

**Araya, Cristian[a]; Cisternas, Marco[b]**
**Escuela de Ciencias del Mar, Pontifica Universidad Católica de Valparaíso, Chile**
**[a](c.arayacornejo@hmail.com)**
**[b](marco.cisternas@ucv.cl)**

**RESUMEN**

El tsunami del 27 de febrero de 2010 que afecto a la costa Chile central generó importantes cambios en el borde costero de la región del Maule. Algunos de estos cambios han quedado registrados en la geomorfología del litoral arenoso que se encuentra entre los ríos Mataquito y Huenchullami, denominado localmente como "La Trinchera". El retroceso de la línea de costa, la destrucción de la barra litoral del río Mataquito y parte de la barra del Río Huenchullami, y la formación de brechas y abanicos son las modificaciones más importantes. Como consecuencias de estos se registra una alteración en el intercambio de sedimentos en el sistema playa-duna, lo que es evidenciado en el cambio en la dinámica del campo de dunas que se encuentra tierra adentro. Todas estas transformaciones y la evolución del litoral arenoso son reveladas por imágenes satelitales obtenidas post terremoto.

**Palabras claves:** Tsunami, Chile, Litoral Arenoso, Geomorfología, Imágenes Satelitales.

## INTRODUCCIÓN

Los tsunamis generan cambios importantes en la geomorfología litoral, pudiendo originar una extensa erosión, transporte de sedimento y depositación en pocos minutos (Paris et al., 2009). Las evidencias de sus impactos han sido preservadas en la geomorfología y sedimentología de los medioambientes costeros en distintas partes del mundo (Narayana et al., 2007). Sin embargo, a pesar de las evidentes huellas geomorfológicas derivadas de los tsunamis recientes, este factor no ha sido estudiado de manera exhaustiva en comparación con otras manifestaciones características de estos, cómo la sedimentología. Dawson (1994) consideró que hasta la fecha de la elaboración de su artículo no existía ningún documento detallado sobre el tema, siendo la investigación realizada por Shi et al. (1993) para el tsunami en Flores, el primer estudio geomorfológico basado en un tsunami moderno. A partir de tal trabajo, se sucedieron algunos estudios sobre tsunamis recientes en los cuales se describen las geoformas erosionales que estos producen, tales como escarpes en suelos, playas, bancos, riberas y lechos de ríos, para los tsunamis en el Sureste de Java (Maramai y Tinti, 1997), Papua Nueva Guinea (Gelfenbaum y Jaffe, 2003), el Sudeste Asiático (Fagherazzi y Du, 2008), y Japón (Richmond et al., 2012). Goff et al. (2009) realizaron aportes importantes para la geomorfología de tsunamis, estableciendo y definiendo las características básicas para su identificación. Según estos autores, entre las formas más recurrentes se encuentran los pedestales de erosión, topografías acolinadas, sistemas de dunas parabólicas, y cambios post-tsunami (indirectos, de corto y mediano plazo) resultantes de la modificación en el sistema de almacenamiento de sedimento en el litoral. Estos mismos autores establecen las distinciones que existen entre la geomorfología y la geología de tsunamis en el contexto de ambientes de dunas, en donde la primera se encarga de estudiar las formas superficiales y los procesos que las crean, mientras que la segunda investiga el material que conforma estas formas y los procesos que conducen a su deposición. En muchos de estos estudios se han utilizado imágenes satelitales, las que han sido de gran valía en la identificación, dimensionamiento, zonificación y verificación de observaciones de terreno, de los efectos geomorfológicos de los tsunamis.

En Chile se pueden encontrar referencias sobre geoformas generadas por tsunamis recientes gracias a las observaciones realizadas por Atwater et al. (2013), asociadas al terremoto de 1960 en la zona de Maullín. Se generaron brechas y abanicos formados a través de cordones litorales arenosos. Para el tsunami ocurrido el 27 de febrero de 2010, algunos autores han abordado los efectos geomorfológicos directos del terremoto y tsunami, describiendo aspectos como cambios en el nivel de base de ríos, en la línea litoral, socavamientos en playas, destrucción de las flechas de estuarios, entre otros (Geer, 2010; Morton et al., 2011). Sin embargo, en Chile no se han realizado investigaciones más acabadas respecto de los efectos geomorfológicos y sedimentológicos, directos e indirectos, generados por el este tsunami.

La presente investigación estudia las modificaciones generadas por el tsunami de Chile de 2010 en el litoral arenoso de "La Trinchera", por medio de la observación de imágenes satelitales y verificación de formas en terreno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El litoral arenoso de "La Trinchera" se ubica en la Región del Maule, entre los 34º 59' y 35º 07' S, y los 72º 12' y 72º 09' W (Fig. 1). Limita en el norte con el estuario Mataquito, mientras que por el sur se encuentra el estuario Huenchullami. En el este se emplaza una terraza marina pleistocena. El campo dunar que lo conforma, presenta dunas de origen barjánico, parabólico y dunas complejas (Araya 2010). Estas sobreyacen una planicie de cordones litorales antiguos, conformadas por gravas y arena (Araya-Vergara y Araya, 2012). El origen principal de las arenas que componen las playas y dunas de este sistema provienen principalmente de la cuenca del Maule. Su mineralogía está dominada por granos magnéticos, cuyo origen es volcánico (Araya, 2010).

### Procedimientos

Para simplificar el análisis de esta investigación, se determinó el área de estudio considerando patrones de homogeneidad superficial, de la geomorfología previa y de los efectos directos e indirectos del tsunami. Se definieron así las zonas "Norte" (ZN), "Centro" (ZC) y "Sur" (ZS) (Fig. 1). Para el estudio del estado de la geomorfología in situ se realizó una campaña de terreno en Octubre de 2010, con el fin de establecer no solo los efectos directos, sino que también la evolución del área de estudio pos-tsunami, habiendo transcurrido ya algunos meses desde la ocurrencia del evento. En este se determinó el alcance y dirección del flujo de las olas por medio de evidencia geomorfológica, y aspectos como vegetación tumbada, depósitos de origen marino en superficie, y restos biológicos como conchas y esqueletos de crustáceos, entre otros. La revisión de estructuras superficiales y el análisis multitemporal se realizó gracias a imágenes satelitales (cortesía de Digital Globe http://www.digitalglobe.com y Google Earth). Estas imágenes ayudaron a complementar las observaciones de terreno.

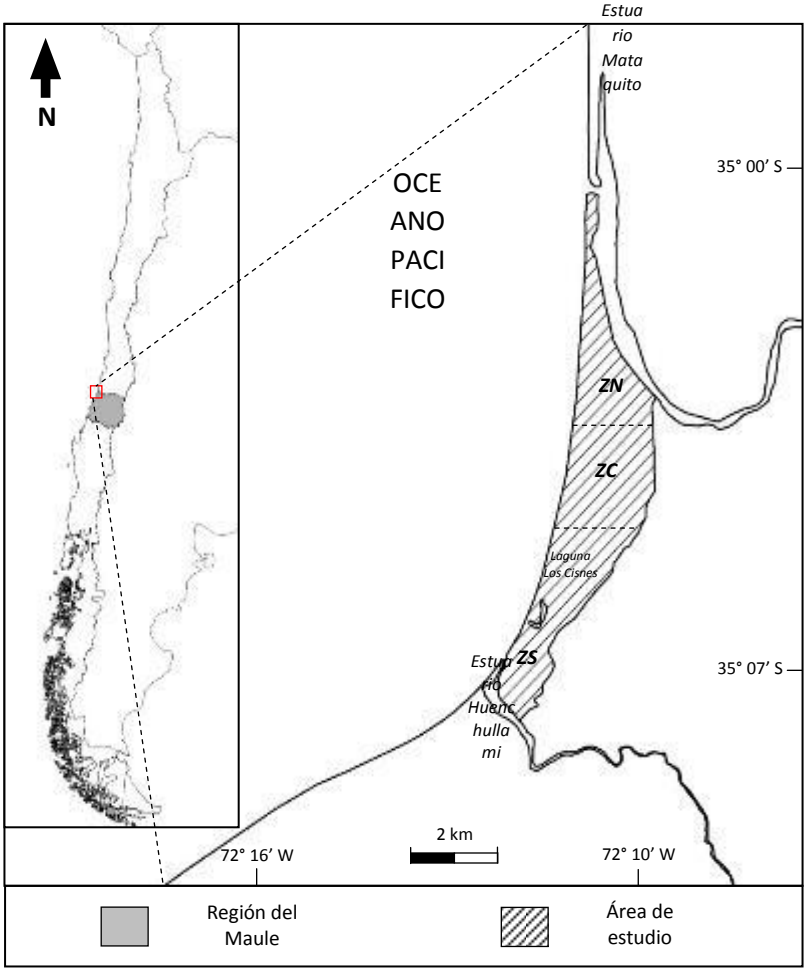



*Figura 1, Área de emplazamiento del sistema playa-duna de "La Trinchera".*

## RESULTADOS

### Brechas y Canales de Retorno

Dentro de la evidencia geomorfológica distinguible en las imágenes satelitales, unas de las más numerosas corresponden a las Brechas. Estas son incisiones que el tsunami genera en las morfologías prexistentes, las que ceden a la dinámica del flujo que ingresa y retrocede, dejando marcas morfológicas y sedimentológicas claras (línea segmentada blanca, Fig. 2) a través de canales de retorno (flechas negras, Fig. 2). En los canales de retorno se distinguen abanicos, los cuales son formados por la remoción de sedimento desde el continente (línea segmentada roja, 2). Es así como el tsunami genera brechas o aperturas en los frentes dunares, y/o utiliza y/o agranda una prexistente, removiendo el sedimento y dejando en la superficie láminas de arena. El

abanico puede construirse en el lado de sotavento de los cordones litorales durante la inundación, pero es a barlovento donde prevalece gracias a la retirada del mar.

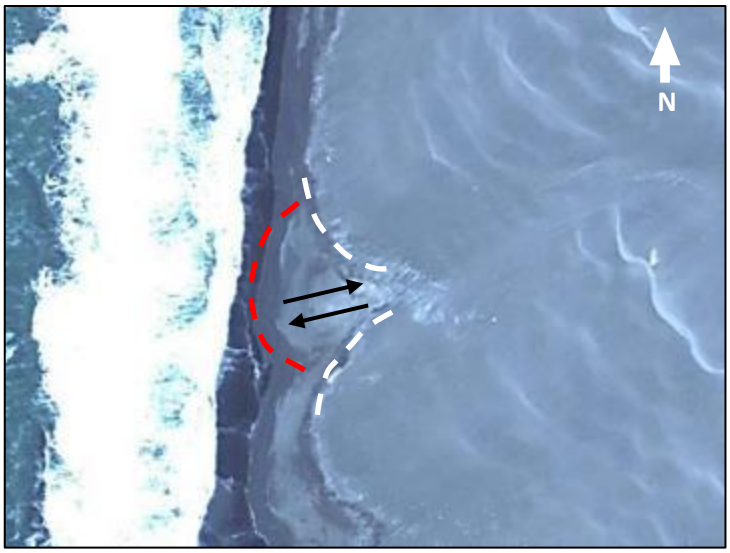



*Figura 2. Brecha (en blanco) y canal de retorno (flechas negras), en donde se forma un abanico (en rojo), ZN. Fuente: Google Earth (2011).*

Tal como se describe en la Fig. 7 (óvalos rojos), son las ZN y ZC en donde se evidencian múltiples brechas con sus respectivos canales de retorno. Como una forma de estudiar las características del espaciamiento entre canales de retorno se trazaron distancias entre dos canales consecutivos, reconociéndose un promedio de 200 m entre cada canal. Se contaron al menos unos 30 canales de retorno con sus respectivos abanicos de tamaño considerable, es decir, de unos 90 m de ancho promedio en el sector distal o base, llegando algunos a unos 150 m. Mientras que el largo aproximado promedio bordea los 130 m desde el inicio del canal a la zona distal, habiendo algunos que bordean los 300 m. Los abanicos mostraron un ángulo promedio de 45°.

La cantidad y recurrencia de estas formas va disminuyendo conforme se avanza hacia el sur, desapareciendo casi totalmente a partir del área en que dominan las antedunas (ZS). La ZS cuenta con una menor cantidad de brechas, aunque de importantes dimensiones (Fig. 3), reconociéndose aquí el mayor nivel de ingreso del mar en el campo de dunas, el que bordeó los 800 m.

**Socavamientos de Inundación**

Otro de los aspectos distintivos evidenciados en terreno son las formas erosionales que se disponen en superficies bajas y de manera casi perpendicular a las riberas sur de los estuarios Huenchullami y Mataquito (óvalos naranjos, Fig. 7). Estas formas se denominan como socavamientos de inundación, en inglés “Flood Scour” (Fig. 4). En la ribera sur del Mataquito se contaron unos cinco de gran tamaño, exhibiéndose con

límites bien definidos y con una forma alargada pero irregular en sus extremos. Su largo generalmente es más amplio que su ancho y poseen un fondo plano, con una profundidad promedio de 1 m. El de mayor tamaño alcanzó los 350 m de largo y 70 m de ancho en el límite con el estuario. Otra de sus características es el tener un ángulo de casi 90° en relación con la ribera.



*Figura 3. Brecha (línea segmentada blanca) y canal de retorno (flechas negras), ZS.*

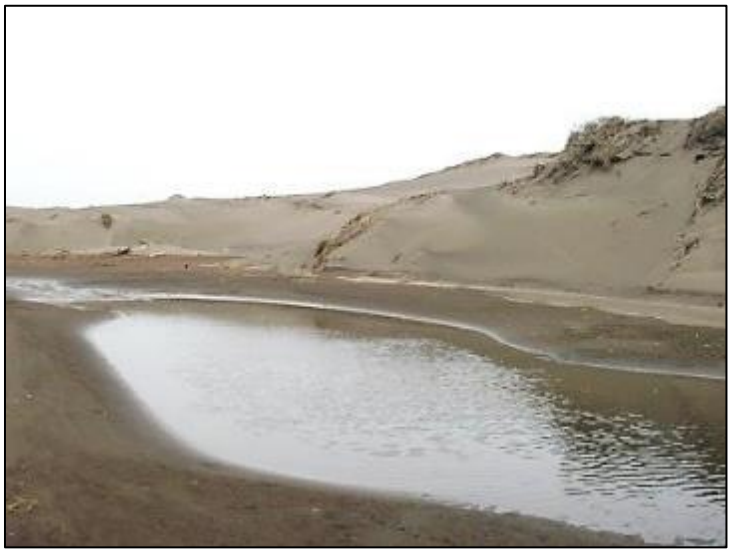


*Figura 4: "Floud scour" generado por el derrame de las olas en la ribera sur de los estuario Mataquito, el cual posteriormente ha sido inundado por el mismo.*

**Alteraciones en la zona litoral y frente dunar**

Una de las más importantes modificaciones provocadas por el tsunami corresponde al retroceso de la línea de costa producto de le erosión de la playa y el frente dunar. Este no solo generó pedestales y brechas, sino que también propició grandes cambios en toda la zona litoral, como la modificación de barras submarinas, bermas, además de la destrucción de la playa alta y la formación de incisiones en las antedunas que se alojan en la ZS.

El retroceso de la línea de costa alcanza en algunos sectores unos 120 m. Si bien este cálculo es aproximado, la Fig. 5 muestra la importante sección que ha desaparecido gracias a la acción del tsunami, conduciendo de esta manera a una importante pérdida de sedimento especialmente en sectores bajos, cercanos al estuario Huenchullami y Mataquito. Como se sabe, esta situación provocó incluso la destrucción de casi la totalidad de la flecha de éste último, cuya extensión bordeaba los 5 km, desapareciendo los cordones de dunas transversales alojados en esta (óvalo amarillo, Fig. 7).




*Figura 5. Cambios generados en la zona litoral en la ZS. Existe un retroceso importante post-terremoto de unos 120 m, en comparación a lo que existía el año 2009.*

**Modificación de formas eólicas**

Las transformaciones ocurridas a lo largo de la zona litoral y el frente dunar gatillaron una alteración en el normal intercambio de sedimentos en el sistema playa-duna, lo que determinó un cambio su dinámica. Como se observa en la Fig. 6, a un año del tsunami existe un aumento de la actividad dunar. Esto es distinguible en zonas que se mostraban libres de arena el 2009, y que para el 2011 se exhiben sepultadas por mantos eólicos o aspersiones. Este aumento de la actividad de las formas eólicas se concentra esencialmente en la ZN del campo de dunas.




*Figura 6: Cambio en la dinámica de las formas eólicas presentes en el área de estudio, producto del tsunami del 27 de febrero de 2010. Los cordones litorales antiguos que antes se encontraban en superficie (en tonalidades verdes) para el 2011 estaban cubiertos por mantos eólicos.*

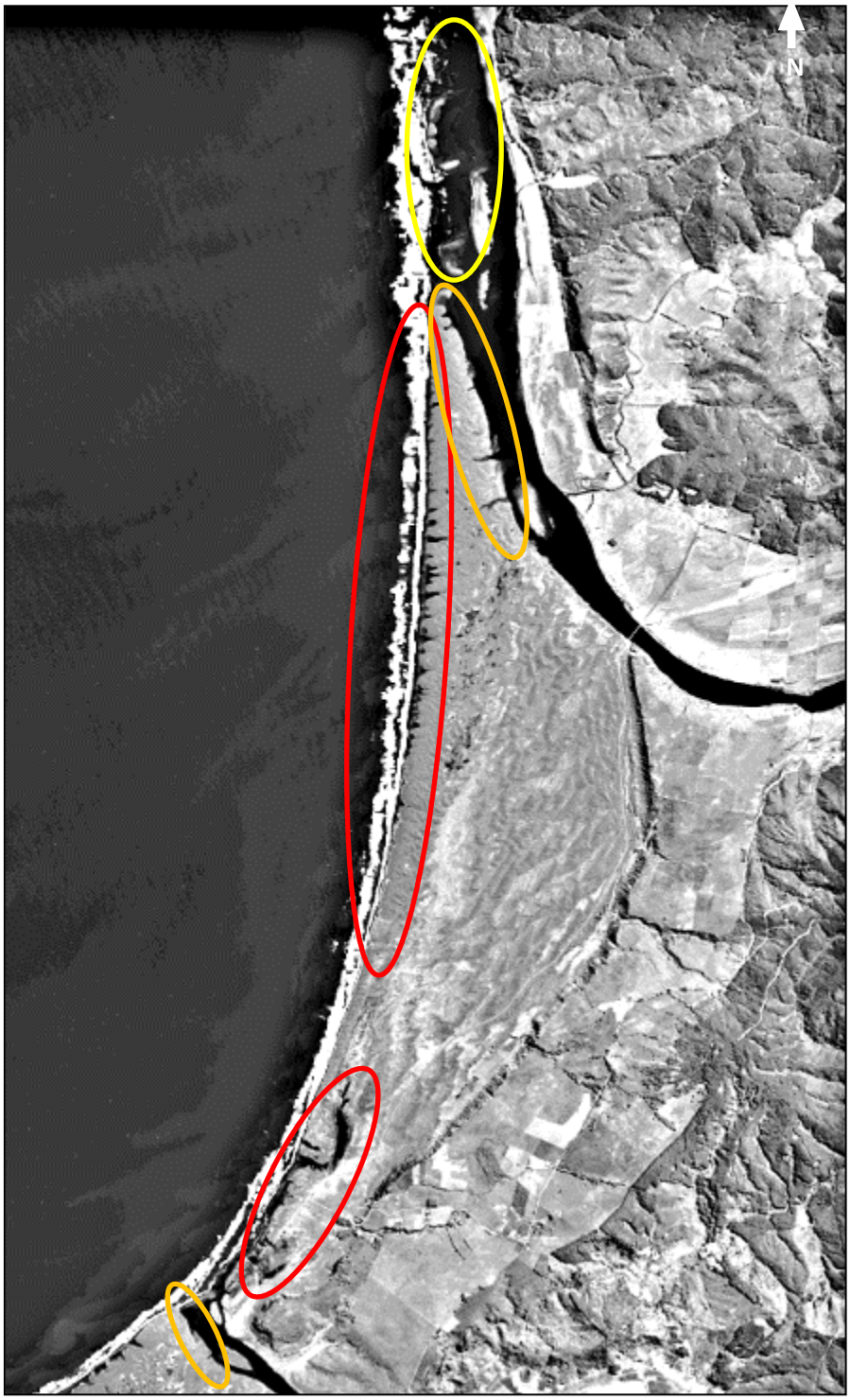



*Figura 7: Imagen satelital a un mes de ocurrido el tsunami. En los óvalos rojos se observan las brechas y canales de retorno, en los óvalos naranjos los "floud scour", y en el óvalo amarillo la flecha estuarial erosionada.*

## DISCUSIÓN

### Geomorfología de tsunamis: consecuencias morfológicas directas y su diferenciación espacial

Las ZN y ZC lmostraron una morfología dominada por una cantidad importante de brechas y canales de retorno con forma de abanicos, ya presenciados como fenómenos en Japón por Kitamura et al. (1961) tras el tsunami ocurrido a causa del terremoto de Valdivia en 1960. Así mismo estas formas han sido observadas por otros investigadores en distintas partes del mundo, y recientemente tras el tsunami del Sudeste Asiático el 2004 (Umitsu et al., 2007; Fagherazzi y Du, 2008), y de Japón el 2011 (Richmond et al., 2012).

En la ZS se establece una relación morfológica distinta en comparación a las zonas más septentrionales. Es en este lugar en donde se establece un retroceso importante de la línea de costa, coincidiendo con lo que determinó Morton et al. (2011) para la misma zona. También en este sector tales autores establecieron un límite de inundación de unos 800 m, lo que según lo observado en terreno, sería el nivel máximo de ingreso del tsunami.

En la ribera del Mataquito las formas erosionales como los “Flood Scour” o socavamientos de inundación, se muestran como fenómenos interesantes desde la perspectiva de su origen y formación, ya que en la literatura ha sido poco discutida su relación con los estuarios. Fagherazzi y Du (2008) proponen un modelo en el cual se estima una fase de formación, resultante del derrame del flujo de tsunami sobre la ribera, y otra posterior, donde el flujo de retorno ensancha la incisión inicial, retrabajándola fruto del aumento de la fuerza erosiva principalmente por gravedad.

Se destaca que el estudiar las consecuencias geomorfológicas de los tsunamis implica el considerar puntos de definición tanto para sus efectos directos, como también para los indirectos. La alta disponibilidad de sedimento suelto y la presencia de morfologías erosionadas, relacionadas con los conjuntos morfológicos no afectados de manera directa, dan como resultado un entramado complejo y de rápida evolución. El notorio aumento de la actividad superficial en el campo dunar después de la ocurrencia del tsunami, puede deberse a distintos factores, siendo una de los principales la rápida devolución del sedimento al sistema, luego de ser erosionada desde la playa y las mismas dunas.

Todos estos cambios y diferenciaciones espaciales pudieron ser constatados gracias a la utilización de imágenes satelitales, mediante un análisis multitemporal. Esta herramienta demostró ser de gran utilidad para la el estudio de la geomorfología de tsunamis y los cambios indirectos propiciados por este fenómeno.

## CONCLUSIONES

El litoral arenoso ubicado en la zona de "La Trinchera" ha mostrado importantes cambios producto del terremoto y tsunami de Chile de 2010. Herramientas como las imágenes satelitales demostraron ser de gran utilidad para el estudio de sus efectos directos e indirectos.

## AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada en el marco de los proyectos Fondecyt Nº 1150321.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Atwater, B.; Cisternas, M.; Yulianto, E.; Prendergast, A.; Jankaew, K.; Eipert, A.; Starin F.; Warnakulasuriya I.; Tejakusuma, I.; Schiappacasse, I.; Sawai, Y. 2013. The 1960 tsunami on beach-ridge plains near Maullín, Chile: Landward descent, renewed breaches, aggraded fans, multiple predecessors. **Andean geology**, 40(3): 393-418.
2. Araya, C. 2010. Morfogénesis evolutiva y sedimentología del sistema de dunas costeras de La Trinchera, región del Maule. Memoria para optar al Título de Geógrafo., Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. 86 pp. Inédito.
3. Araya-Vergara, J. y Araya, C. 2012. Genetic relationships between beach ridge plain and superimposed dunes (Maule region, Chile). En Congreso Geológico Chileno, 13o, Antofagasta, Chile, 05-09 Agosto 2012: 680-682.
4. Dawson, A. 1994. Geomorphological effects of tsunami run-up and backwash. **Geomorphology**, 10: 83-94.
5. Fagherazzi, S. y Du, X. 2008. Tsunamigenic incisions produced by the December 2004 earthquake along the coasts of Thailand, Indonesia and Sri Lanka. **Geomorphology**, 99: 120-129.
6. Geer, 2010. "Geo-engineering Reconnaissance of the 2010 Maule, Chile Earthquake," report of NSF-Sponsored GEER Association Team, J. Bray & D. Frost, eds., http://www.geerassociation.org/.
7. Gelfenbaum, G. y Jaffe, B., 2003. Erosion and sedimentation from the 17 July, 1998 Papua New Guinea tsunami. **Pure and Applied Geophysics**, 160: 1969-1999.
8. Goff, J.; Lane, E; Arnold, J. 2009. The tsunami geomorphology of coastal dunes. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 9: 847-854.
9. Kitamura, N.; Kotaka, T.; Kataoka, J. 1961. Ofunato-Shizugawa chiku (region between Ofunato and Shizugawa), in Geological Observations of the Sanriku Coastal Region Damaged by Tsunami due to the Chile Earthquake in 1960, edited by E. Kon'no, Contrib. Inst. **Geol. Paleontol. Tohoku Univ.**, 52, 28-40.

10. Maramai, A. y Tinti, S. 1997. The 3 June 1994 Java tsunami: a post-event survey of the coastal effects. **Natural Hazards**, 15 (1): 31-49.
11. Morton, R.; Gelfenbaum, G.; Buckley, M.; Richmond, B. 2011. Geological effects and implications of the 2010 tsunami along the central coast of Chile. **Sedimentary Geology**, 242: 34-51.
12. Narayana, A.; Tatavarti, R.; Shinu, N.; Subeer, A. 2007. Tsunami of December 26, 2004 on the southwest coast of India: post-tsunami geomorphic and sediment characteristics. **Marine Geology**, 242: 155-168.
13. Paris, R.; Wassmer, P.; Sartohadi, J.; Lavigne, F.; Barthomeuf, B.; Desgages, É.; Grancher, D.; Baumert, P.; Vautier, F.; Brunstein, D.; Gomez, C. 2009. Tsunamis as geomorphic crisis: lessons from the December 26, 2004 tsunami in Lhok Nga, west Banda Aceh (Sumatra, Indonesia). **Geomorphology**, 104: 59-72.
14. Richmond, B.; Szczuciński, W.; Chagué-Goff, C.; Goto, K.; Sugawara, D.; Witter, R.; Tappin, D.; Jaffe, B.; Fujino, S.; Nishimura, Y.; Goff, J. 2012. Erosion, deposition and landscape change on the Sendai coastal plain, Japan, resulting from the March 11, 2011 Tohoku-oki tsunami. **Sedimentary Geology**, 282: 27-39.
15. Shi, S.; Dawson, A.; Smith, D. 1993. Geomorphological impact of the Flores tsunami of 12th December, 1992, In: Tsunami '93, Proc. IUGG/IOC **Int. Tsunami Symp.**, Wakayama, Japan, August 23-27, 1993: 689-596.
16. Umitsu, M.; Tanavud, C.; Patanakanog, B. 2007. Effects of landforms on tsunami flow in the plains of Banda Aceh, Indonesia, and Nam Khem, Thailand. **Marine Geology**, 242: 141-153.

**XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**
**9, 10 y 11 de Septiembre de 2015. Valparaíso, Chile.**

# IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS ARRECIFES DE CORAL EN LA RESERVA MARINA DE TRES PALMAS (RINCON-PUERTO RICO)

**Méndez-Lázaro, P.[1]; Norat-Ramirez, J.; Hernández-Delgado, E.**
[1]**Universidad de Puerto Rico, Escuela Graduada de Salud Pública, Departamento de Salud Ambiental. Recinto de Ciencias Médicas PO Box 365067, San Juan, Puerto Rico 00936-5067. (pablo.mendez1@upr.edu) (jose.norat.@upr.edu) (lyz_a_c@yahoo.com)**
[2]**Universidad de Puerto Rico, Center for Applied Tropical Ecology and Conservation Coral Reef Research Group P.O. Box 23360 San Juan, Puerto Rico 00931-3360 coral_giac@yahoo.com**

**RESUMEN**

Este proyecto tiene el propósito de determinar el impacto de la contaminación bacteriológica de origen disperso en los arrecifes de coral (*Acropora palmata*) de la Reserva Marina Tres Palmas localizada en el municipio de Rincón, al oeste de Puerto Rico. La Reserva Marina tiene una superficie de 83 hectáreas en forma rectangular con una orientación de norte a sur. Incluye 1180 metros lineales de costa y el límite marítimo se extiende hasta los 20 metros de profundidad, delimitado por el contorno.

Se llevaron a cabo 12 viajes de campo a lo largo del año y en los cuales se tomaron muestras de calidad de agua. Fueron seleccionadas nueve estaciones de monitoreo en agua marina; cuatro de ellas dentro de la reserva marina y cinco de ellas fuera de la misma. Esas localidades se seleccionaron usando SIG y se localizaron en el campo con GPS. Se tomaron muestras agua, fueron transportadas y procesadas en el laboratorio del Departamento de Salud Ambiental para determinar la presencia de Coliformes Fecales (FC) en aguas marinas y la presencia de Enterococos (E).

Se construyó una caracterización hidrológica del área de estudio utilizando los SIG (ArcGIS 9.3), la herramienta HEC-GeoHMS v.5.0 *Geospatial Hydrologic Modelling Extension* del Cuerpo de Ingeniero de los EEUU, el modelo de elevación digital (DEM por sus siglas en inglés), las bases de datos del *National*

*Hydrography Dataset* (NHD) y *National Landcover Dataset*. Esta caracterización nos permitió identificar y construir los límites de las sub-cuencas cercanas a la reserva marina donde existen fosas sépticas y donde las comunidades no cuentan con servicio de acueductos para las aguas usadas. Para la caracterización de corales se han utilizado transectos circulares con radio de 5.6m (área= 100 m2 c/u) en distintos puntos de la reserva para evaluar el impacto ecológico de la contaminación bacteriológica.

Los datos colectados incluyen diversos parámetros de la especie (ej. largo, ancho y alto máximo, % cobertura tejido vivo, % mortandad antigua, % mortandad reciente, % blanqueamiento (si alguno), % frecuencia enfermedades, abundancia de damiselas, caracoles coralivoros y gusanos de fuego (coralivoros) y cualquier otra condición. Los análisis estadísticos mostraron una asociación significativa entre las fuentes no puntuales de contaminación fecal, la calidad de las aguas costeras y el impacto en los sistemas de arrecifes de coral.

**Palabras clave**: Arrecifes de coral, calidad de agua, cuencas hidrográficas, reserva marina, Puerto Rico.


XV
CONFIBSIG