

Análisis Geográficos

REVISTA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

Número 53 pp. 1-148, 2017. Bogotá, Colombia. ISSN. 0120-8551



Tecnologías de la información para la consolidación ambiental y productiva del territorio



Análisis Geográficos

REVISTA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

Número 53, 148 p., Bogotá, Colombia, 2017

| JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN

| Presidente de la República de Colombia

| ÓSCAR NARANJO

| Vicepresidente de la República de Colombia

| JUAN ANTONIO NIETO ESCALANTE

| Director General Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

CONSEJO DIRECTIVO

| Dr. MAURICIO PERFETTI DEL CORRAL

| Director General del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
| Presidente del Consejo Directivo

| Dr. LUIS FERNANDO MEJÍA

| Director General del Departamento Nacional de Planeación (DNP)

| Dr. LUIS CARLOS VILLEGAS ECHEVERRI

| Ministro de Defensa Nacional

| Dr. GABRIEL VALLEJO LÓPEZ

| Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

| Dr. JUAN GUILLERMO ZULUAGA CARDONA

| Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

| Dr. JUAN ANTONIO NIETO ESCALANTE

| Director General del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

| Dra. DIANA PATRICIA RÍOS GARCÍA

| Secretaria General del Instituto Geográfico Agustín Codazzi





COMITÉ CIENTÍFICO SEMGEO 2017

Héctor Mauricio Ramírez Daza
Adriana María Rojas Vargas
Luis Alexander Vergara Garzón
Héctor Ariel Perilla García
Carlos Andrés Franco Prieto
Carlos Iván Rivera Parra
Norma Carolina Espejo Delgado
David Arenas Herrera
Elena Posada
Henry Omar Augusto Castellanos Quiroz
Leonor Aydé Rodríguez Rojas
Lina María Parada Alzate
Luz Ángela Castro Nungo
María Antonieta Pérez Umaña
Nelson Andrés Nieto Valencia
Oscar Ibán Herrera Moreno
Osman Javier Roa Melgarejo
Oswaldo Ibarra Ortiz
Serena Sarah Weber
Sergio Alejandro Rojas Barbosa
Victoria Daniela Camacho Ochoa
Yesenia Vargas Tejedor

COMITÉ ORGANIZADOR SEMGEO 2017

*Centro de Investigación y
Desarrollo en Información
Geográfica (CIAF)*

Elena Posada
Fredy Gutiérrez
José Medardo Castillo
Evy Jaramillo
Jaime Silva
Gina Marcela Popayán
Yesenia Vargas
Sarah Weber
Lina Parada
Diego Bustamante
Juan Pablo Mahecha
Sandra Rojas
Luz Ángela Uscategui
Doris María Rojas
María Libia Ortiz
Adriana María Rojas

*Subdirección de Geografía
y Cartografía*
Luz Ángela Castro
Francisco Mora

Subdirección de Agrología
Jorge Sánchez
Janeth González

*Oficina Asesora de
Planeación*
Andrea del Pilar Moreno

Difusión y Mercadeo
Alba Giraldo
Yudy Morón

Talento Humano
Jana Carvajal
Elizabeth García

COMITÉ EDITORIAL

■ **Juan Antonio Nieto Escalante**
Director General

■ **Diana Patricia Ríos García**
Secretaría General

■ **Marco Tulio Herrera Sánchez**
Subdirector de Geografía y Cartografía

■ **Germán Darío Álvarez Lucero**
Subdirector de Agrología

■ **Laidy Yadira Escamilla Triana**
Subdirectora de Catastro

■ **Andrea del Pilar Moreno Hernández**
Jefe Oficina Asesora de Planeación

■ **Héctor Mauricio Ramírez Daza**
Jefe Oficina CIAF

■ **Paola Méndez Hernández**
Jefe Oficina de Difusión y Mercadeo

EDICIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO

■ **Luz Ángela Uscategui Cuellar**
Correctora de estilo, Oficina CIAF

■ **Luis Carvajal Celemín**
Asesor Dirección General

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

■ **Juan Pablo Mahecha Sierra**
Diseñador Gráfico, Oficina CIAF

■ **Alba Giraldo**
Oficina Difusión y Mercadeo de la Información

*Imagen de portada: foto de la NASA en Unsplash

El comité editorial agradece a los pares evaluadores que hicieron posible este volumen: Vianey A. Muñoz López (magíster en Geomática, Universidad Nacional de Colombia), Pedro Karin Serrato Álvarez (magíster en Geografía, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC]), Leonor Aydé Rodríguez Rojas (ingeniera Civil, Universidad Católica de Colombia; magíster en Administración, Universidad de la Salle) y Elena Posada (MSc en Ingeniería Forestal, Academia Forestal de Leningrado, Kirov).



NOTA DEL EDITOR

Los artículos que se publican en el número 53 de la revista *Análisis Geográficos* fueron presentados en la Semana Geomática 2017 y seleccionados por su valor temático, además de cumplir con la mayor parte de las indicaciones para la presentación de documentos en extenso.

Sin embargo, cabe aclarar que los artículos referidos se prepararon respetando los originales enviados por los autores, salvo adecuaciones a las normas editoriales.

En consecuencia, la responsabilidad de los contenidos y las imágenes empleadas es exclusivamente de los autores y no comprometen al Comité Editorial ni al editor de la revista.

De los artículos aceptados en la revista *Análisis Geográficos*, se entenderá que su autor o autores le ceden a esta los derechos patrimoniales para su publicación en cualquier forma o medio (análogo o digital).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Análisis Geográficos: Tecnologías de la información para la consolidación ambiental y productiva del territorio; Séptima Semana Geomática Internacional / El Instituto. -- Bogotá, N° 53, 2017

148 páginas, ilustraciones, mapas a colores, cuadros (documento electrónico).

*Incluye referencias bibliográficas
Texto bilingüe español-inglés*

*ISSN (impreso) 0120-8551
ISSN (en línea) 2590-7123*

1. Ordenamiento Territorial 2. Parques Nacionales Naturales - Colombia 3. Sistemas de Información Geográfica (SIG) - Aplicaciones 4. Impacto Ambiental 5. Geografía - Enseñanza - Colombia 6. Levantamiento de Suelos - Metodología 7. Paleomegacizalla - Colombia 8. Anomalías Estructurales 9. Caña de Azúcar - Cultivos 10. Magna-Sirgas 11. International Terrestrial Reference Frame (ITRF) 12. Arroz - Cultivo 13. Red Geodésica 14. Río La Plata - Norte de Santander (Colombia) 15. Innovaciones Tecnológicas 16. Barrio Santo Domingo Savio - Medellín (Colombia) - Mapas Históricos

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

Esta revista proporciona un acceso abierto a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global del conocimiento.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons [Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](#).



colombia.igac



@IGACColombia



theIGACTv

TABLA DE CONTENIDO

TABLE OF CONTENTS



Construyendo una sociedad espacialmente habilitada

11

La ciudad: un laboratorio viviente para la enseñanza

Julián David Murillo López

11

The city: a living lab for teaching



Innovaciones en el desarrollo tecnológico y aplicaciones de observación de la tierra para el ordenamiento territorial

17

Elaboración de la leyenda geomorfológica nacional aplicada a los levantamientos de suelos, metodología IGAC

Nestor Javier Martínez Ardila, Héctor Jaime López Salgado,
Wveimar Samacá Torres, Seiry Soleny Vargas Tejedor y
Wilson Fernando Vargas Hernández

17

Elaboration of the national geomorphological legend applied to soil surveys according to IGAC Methodology

25

La paleomegasizalla transversal de Colombia y su relación con anomalías geomorfológicas y estructurales en Antioquia

Hernán Gómez Mejía

25

Paleomegashear transform fault in Colombia in relationship with geomorphology and structural anomalies in Antioquia

35

Estimación de productividad en caña de azúcar desde la percepción remota

César Edwin García, David Montero, Mario
Andrés Soto y Juan Manuel Valencia

35

Estimation of sugarcane yield from remote sensing

51

Actualización e implementación del marco de referencia colombiano MAGNA ITRF2014

Luis Eduardo Gómez Daza

51

Update and implementation of the Colombian reference frame MAGNA ITRF2014

57

Identificación de cultivos de arroz empleando imágenes Sentinel-1

Rafael Ángel Girón Girón y Francisco Luis Hernández Torres

57

Identification of rice crops using Sentinel-1 images



Inventario y monitoreo de recursos naturales

69

Luisa Corredor Gil

Análisis de presiones en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia

69

Pressure analysis in the Natural National Park System of Colombia

87

Jonathan Pinzón Hernández y Fader Eduardo Peña Martín

Modelo de Almacenamiento Geográfico de la ANLA para la Gestión Espacial del Impacto Ambiental

87

ANLA's Geographic Data Store Model for Spatial Management of Environmental Impact

95

Nury Yadira Suárez, María Esther Rivera y Jesús Delgado

Transporte de sedimentos en el río La Plata, Mutiscua, Norte de Santander, zona de influencia de la cabecera Municipal

95

Sediments transportation in the La Plata river, Mutiscua, Norte of Santander, municipality influence area



Sistemas soporte de decisiones para la gestión territorial: SIG e IDE

102

Andrea Onelia Rodríguez, Douglas A. Gómez-Latorre y Juan Carlos Martínez Medrano

Sistema experto MAPA (SE-MAPA) para el soporte de decisiones en la gestión del riesgo agroclimático

102

Experte system MAPA as a decision support for agroclimatic risk management



Propuestas innovadoras de semilleros de investigación

112

Johan Sebastián Ruiz Orozco, Catherine Osorio, Leiidy Yulied Sepúlveda Goez y Daniela Carvajal Mazo

Cartografía histórica y social para la apropiación y el empoderamiento del territorio y la construcción social del conocimiento en el barrio Santo Domingo Savio de Medellín

112

Historical and social cartography for the appropriation and the empowerment of the territory and the social construction of knowledge in the Barrio Santo Domingo Savio at Medellín

121

Diana Carolina Hurtado Pulido

Análisis de contaminación de PM2.5 a través de herramientas geográficas en la ciudad de Bogotá

121

Pollution analysis of PM2.5 using geographic tools in the city of Bogotá

PRESENTACIÓN

La Semana Geomática: aportes al desarrollo territorial

El desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones y su aplicación al estudio de la tierra han causado un gran impacto sobre la captura, el procesamiento, la interpretación y la difusión de la información geográfica, así como en la forma en que vemos, comprendemos e interactuamos con el territorio. Consecuente con esta realidad, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) realizó la 7ª versión de la Semana Geomática Internacional, que se celebra cada dos años y es organizada por el Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica (CIAF).

Durante cinco días, entre el 14 y el 18 de agosto de 2017, se realizaron conferencias y talleres para la transferencia de conocimiento y el intercambio de ideas en torno a las tecnologías de la información para la consolidación ambiental y productiva del territorio. Nos complace haber garantizado la continuidad de estos espacios académicos con esta edición del evento. Fue una nueva oportunidad muy provechosa para el diálogo en torno a la evolución de la geomática, sus aplicaciones y sus aportes para la creación de mejores condiciones de bienestar en la población y mayores niveles de gobernanza del territorio.

El número 53 de la revista *Análisis Geográficos* es el primero de una serie que contendrá los artículos derivados de las ponencias presentadas, así que este número y los siguientes estarán estructurados de acuerdo con los ejes temáticos que se abordaron en la Semana Geomática 2017.

El volumen se inicia con el eje “Construyendo una sociedad espacialmente habilitada”, con un artículo escrito por Julián David Murillo, profesor del área de historia, geografía y ciencias políticas y económicas, en el que se abordan algunas problemáticas sobre la enseñanza de la geografía y la generación de aprendizajes significativos que aporten a la construcción de una mejor sociedad.

En el eje temático “Innovaciones en el desarrollo tecnológico y aplicaciones de observación de la tierra para el ordenamiento territorial” se presentan cinco artículos: Néstor Javier Martínez, Héctor Jaime López, Wveimar Samacá, Seiry Soleny Vargas y Wilson Fernando Vargas, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se centran en la elaboración de la leyenda geomorfológica nacional aplicada a los levantamientos de suelos y la metodología del IGAC empleada; el interés en las anomalías geomorfológicas y estructurales en Antioquia es la temática de Hernán Gómez Mejía, especialista en fotointerpretación aplicada a geología, en su artículo dedicado a la paleomegacizalla transversal de Colombia; el artículo de César Edwin García, David Montero, Mario Andrés



Soto y Juan Manuel Valencia presenta el trabajo realizado en el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) para estimar la productividad de los cultivos desde la percepción remota; la contribución de Luis Eduardo Gómez Daza, ingeniero catastral y geodesta, está dedicada al proceso adoptado por el IGAC para actualizar e implementar el marco de referencia colombiano MAGNA ITRF2014. Este apartado finaliza con el trabajo de Rafael Ángel Girón y Francisco Luis Hernández, del Grupo de Investigación GIPER, de la Universidad del Valle, que abordan la identificación de cultivos de arroz desde la percepción remota, para lo cual emplean imágenes Sentinel-1.

En el eje “Inventario y monitoreo de recursos naturales”, Luisa Corredor, especialista en geomática, analiza las presiones en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia a partir del monitoreo de coberturas de la tierra que la entidad realiza desde el 2006; la creación del modelo de almacenamiento geográfico para los proyectos que son evaluados en los diferentes sectores de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) es el tema abordado por Jonathan Pinzón y Fader Eduardo Peña, especialistas en SIG, mientras que Nury Suárez, María Esther Rivera y Jesús Delgado, especialistas en ingeniería ambiental, hidrología y geotecnia, presentan los resultados de la investigación en la cual identificaron y analizaron los principales factores que intervienen en el transporte de sedimentos en el río La Plata, en Norte de Santander.

En el cuarto eje, “Sistemas soporte de decisiones para la gestión territorial: SIG e IDE”, tenemos un artículo de Andrea Rodríguez, Douglas Gómez-Latorre y Juan Carlos Martínez en el cual presentan la herramienta tecnológica SE-MAPA, creada por Corpoica como sistema de apoyo a la toma de decisiones agroclimáticamente inteligentes. Por último, tenemos las “Propuestas innovadoras de semilleros de investigación”: en un ejercicio que busca la apropiación y el empoderamiento del territorio y la construcción social del conocimiento, Johan Ruiz, Catherine Osorio, Leidy Sepúlveda y Daniela Carvajal, de la Universidad Autónoma Latinoamericana, presentan su experiencia sobre cartografía histórica y social en el barrio Santo Domingo Savio de Medellín. Cierra este número el análisis de contaminación de partículas en suspensión de tamaño inferior a 2,5 micras o PM 2.5 realizado a través de herramientas geográficas en la ciudad de Bogotá por Diana Carolina Hurtado, de la Universidad Distrital.

Esperamos que esta primera selección de artículos sirva como estímulo para continuar investigando en temas relacionados con la geomática, ya que se trata de valiosos aportes para la transformación del territorio en la búsqueda de un mayor desarrollo económico y social, en términos sostenibles.

Juan Antonio Nieto Escalante

Director General

Instituto Geográfico Agustín Codazzi



INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

Información
**agrológica, catastral,
geográfica y de datos
espaciales** al servicio de la
construcción de un **nuevo país**

Visítanos en: www.igac.gov.co



IgacColombia



ThelGACTV



@IgacColombia



La ciudad: un laboratorio viviente para la enseñanza

The city: a living lab for teaching

Julián David Murillo López¹



Cómo citar este artículo: Murillo López, J. (2017). La ciudad: un laboratorio viviente para la enseñanza. *Análisis Geográficos*, 53, 11-16.

Resumen

El mundo de la pedagogía contemporánea se ha complejizado de tal manera que el desarrollo de competencias para la vida y la experimentación de modelos dentro de las realidades cotidianas son los principales objetivos de la educación actual.

La geografía hoy día afronta grandes problemáticas desde su enseñanza debido a las nuevas corrientes que han desarrollado las ciencias sociales para su aplicación: pasar de una geografía técnica a una geografía más humanista y aplicada es el principal desafío de los educadores. Por ello, nuevas estrategias como la participación ciudadana, la interpretación de realidades cartográficas, la percepción de espacios urbanos y rurales, además de la experimentación directa con la realidad permiten desarrollar un aprendizaje más significativo en los estudiantes de hoy, dándole a los educadores una garantía mucho más palpable a la hora de construir aprendizajes.

Desde las escuelas urbanas, las ciudades se convierten en una gran herramienta que posibilita el contacto con problemas territoriales, sociales, ambientales, económicos y hasta políticos, conflictos que con solo la percepción son detectables y, desde las juventudes, importantes para el desarrollo de competencias ciudadanas.

En la ciudad de Manizales, los intentos por formar a los estudiantes en competencias ciudadanas han tomado rumbos muy positivos que se generan desde la enseñanza de la planificación territorial y la transversalización con ramas de la geografía física y la geografía humana. Por ello es necesario, en los encuentros académicos, compartir estrategias que formen a los jóvenes y aporten constantemente a la construcción de una mejor sociedad.

Palabras clave: enseñanza, geografía, estrategias, desarrollo, experiencia.

¹Licenciado en Ciencias Sociales, Universidad de Caldas. Docente del área de historia, geografía y ciencias políticas y económicas en el Colegio Franciscano Agustín Gemelli de Manizales. Correo: juliandavid.lopez212@gmail.com





Abstract

The contemporary pedagogy world has become complexed in the way on which the development of competences for life and the experimentation of models inside of everyday realities, are the main objective in the current education.

Geography today faces great issues from its teaching due two new tendencies which have developed the social studies to its application, going from technical geography to one more humanistic and able to be applied, it is the main challenge for teachers. For that reason, new strategies as citizen participation, interpretation of cartography realities, perception of urban and rural spaces, plus the direct experimentation with reality allows developing a new more significant learning in today`s students, giving to the teachers a guarantee more confident and realistic to the time of building new learnings.

For urban schools, the city becomes a great tool that makes possible the touch witch issues on territory, social life, environment, economic and even, politics, issues that are easily detectable for the youth who are really important for the development of citizen competences.

In the city of Manizales the tries to educate students in competences have makes very positive routes, in which territorial planning and trasverzalitation are allowed with branches on physical geography and human geography. For this reason it is necessary to share strategies in academic meeting to from the youth, so they can give their ideas to the building of a better society.

Keywords: *teaching, geography, strategies, development, experience.*



Nuestra derrota estuvo siempre implícita en la victoria ajena; nuestra riqueza ha generado siempre nuestra pobreza para poder alimentar la prosperidad de otros: los imperios y sus caporales nativos. En la alquimia colonial y neocolonial, el oro se transfigura en chatarra, y los alimentos se convierten en veneno.

Eduardo Galeano

Introducción

Los problemas territoriales son evidencia de la falta de apropiación de nuestro espacio, y la incapacidad de reconocer nuestra riqueza ha hecho de los lugares que se habitan sitios sin forma para el albergue de individuos; por ello el recurso del que dependemos para transformar nuestro medio geográfico se limita a la posibilidad de conocer nuestra tierra para descubrir nuestros orígenes y nuestras potencialidades.

La enseñanza de la geografía hoy día en Colombia atraviesa por serias dificultades, sus orígenes son diversos y las soluciones dependen de nuestra capacidad de imaginar y de transformar nuestras realidades. Por ello el recurso educativo surge como manifiesto para alcanzar una Colombia espacialmente habitable.

Desarrollo teórico y metodológico

En el marco de las corrientes humanistas, la geografía se permea del análisis de las poblaciones y su impacto desde diversos espacios y actividades. El imaginario con respecto a la enseñanza de la geografía en Colombia es limitado debido a la novedad de las reformas curriculares en las instituciones de educación superior que responde, de igual manera, a la tradición de enseñanza conceptual vigente en Colombia hasta mediados de los años setenta. Por

ello la necesidad de formación en competencias ha hecho que las necesidades educativas de nuestros estudiantes sean diversas. Los elementos tecnológicos, de igual forma, facilitan el acceso a los medios de información y la memorización se reestructuró con el ideal de crear en el estudiante una conciencia crítica frente a la resolución de problemas.

Si bien con la Ley 115 de 1994 “asistimos a una transformación en el abordaje de las Ciencias Sociales en la escuela, en la cual son los ámbitos conceptuales, los tópicos generadores y las preguntas problematizadoras, las que buscan desarrollar aprendizaje significativo en los estudiantes; los resultados de la investigación muestran que prevalece la estructura tradicional mencionada, con algunos cambios tímidos en el abordaje de la dimensión geográfica en el aula de clase” (Rodríguez, 2010, p. 12). Así mismo, y de acuerdo con el Art. 23 de la Ley 115 (1994), se debe buscar “El conocimiento social llevado a promover la formación de ciudadanos y ciudadanas que comprendan y participen en su comunidad de una manera responsable, justa, solidaria y democrática; mujeres y hombres que se formen para la vida y para vivir en este mundo retador y siempre cambiante” (Ministerio de Educación Nacional, 2002).

Por este motivo, la responsabilidad del maestro es transformar los contenidos memorísticos en conocimientos aplicables, llevar la teoría del aula a una aplicación en





el mundo real, y que el estudiante sienta la necesidad de ser partícipe dentro de su territorio.

La geografía física, dentro del contenido conceptual, es fundamental para entender la composición material del espacio, y la geografía humana posibilita la interpretación del espacio y del hombre como un agente activo dentro del mismo. “En ese sentido, el territorio no es solamente una porción de tierra delimitada con su complejidad biofísica (relieve, condiciones ambientales, biodiversidad). Es, sobre todo, un espacio construido socialmente, es decir, histórica, económica, social, cultural y políticamente” (Sosa Velásquez, 2012, p. 76).

Las herramientas que nos proporciona el mundo exterior le dan sentido a la teoría en el desarrollo del conocimiento científico, dándole interés al estudiante frente a lo que aprenderá, entendiendo la utilidad de lo que se enseña para, de esta forma, convertirlo, dentro de la experiencia, en el gestor de su propio aprendizaje. Por ello, la geografía de hoy día debe tener como base la fundamentación investigativa y la ciudad como tema de interés para el desarrollo de relaciones cívicas se transforman en espacios para dar solución a las problemáticas sociales.

Tradicionalmente, tanto desde la geografía como desde las ciencias sociales en general, se ha identificado al lugar con ámbitos de residencia a través de los cuales, tanto individuos como comunidades, construyen su identidad. Esta concepción del lugar se encuentra a menudo en la base de los discursos políticos centrados en la cuestión del desarrollo local, al que se observa como legítimo, democratizante y como una opción frente a las tendencias globalizantes (Barros, 2000, p. 82).

Por medio de esta plataforma del reconocimiento y la participación de nuestro espacio es que se posibilitará la construcción de una identidad común desde la educación, en donde términos como *planificación territorial*, *geografía urbana* y *participación ciudadana* no serán conceptos alejados en las escuelas, sino que representarán vivencias para los estudiantes que los llevará a la formación del liderazgo y del conocimiento epistemológico sobre las ciencias del espacio, abriendo no solo la mente a nuevas posibilidades de pensar nuestro territorio, sino también a pensar en nuevas formas de hacer de nuestro territorio un lugar en el cual la optimización de las zonas urbanas y rurales potencien el desarrollo del país.

Desarrollar la capacidad de pensar nuestro espacio nos lleva a transformar nuestras percepciones, poniendo en el mundo nuevos conocimientos de la realidad, imaginando alternativas para mitigar problemas medioambientales y, de la misma manera, a repensar estrategias que hagan de las zonas donde habitan poblaciones vulnerables escenarios donde el bienestar social realmente cubra estas poblaciones, con inversiones sociales y ayuda óptima del Estado. A su vez, ofrecer también maneras de evitar que las líneas tan marcadas entre ricos y pobres siga aumentando en nuestro país, y así hacer de nuestro territorio el posibilitador para el cambio de mentalidad referente a la enseñanza de la geografía en las escuelas.

“No somos solo espectadores sino actores que compartimos el escenario con todos los demás participantes. Nuestra percepción del medio ambiente no es continua, sino parcial y fragmentaria. Casi todos los sentidos entran en acción y la imagen es realmente una combinación de todos ellos” (Lynch, 1959). Al ser actores directos dentro de nuestro espacio, no estamos deter-





minados a vivir en un ambiente que imponga límites hacia las percepciones; por el contrario, buscamos que nos lleve a mejorar nuestros hábitos y nuestras relaciones con los demás, impidiendo los conflictos y poniendo barreras frente a una educación que llene de conocimientos de utilidad a nuestros estudiantes.

Experiencia en campo

Los intentos por transformar las realidades de los estudiantes me llevaron a pensar en formas de hacer palpable el conocimiento del aula con experiencias significativas en las realidades. Por ello, utilizar la ciudad como espacio de encuentro del conocimiento llevó a las estudiantes de grado noveno del Colegio de Nuestra Señora del Rosario en Manizales a identificar las problemáticas de la geografía urbana de la ciudad y a examinar, desde la planificación territorial, maneras de transformar las realidades sociales, mitigar problemáticas e imaginar una ciudad funcional en donde las brechas de desigualdad se mitiguen, generando oportunidades para todos y abriendo la posibilidad, desde la educación, de conocernos a nosotros mismo dentro del territorio que habitamos.

En este ejercicio de poder para la apropiación del territorio, actores de distinta procedencia e interés implementan estrategias para afectar, influir, controlar o utilizar el territorio y sus elementos, lo que hace que éste deje de ser un espacio para el ejercicio de la soberanía, tanto del Estado como del pueblo (y sus actores territoriales) en tanto sujeto de la soberanía (Sosa, 2012).

Conclusiones

Las experiencias significativas con la realidad potencializan los contenidos que se generan en las aulas sobre el mundo de la vida. El contacto directo con los fenómenos de estudio permite ampliar las posturas y las realidades desde una mirada científica, entendiendo la utilidad de la geografía y de las realidades desde nuestro espacio, teniendo una postura crítica.

Finalmente, cada uno construye una perspectiva desde sus experiencias, permeándose de las realidades de nuestro espacio geográfico y de las desigualdades que hoy vivimos, tomando posturas y alternativas que permitan mitigar las problemáticas sociales y entender el valor de la planificación territorial para el desarrollo de nuestras relaciones sociales y bienestar para construir una Colombia espacialmente habitable.





Bibliografía

Barros, C. (2000). Reflexiones sobre la relación entre lugar y comunidad. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 37, 81-94. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/download/31726/31560>.

Ley 115 (1994). Por la cual se expide la Ley General de Educación. *Diario Oficial* No. 41.214 del 8 de febrero.

Lynch, K. (1959). *La imagen de la ciudad*. Buenos Aires: Editorial Infinito.

Ministerio de Educación Nacional (2002). *Ciencias Sociales*. Serie Lineamientos Curriculares. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-339975_recurso_1.pdf.

Rodríguez de M., E. (2010). *Geografía conceptual. Enseñanza y aprendizaje de la geografía en la educación básica secundaria*. Recuperado de http://www.geopaideia.com/publicaciones/geog_concept_II.pdf.

Sosa Velásquez, M. (2012). *¿Cómo entender el territorio?* Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Recuperado de <http://www.rebelion.org/docs/166508.pdf>.





Elaboración de la leyenda geomorfológica nacional aplicada a los levantamientos de suelos, metodología IGAC

Elaboration of the national geomorphological legend applied to soil surveys according to IGAC Methodology

Néstor Javier Martínez Ardila¹, Héctor Jaime López Salgado², Wveimar Samacá Torres³, Seiry Soleny Vargas Tejedor⁴, Wilson Fernando Vargas Hernández⁵



Cómo citar este artículo: Martínez Ardila, N., López Salgado, H., Samacá Torres, W., Vargas Tejedor, S. & Vargas Hernández, W. (2017). Elaboración de la leyenda geomorfológica nacional aplicada a los levantamientos de suelos, metodología IGAC. *Análisis Geográficos*, 53, 17-24.

Resumen

La Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) es la responsable de elaborar el inventario de los suelos del país a diferentes escalas cartográficas, proceso que comprende la identificación, delimitación y caracterización de las unidades geomorfológicas como base para establecer y mapear las unidades cartográficas de suelos.

El Grupo Interno de Trabajo (GIT) de Interpretación de la Subdirección de Agrología, como parte de una investigación técnica, elaboró la primera versión de la leyenda nacional de unidades geomorfológicas para ser aplicada en los levantamientos de suelos. La leyenda está soportada en un glosario técnico que contiene las definiciones de las unidades geomorfológicas incluidas. Los dos productos técnicos son una base fundamental para estandarizar la producción de la cartografía geomorfológica que requiere el IGAC.

El proceso de construcción de la leyenda geomorfológica nacional siguió las siguientes etapas: 1) identificación y caracterización de las unidades geomorfológicas presentes en el territorio nacional; 2) clasificación de las diferentes unidades en una estructura jerarquizada; y 3) descripción de las unidades geomorfológicas en un glosario técnico.

Con base en las especificaciones de la Metodología de Levantamiento de Suelos del IGAC, se definieron en la leyenda los grupos de geoformas que pueden ser usadas para elaborar la cartografía geomorfológica a las escalas 1:100.000 y 1:25.000. Esta cartografía es insumo para los estudios de suelos generales y semidetallados respectivamente. La leyenda geomorfológica nacional y el glosario técnico son parte de la metodología para elaborar cartografía geomorfológica aplicada a suelos que está siendo desarrollada por el IGAC.

Palabras clave: geomorfología, investigación aplicada, cartografía geomorfológica, cartografía de suelos.

¹Geólogo MSc. Subdirección de Agrología, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Correo: njmartinez@igac.gov.co.

²Agrólogo MSc. Subdirección de Agrología, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Correo: hector.lopez@igac.gov.co.

³Geógrafo MSc. Subdirección de Agrología, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Correo: weimar.samaca@igac.gov.co.

⁴Ingeniera Geóloga MSc. Subdirección de Agrología, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Correo: seiry.vargas@igac.gov.co.

⁵Agrólogo MSc. Subdirección de Agrología, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Correo: wvargas@igac.gov.co.



Abstract

The Sub division of Agrology, a branch of Agustín Codazzi Geographic Institute (IGAC), is responsible for drawing up the country's soils inventory at different cartographic scales, a process that includes the identification, delimitation and characterization of the geomorphological units as a basis for establishing and mapping the soils cartographic units.

The Interpretation Internal Working Group of the Sub direction of Agrology developed the first version of the national legend of geomorphological units to be applied in soil surveys, as part of a technical investigation. The legend is supported by a technical glossary containing the definitions of included geomorphological units. The two technical products are fundamental basis for standardizing the production of the geomorphological mapping required by the IGAC.

The construction of the national geomorphological legend had the following stages: 1) Identification and characterization of geomorphological units in the national territory; 2) Classification of the different units in a hierarchical structure; and 3) Description of geomorphological units in a technical glossary.

Based on the specifications of the IGAC Soil Survey Methodology, the groups of geoforms that can be used to elaborate the geomorphological mapping at 1:100.000 and 1:25.000 scales were defined in the legend. This cartography is an input for studies of general and semi-detached soils, respectively. The national geomorphological legend and the technical glossary are part of the methodology to develop geomorphological mapping applied to soils that is being developed by IGAC.

Keywords: *Geomorphology, Applied research, Geomorphological cartography, Soil mapping.*



Introducción

La Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) elabora, por función legal, el inventario nacional de los suelos a diferentes escalas cartográficas. El IGAC, a través de esta subdirección, es la máxima autoridad nacional en los temas relacionados con los levantamientos de suelos y realiza, entre otras funciones, la producción, actualización y documentación estandarizada de los programas y proyectos relacionados con estos.

Para el cumplimiento de su misión, la Subdirección de Agrología desarrolló la metodología para realizar los levantamientos de suelos a diferentes escalas, la cual hace parte de su sistema de gestión de calidad, certificado bajo la norma NTC ISO 9001:2008.

Los levantamientos de suelos generales realizados por el IGAC permitieron conocer la distribución, caracterización y clasificación de los suelos del país. A partir de este conocimiento, se apoyó el proceso de selección de áreas con potencial para el desarrollo de proyectos agropecuarios intensivos, en los cuales se recomendó tener información edafológica más detallada.

Los levantamientos semidetallados han sido utilizados principalmente para apoyar el desarrollo de proyectos agroindustriales y de producción agropecuaria, sin embargo, de acuerdo con las normas de ordenamiento territorial y ambiental vigentes, su aplicación se amplió a la totalidad del territorio nacional, especialmente en aquellas áreas donde se requiere el ordenamiento de las cuencas y el territorio.

Como resultado de las labores adelantadas por la Subdirección de Agrología del

IGAC durante más de seis décadas, actualmente se tiene el 100% del país cubierto con levantamientos generales de suelos a escala 1:100.000. De igual manera, se ha avanzado en un 9,3% del territorio con levantamientos semidetallados, escala 1:25.000, y de un 0,4% de la superficie del país con levantamientos detallados, escala 1:10.000.

La necesidad de información de suelos a escala semidetallada para diferentes regiones es cada vez mayor, debido principalmente al creciente uso que actualmente tiene la información edafológica en los sectores ambiental, minero, público y académico, entre otros. De igual manera, al haberse completado la cartografía de los suelos del país a escala 1:100.000, la Subdirección de Agrología actualmente dedica sus recursos a avanzar en el conocimiento de los suelos a la escala 1:25.000.

Como resultado del trabajo de la Subdirección de Agrología de enfocar los esfuerzos hacia la realización de los levantamientos semidetallados de suelos en diferentes regiones del país, se identificó la necesidad de actualizar la metodología para elaborar la cartografía geomorfológica que sirve de insumo para el mapeo de los suelos. En este sentido, se consideró prioritario poner en concordancia esta metodología con las nuevas tecnologías de la información que actualmente están disponibles en el IGAC.

Desarrollo teórico y metodológico

La realización del inventario de suelos requiere de la geomorfología como un delimitador en el proceso de mapeo de los suelos y como marco de referencia para establecer la génesis de los mismos. De igual manera, la utilización de un sistema jerarquizado de unidades geomorfológi-





cas crea el marco de referencia cartográfico idóneo para el mapeo de los suelos a diversas escalas.

Con base en estas consideraciones, se identificó la necesidad de disponer de una leyenda geomorfológica nacional con enfoque geopedológico que brinde el marco cartográfico para mapear los suelos del país de acuerdo con las especificaciones de la metodología de levantamientos de suelos del IGAC y que permita elaborar cartografía geomorfológica aplicada a los levantamientos de suelos de manera estandarizada y controlada.

Con esta orientación, un grupo de profesionales del IGAC, a través del Grupo de Interpretación de la Subdirección de Agrología, adelantó una investigación que tuvo como objetivo principal la elaboración de la leyenda geomorfológica nacional enfocada a los levantamientos de suelos, que para su desarrollo consideró los siguientes objetivos específicos: a) definir un sistema de clasificación de unidades geomorfológicas; b) definir la estructura de la leyenda geomorfológica y c) definir los conjuntos de unidades para los diferentes niveles de la leyenda.

Diseño metodológico

La construcción de la leyenda geomorfológica nacional consideró una etapa de elaboración del inventario de geoformas, que requirió de la revisión exhaustiva de la información obtenida por la Subdirección de Agrología del IGAC durante varias décadas de realización de levantamientos de suelos por todo el país. De igual manera, se revisó la información geomorfológica y geológica elaborada por diferentes instituciones que abordan las temáticas. De esta manera se hizo el reconocimiento y la identificación de las principales geoformas

a escala 1:100.000 que constituyen el relieve colombiano.

En una siguiente etapa se revisaron y caracterizaron las unidades incluidas en el inventario de geoformas. Para este propósito, mediante técnicas de interpretación digital en 2D y 3D se procesaron diversos productos de sensores remotos, como imágenes ópticas y de radar, fotografías aéreas y modelos digitales de elevación con sus productos derivados. Como resultado de este proceso, fueron caracterizadas las unidades geomorfológicas en las diferentes regiones del país de acuerdo con sus atributos morfológicos, morfométricos, morfogenéticos y morfocronológicos. La caracterización permitió identificar y definir las formas de terreno que constituyen cada una de estas unidades y establecer la leyenda para elaborar la cartografía geomorfológica escala 1:25.000 del país.

Las unidades de la leyenda geomorfológica fueron progresivamente validadas, revisadas y ajustadas con la información proporcionada por los estudios semidetallados de suelos realizados por la Subdirección de Agrología durante los últimos cuatro años en diferentes regiones. De esta manera se llegó a una leyenda definitiva que refleja el nuevo estado de conocimiento de la geomorfología de Colombia en el IGAC. La etapa final comprendió la consolidación del glosario técnico de las unidades geomorfológicas que integran la leyenda nacional.

Criterios técnicos rectores

Para la construcción de la leyenda geomorfológica nacional se definió un conjunto de criterios técnicos que sirvieron de guía metodológica y conceptual, los cuales se describen a continuación:

- Las unidades geomorfológicas que conforman la leyenda y sus defi-



niciones corresponden a conceptos técnicos adoptados y utilizados por el IGAC para efectos de elaborar cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos.

- Para la selección de los términos geomorfológicos adoptados se dio preferencia a los que tienen uso extendido en el país.
- Las características del medio biofísico colombiano fueron consideradas en la definición de las unidades geomorfológicas adoptadas.
- Las unidades geomorfológicas fueron descritas teniendo en cuenta los atributos morfográficos, morfométricos, morfogenéticos y morfocronológicos que apliquen para cada caso.

Clasificación de las unidades geomorfológicas

Para organizar de manera sistemática y jerarquizada las geoformas se utilizó el

marco teórico propuesto por Zinck (2012), que establece un sistema de clasificación de unidades geomorfológicas para realizar levantamientos de suelos (tabla 1). Este sistema de clasificación es el resultado de un procedimiento exploratorio inductivo para segmentar en forma secuencial una porción de la superficie terrestre en seis niveles jerarquizados que pasan de lo general a lo detallado.

Esta estructura teórica fue considerada concordante con los alcances definidos en la metodología de levantamientos de suelos del IGAC (2014) y se tomó como base para la definición de la leyenda geomorfológica nacional, con algunas adaptaciones. El inventario de geoformas fue organizado y estructurado de acuerdo con el sistema de clasificación geomorfológica definido por el IGAC para la elaboración de cartografía geomorfológica para los levantamientos de suelos (tabla 2).

Tabla 1. Sistema taxonómico de las geoformas propuesto por A. Zinck

Nivel	Categoría	Concepto genérico	Definición
6	Orden	Geoestructura	Extensa porción continental caracterizada por su macroestructura geológica
5	Suborden	Ambiente morfogenético	Amplio tipo de medio biofísico originado y controlado por un estilo de geodinámica interna o externa
4	Grupo	Paisaje geomorfológico	Gran porción de terreno caracterizada por sus rasgos fisiográficos
3	Subgrupo	Relieve	Tipo de relieve originado por una determinada combinación de topografía y estructura geológica
		Modelado	Tipo de modelado determinado por específicas condiciones morfoclimáticas o procesos morfogenéticos
2	Familia	Litología	Naturaleza petrográfica de las rocas duras
		Facies	Naturaleza de las formaciones no consolidadas
1	Subfamilia	Forma de terreno	Tipo básico de geoforma caracterizado por una combinación única de geometría, historia y dinámica

Fuente: Zinck (2012).



Tabla 2. Sistema de clasificación de las unidades geomorfológicas aplicado a los levantamientos de suelos Metodología IGAC

Nivel	Categoría	Definición abreviada
5	Paisaje geomorfológico	Amplia porción de terreno caracterizada por la repetición de tipos de relieve
4	Ambiente morfogenético	Tipo general de medio biofísico originado y controlado por la geodinámica
3	Tipo de relieve	Forma que compone la superficie terrestre
2	Material geológico	Material que da origen a las formaciones superficiales que recubren la corteza terrestre
1	Forma de terreno	Unidad geomorfológica elemental determinada por los contrastes morfológicos y morfométricos dominantes

Fuente: IGAC (2017).

Clasificación de las unidades geomorfológicas

Una vez definido el sistema de clasificación de las geoformas aplicado a los levantamientos de suelos según la metodología del IGAC, se procedió a elaborar la estructura de la leyenda geomorfológica nacional para jerarquizar y ordenar las unidades geomorfológicas identificadas en el inventario de geoformas. La estructura de la leyenda geomorfológica nacional propuesta se presenta en la tabla 3.

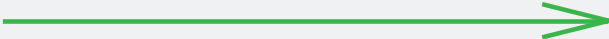
Para elaborar la cartografía geomorfológica, la metodología IGAC (2014) estableció que para los levantamientos generales el nivel de abstracción geomorfológica es el “tipo de relieve”, especificando la litología

y la naturaleza de los sedimentos. Para los levantamientos semidetallados, la metodología especificó que el nivel de abstracción geomorfológica es la “forma de terreno”.

De esta manera, la estructura de la leyenda geomorfológica permite dividir los paisajes por ambientes morfogenéticos y los ambientes, a su vez, permiten agrupar los tipos de relieve. Las unidades de esta categoría corresponden a elementos constitutivos del paisaje y al mismo tiempo representan un conjunto de geoformas elementales.

Las unidades de tipo de relieve son caracterizadas según los grupos de material geológico que las constituyen. Para cada unidad de tipo de relieve caracterizada

Tabla 3. Estructura de la leyenda geomorfológica nacional aplicada a los levantamientos de suelos, Metodología IGAC

Categorías	Leyenda geomorfológica				
	Paisaje geomorfológico	Ambiente morfogenético	Tipo de relieve	Material geológico	Forma de terreno
Nivel de detalle cartográfico	Menor				Mayor
Tipo de levantamiento de suelos			Levantamiento general de suelos*		Levantamiento semidetallado de suelos*

*Tipo de levantamiento de suelos según el IGAC (2014).

Fuente: IGAC (2017).





con el atributo de material geológico se identificaron las formas de terreno que la constituyen y que se convierten en las unidades geomorfológicas elementales de la leyenda.

Conclusiones

Para la leyenda geomorfológica se adoptaron las siete unidades propuestas por Zinck (2012) para la categoría de *paisaje*, las cuales fueron identificadas en la superficie del territorio de Colombia. Las definiciones de las unidades se adaptaron a las características geológicas y geomorfológicas del país.

En el siguiente nivel de la leyenda, se adoptaron cinco ambientes morfogenéticos principales propuestos por Zinck (2012), los cuales fueron identificados en los paisajes geomorfológicos que constituyen el medio biofísico nacional. Al igual que la categoría anterior, las definiciones de las unidades de ambientes morfogenéticos fueron adaptadas a las características geológicas y geomorfológicas del país.

En la categoría de *tipo de relieve* fueron consideradas las geoformas integradas por los relieves y los modelados identificados en el territorio nacional y que comprenden una lista de 133 unidades, las cuales pueden ser agrupadas de acuerdo con el ambiente morfogenético en el que se formaron dentro de cada paisaje.

Para el atributo de material geológico, que califica a la unidad de *tipo de relieve*,

fueron propuestas 26 unidades, en las cuales se presentan tanto los materiales de alteración de las rocas como de las formaciones superficiales no consolidadas.

En el nivel inferior de la leyenda, para la unidad *forma de terreno* fueron identificadas 429 unidades que corresponden a los tipos de relieve previamente reportados. Para la leyenda geomorfológica se identificaron, para cada unidad de tipo de relieve, las formas elementales que la componen.

Con ayuda de los resultados obtenidos en el proceso de investigación, se consolidó la implementación de una metodología para elaborar cartografía geomorfológica aplicada a suelos de acuerdo con la metodología del IGAC.

El proceso de implementación de la metodología ha sido respaldado con la conformación de un equipo de intérpretes multidisciplinario para elaborar cartografía geomorfológica aplicada a suelos de manera estandarizada y controlada. Esta cartografía temática puede tener potenciales aplicaciones en otros sectores de interés nacional, con las debidas consideraciones técnicas.

Se consolidó la primera versión de la leyenda nacional de unidades geomorfológicas para elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a suelos escalas 1:100.000 y 1:25.0000 y la primera versión del glosario técnico de las unidades geomorfológicas que integran la leyenda.





Bibliografía



Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). Metodología Levantamiento de Suelos M40100-01/14V2. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2017). Metodología Elaboración de Cartografía Geomorfológica aplicada a Levantamientos de Suelos M40100-02/17.V1. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología.

Zinck, J. A. (2012). *Geopedología: elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. The Netherlands: Enschede, ITC. Special Lecture Notes Series. Recuperado de https://www.itc.nl/library/papers_2012/general/zinck_geopedologia_2012.pdf.





La paleomegacizalla transversal de Colombia y su relación con anomalías geomorfológicas y estructurales en Antioquia

Paleomegashear transform fault in Colombia in relationship with geomorphology and structural anomalies in Antioquia

Hernán Gómez Mejía¹



Cómo citar este artículo: Gómez Mejía, H. (2017). La paleomegacizalla transversal de Colombia y su relación con anomalías geomorfológicas y estructurales en Antioquia. *Análisis Geográficos*, 53, 25-34.

Resumen

La paleomegacizalla transversal de Colombia corresponde a una zona reactivada del basamento ígneo-metamórfico representada por fallas sinextrales con rumbo NW-SE, que afectan y desplazan a nuestras cordilleras y valles interandinos orientados NE-SW. El Batolito Antioqueño en la cordillera Central presenta rasgos propios de fallas sinextrales y transformantes, investigadas desde los años sesenta, las cuales desplazaron el curso original de los ríos Cauca y Medellín, dando origen a los valles de Aburrá y Rionegro durante la Orogenia Andina: las anomalías paleohidrogeomorfológicas y estructurales investigadas mediante fotografías aéreas, pancromáticas, Vexcel y sensores remotos indican que este cuerpo ígneo del Cretáceo fue rotado en sentido dextral por efecto de fallas sinextrales investigadas como una aplicación del Proyecto Interinstitucional del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Convenio No. 9199 2012-2014.

Palabras clave: batolito, anomalías paleohidrogeomorfológicas, anomalías estructurales, sinextral, dextral, fallas transformantes del basamento, sistema de fallas, knickpoint, tonalítico.

¹MSc en Fotointerpretación Aplicada a Geología. Profesor Asociado del Centro de Investigación y Desarrollo en información Geográfica (CIAF) del IGAC (retirado). Correo: hergomej64@yahoo.com.





Abstract

The Paleomegashear transform fault of Colombia corresponds to a reactivated zone of the igneous and metamorphic rock basement, represented by sinextral fault system with NE-SW trend that were affecting our ancestral ranges and interandean valleys with NE-SW trend. The Antioquian batholith in the central range shows a display of sinextral and transform faults, which were investigated since the 60s; this faults displaced the Cauca and Medellín rivers, originating the Aburrá and Rionegro valleys during the Andean orogeny: these paleohydrogeomorphological and structural anomalies, investigated using aerial panchromatic and Vexcel photographs, and remote sensing images, which are showing that this cretaceous igneous complex was rotated in dextral way by the sinextral transform fault system, as an application of the Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia Project 2012-2014, Collective agreement No. 9199.

Keywords: *batholith, anomalies, paleohydrogeomorphologic, structural, sinextral and dextral faults, basement transform faults, fault system, nickpoints, tonalithic.*



Introducción

La paleomegacizalla transversal de Colombia (Gómez, 1991) está conformada por un sistema de fallas transformantes del basamento con orientación regional NW 10° - 60° SE, las cuales han seccionado y desplazado a nuestras tres cordilleras y valles interandinos orientados N 10° - 30° E, que se han venido investigando con sensores remotos a partir de la década de los años sesenta. En este artículo se expone cómo los rasgos estructurales que controlan la hidrografía del Batolito Antioqueño en la cordillera Central permiten comprobar, mediante interpretación de fotografías aéreas y control de campo a escala 1:25.000 (1966, 1967 y 2011), que el Sistema de Fallas de Romeral, el cual separa las cortezas oceánica y continental, ha sido desplazado sinextralmente 50 km, y su principal testigo es el río Cauca. El valle del río Magdalena y la cordillera Oriental, pasando por la parte sur de la Sabana de Bogotá, están desplazadas sinextralmente por 45 km, pero estos resultados se presentarán en un segundo artículo, el cual permitirá confirmar la real expresión y existencia de esta megaestructura.

La disposición del Batolito Antioqueño del Cretáceo, en relación con las áreas periféricas, indica que existe un control tectónico e hidrográfico ejercido por fallas con orientaciones NW y NE, las cuales modelaron el paisaje cuando este intruyó rocas más antiguas del Precámbrico y el Paleozoico al reactivarse las fallas transformantes del basamento con orientaciones N 10° - 30° - 45° W presentes entre los dos sistemas de fallas, de Romeral al W y Palestina al E. La fuerte compresión ejercida por las placas Suramericana, Nazca, Cocos y Caribe sobre esta unidad y los desplazamientos sinextrales de los batolitos del Triásico, en relación con el Antioqueño, apoyan esta evidencia.

El Marco Geotectónico de Colombia (Mapa modificado de Kellogg et al., 1983, Lonsdale et al. y Pennington, 1981, en Ingeominas, 1988) indica que en el punto triple de las placas se genera una tectónica compresiva con deformación sobre una zona de 600 km de ancho sobre la cual produjo un acortamiento significativo, desplazamiento y seccionamiento diferencial en la disposición actual de nuestras tres cordilleras. El Sistema de Fallas de Romeral es sinextral y define la unión entre este y la falla de Cauca-Almaguer (adaptado de Freymueller, Kellogg & Vega, 1993) y se encuentra desplazado sinextralmente del de Sonsón, de edad triásica (Aspden, McCourt & Brook, 1987); hacia el occidente comprime el Terreno Puquí (Ingeominas, 1986). Las acreciones sucesivas en Colombia indicadas en el artículo "Terrenos alóctonos de los Andes colombianos: explicación de alguna paradojas geológicas", de Restrepo y Toussaint (1989), relacionadas con las formaciones La Soledad y Quebrada Grande plantean interrogantes sobre su ubicación, así como sobre la continuidad de los límites que separan los terrenos Cuna, Tahamí (cordillera Central) y Chibcha hacia el norte del país: la fragmentación y rotación del Batolito Antioqueño explica estos interrogantes.

Desarrollo teórico y metodológico

En Antioquia predominan rocas metamórficas, ígneas, ultrabásicas, una secuencia vulcano-sedimentaria, cuerpos graníticos intrusivos y depósitos de vertiente y aluviales (Maya & González, 1995), conjuntamente con esquistos, anfibolitas y gneises, fue obducida durante el Cretácico por cuerpos alargados de composición dunítica, basaltos y sedimentos de origen marino, los cuales fueron afectados tectónicamente (Restrepo & Toussaint, 1989) y finalmen-





te intruídos por tonalitas, granodioritas triásicas y cretácicas de composición ácida a intermedia (Aspden & McCourt, 1986; McCourt, Aspden & Brook, 1984). La Geología de Antioquia y Caldas (Ingeominas, 1972) realizada a escala 1:25.000, presentada a escala 1:100.000 (Ingeominas, 1975) y expresada en la Geología del Departamento de Antioquia a escala 1:400.000 (Ingeominas, 1999) y en el Mapa Geológico de Colombia (Servicio Geológico Colombiano, 2015) fue revaluada mediante interpretación estereoscópica de fotografías aéreas a color, ortorectificadas y georreferenciadas a escala 1:25.000, e imágenes de sensores remotos en geología y geomorfología aplicada a deslizamientos e inundaciones (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] & Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia [Corantioquia], Convenio No. 9199, 2012-2014).

Con los conocimientos derivados, se investigaron las características del relieve del Batolito Antioqueño, las anomalías hidrogeomorfológicas presentes en los ríos Medellín, Cauca y algunos tributarios, así como su relación con los perfiles longitudinales expresados en forma de valles y cañones, la relación con los principales sistemas de fallas que controlaron su levantamiento hacia el sector de Yarumal (2.400 m s.n.m.) y su basculamiento hacia el SE (Amalfi, 1.600 m s.n.m., El Tigre, 1.600 m s.n.m. y 600 m s.n.m. en Maceo). Se evaluó simultáneamente el papel que jugaron los tributarios controlados por la falla de La Pintada, una captura del ancestral río Cauca, el cual fluía en dirección del hoy río Medellín por medio de la quebrada Poblano cuando se levantó el alto de Minas y la falla de San Jerónimo, como satélite, generadas al comienzo de la Orogenia Andina y Entreríos-Calderas, que siguen un control estructural al oriente del Parque Arví, por medio de la quebrada La Mosca y los ríos Marinilla y Cocorná, las cuales

dieron origen y limitaron al desarrollo los valles de Aburrá y Rionegro.

Geomorfológicamente, el altiplano antioqueño corresponde a una superficie de erosión en donde el levantamiento está asociado con procesos de exhumación y fallamiento durante el Eoceno medio, hasta fases orogénicas Mioceno-Plioceno, según Page y James (1981), producidas durante varias fases de levantamiento (Hermelin, 1982, 2007; Toro, Rendón & Montes, 2008).

El área comprendida por el Valle de Aburrá es de 1.152 km² y morfológicamente fue definido por Arias (2003) como una depresión con orientación sur-norte, localizada en la parte alta de la cordillera Central, limitada por respaldos laterales muy inclinados en roca y cubiertos en la parte baja por flujos de lodos. La altura del fondo del valle varía entre los 1.000 y 3.000 m s.n.m. hacia su nacimiento. De acuerdo con Aristizábal y Yokota (2008), el río Medellín presenta tres grandes sectores: el central, conformado por un valle amplio, limitado al oriente y al occidente por los valles tributarios de las quebradas Santa Elena y La Iguañá, de gran extensión y evolución. Los sectores norte y sur presentan valles estrechos y asimétricos, limitados por vertientes con pendientes fuertes. El análisis de los perfiles longitudinales y la correlación de terrazas permiten relacionar la tectónica con los procesos superficiales y así evidenciar los mecanismos que han modificado el paisaje. Los valles de los ríos proveen un primer acercamiento que relaciona la deformación tectónica con la respuesta del paisaje, por lo cual las quebradas son definidas como elementos de sensibilidad estructural de primer orden y las vertientes en contacto con estas quebradas, como de segundo orden (Brunsden, 2001, cit. en Aristizábal & Yokota, 2008).





Adicionalmente, algunos episodios tectónicos (fallas de San Jerónimo, Iguañá-Boquerón, Belmira Occidental y Don Matías) han bajado el nivel de base del río Medellín mediante “knickpoints”, los cuales migran aguas arriba de este y de la quebrada La Iguañá, erosionando las secciones más altas y más viejas localizadas puntualmente en Ancón Sur, La Aguacatala, Ancón Norte, El Hatillo y La Montera, tal como lo comprobaron Aristizábal y Yokota (2008).

Elementos de la investigación

Evaluación geológica y geomorfológica

La evaluación geológica y geomorfológica del departamento de Antioquia realizada con sensores remotos indica que el Batolito Antioqueño, de forma aparentemente triangular, presenta efectos de rotación dextral generada durante varios episodios tectónicos, los cuales han controlado el drenaje a partir del Cretáceo superior, el Eoceno y el Plioceno, expresados sobre diferentes unidades de roca por un conjunto de fallas sinextrales relacionadas con rasgos paleohidrogeomorfológicos.

Principal anomalía del río Cauca

La principal anomalía se aprecia en el curso del río Cauca, el cual se considera que fluía originalmente con dirección S-N hacia el actual Valle de Aburrá: al levantarse el alto de Minas, localizado entre las fallas de La Pintada (falla de Arma, según Ingeominas, 1999) (figura 1) y el sistema de fallas de San Jerónimo, al norte, este fue capturado posiblemente por el río Poblanc o Arma y obligado a fluir con dirección N-60° W por cerca de 45 km, para luego cambiar nuevamente su dirección hacia el N a través de un cañón conformado por el sistema de fallas de Romeral. Como consecuencia, las sedimentitas cretácicas de la formación Quebrada Grande fueron desplazadas sinextralmente por el sistema de fallas de San Jerónimo y satélites, dando respuesta a la primera paradoja (Restrepo & Toussaint, 1989): las formaciones Combia y Amagá, plegadas, falladas e imbricadas con los stocks y gabros cretácicos asociados, indican reactivación de este sistema durante el Neógeno y posterior al Plioceno, e incluye la falla de Cauca Almaquer (Ingeominas, 1999).

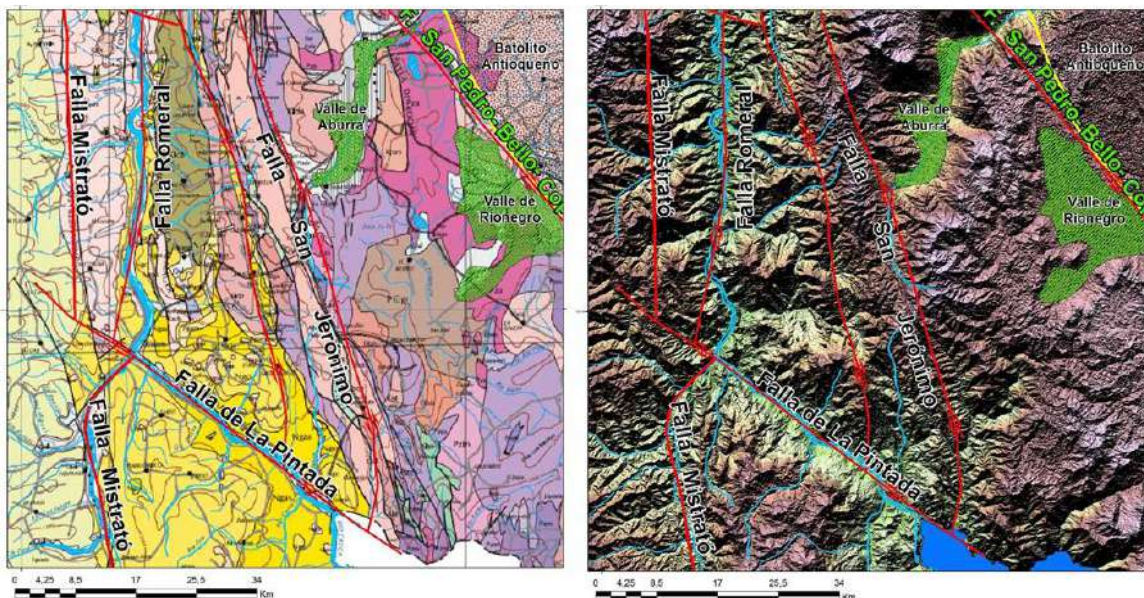


Figura 1. Fallas La Pintada, San Pedro-Bello-Copacabana y Romeral, valles de Aburrá y Rionegro
Fuente: adaptado de Ingeominas (1999) (izq.); elaboración propia (der.).





Sistema de fallas San Jerónimo y satélites

El sistema de fallas de San Jerónimo (Ingeominas, 1999), San Pedro-Bello-Copacabana-Santuario y Entreríos-Don Matías-Calderas, definidas en esta investigación como escalonadas, con rumbos aproximados N 45° - 10° W y las satélites indicadas por Aristizábal y Yokota (2008), son sinextrales: dicho sistema de fallas converge hacia el noroccidente, en forma de “cola de caballo”, y comprime al sistema de fallas de Romeral en dirección a la localidad de San José de la Montaña. Debido a estos desplazamientos sinextrales se produjo regionalmente un seccionamiento del Terreno Puquí (Ingeominas, 1986); el Batolito Antioqueño, en su parte occidental, se basculó y se levantó por encima de los 2.400 m s.n.m., mientras que la porción oriental se inclinó hacia los 800 m s.n.m. en dirección del valle del río Magdalena, formando un glacis de erosión regional sobre toda la cordillera Central (Page & James, 1981).

Anomalías hidrogeomorfológicas en los valles de Aburrá y Rionegro

Durante el Neógeno se reactivó el movimiento dextral en el sector SW del batolito, el cual se seccionó en un segmento alargado en forma de cuña con orientación NW-SE localizado inmediatamente hacia el NE de la falla de San Jerónimo, limitado al sur por el sistema de fallas San Pedro-Bello-Copacabana-Santuario y al norte por el de Entreríos-Don Matías-Calderas (figura 2). Dicho segmento se levantó hacia el SW formando una barrera natural, limitando así el desarrollo geomorfológico de los valles de Aburrá y Rionegro hacia el NE, mientras que aguas abajo del río Medellín la cuña paleozoica emplazada y

asimilada por el Batolito Antioqueño se levantó al sur de Don Matías y Cerro Boquerón (Ingeominas, 1999), formando un “vertedero angosto” que restringió el depósito de sedimentos aluviales. La quebrada Las Moscas, que nace en el Parque Arví, y el río Marinilla discurren en sentido opuesto hasta confluir con el río Negro; ambos cursos están controlados por la falla de Entreríos-Don Matías-Calderas: el río Cocorná discurre en la misma dirección hasta la deflexión de Aquitania, confirmando así un control estructural sobre la hidrografía del sector.

Anomalías hidrogeomorfológicas en el río Medellín

El desarrollo hidrogeomorfológico del río Medellín en su porción central, a partir de la falla Entreríos-Don Matías-Calderas, ha sido hacia el NE sobre tonalitas típicas del Batolito Antioqueño, sector en donde presenta un perfil longitudinal muy suave y ligeramente ondulado con dirección regional N 45° E por cerca de 60 km. Luego fluye con dirección S-N por 1,5 km al ser desviado por la falla sinextral de Monteloro y posteriormente cambia drásticamente hacia N 40° W por la falla de San Bartolomé-Guatapé (sinextral), que desvía su curso longitudinalmente por 2,5 km hacia el NW. A partir de dicho punto de transferencia, el valle aluvial, poco amplio, del río Medellín, cambia geomorfológicamente, hacia el cañón del río Porce, en rocas del Paleozoico: sobre este sector se aprecian los efectos de una “rampa lateral izquierda de ángulo alto”, la cual cambia progresivamente con dirección norte allí en donde desplaza sinextralmente a las sedimentitas cretácicas de la formación La Soledad (Kisl), resolviendo así el segundo paradigma señalado por Restrepo y Toussaint (1989).



Anomalías del río Cauca y el norte de Antioquia

la masa cretácica, además de poner en contacto a rocas del Batolito Antioqueño con el Batolito de Segovia, comprimen la secuencia paleozoica central, dejando como producto fallas con orientación N-S, como las de la Concha, Liberia y Río Mata. El conjunto de fallas orientales conformado por las fallas de Otú-Pericos, Bagre, Palestina y Cimitarra confluyen en forma de “cola de caballo” hacia el este del batolito, con disposición simétricamente opuesta en relación con las del sistema de San Jerónimo, ubicado al oeste del batolito.

Anomalías hidrogeomorfológicas en el sureste antioqueño

Las fallas de Monteloro, Nare, Balseadero y Bizcocho, presentes hacia el SE del Batolito Antioqueño, conservan un paralelismo aproximado N 45° - 60° W con la anterior y son también sinextrales, características de un régimen de extensión; geomorfológicamente presentan, además, escarpes de erosión mayor y menor, con orientación NW (IGAC & Corantioquia, 2014). La falla de Cocorná, sinextral, forma parte del conjunto que comprime y deforma internamente al batolito.

Conclusiones

Las anomalías hidrogeomorfológicas y estructurales investigadas en el Batolito

Antioqueño del cretáceo y las rocas periféricas paleozoicas intruidas comprueban que existe un control estructural preferencial con orientación noroeste-sureste que afecta el curso de los ríos Cauca y Medellín por medio de valles aluviales y cañones: los controles estructurales indican movimientos sinextrales que levantan y comprimen el batolito hacia el oeste, donde se encuentra el sistema de fallas Romeral que separa corteza oceánica de continental, produciendo una rotación dextral del mismo con basculamiento hacia el sureste.

La disposición de fallas con orientación noroeste-sureste corresponde a reactivación de fallas transformantes del basamento, las cuales concuerdan localmente con la paleomegacizalla transversal de Colombia (Gómez, 1991).

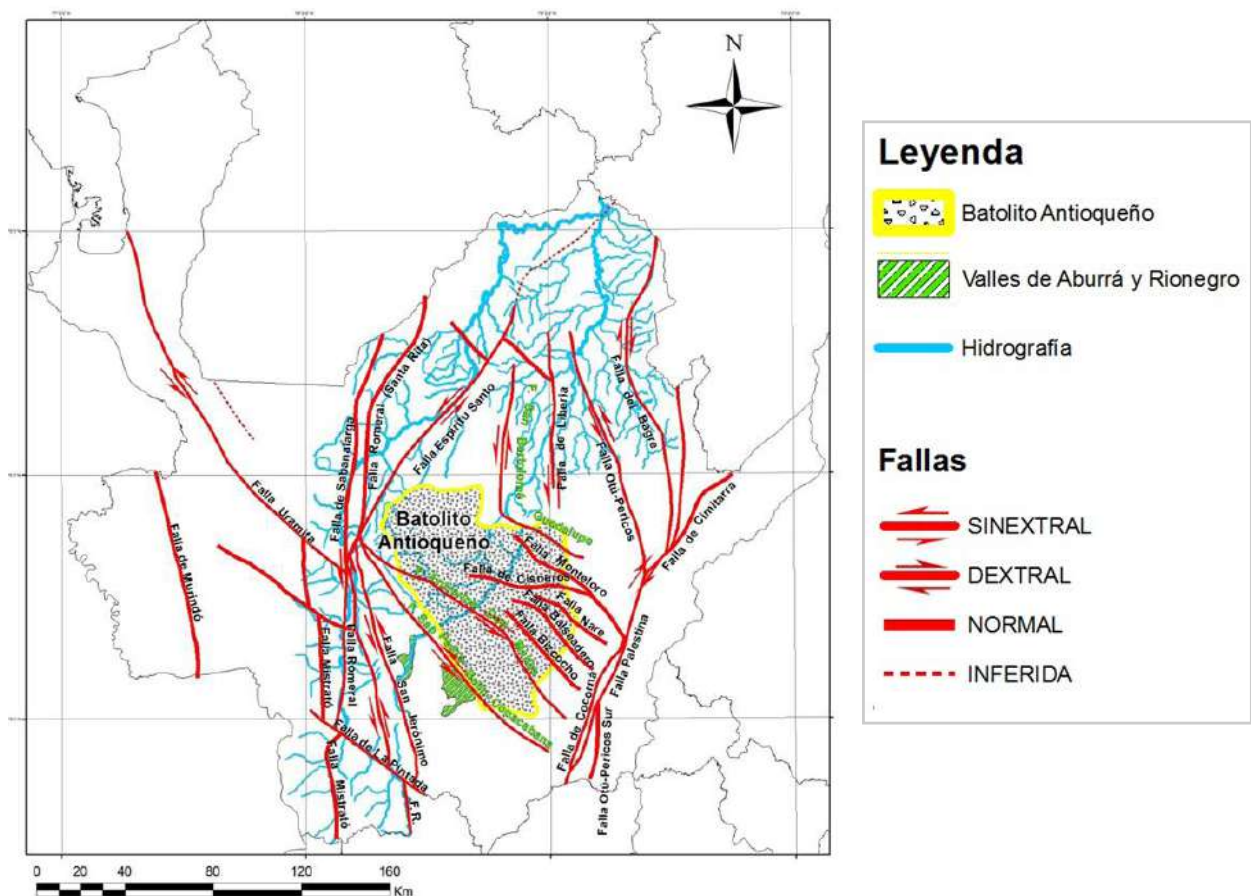


Figura 3. Mapa hidrogeomorfológico y estructural de Antioquia

Fuente: elaboración propia.



Bibliografía



- Arias, A. (2003). La diversidad del relieve y de los suelos de altiplano de Santa Rosa de Osos (Antioquia) y sus significados ambientales. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 15, 51-77.
- Aspden, J. A. & McCourt, J. W. (1986). Mesozoic oceanic terrane in the Central Andes of Colombia. *Geology*, 14, 415-418.
- Feininger, T. (1970). The Palestina Fault, Colombia. *GSA Bulletin*, 81(4), 1201-1216.
- Freymueller, F. T., Kellogg, J. N. & Vega, V. (1993). Plate Motions in the north Andean region. *Journal of Geophysical Research*, 98(B12), 21853-21863.
- Gómez, H. (1991). La paleomegacizalla transversal de Colombia: base de un nuevo esquema geotectónico. *Revista CIAF*, 12(1), 49-61.
- Hermelin M. (1982). El origen del valle de Aburrá: evolución de ideas. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 7-8, 47-65.
- Hermelin M. (2007). Sistemas morfogénicos contrastados en el norte de la cordillera Central colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 31(119), 199-216.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi & Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (2012). *Estimación de amenazas por inundación y movimientos en masa de la cuenca baja de los ríos Cauca, Nechi, y Magdalena mediante tecnologías espaciales*. Convenio No. 9199.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi & Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (2014). *Estimación y elaboración cartográfica de amenazas por inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa con el uso de tecnologías geoespaciales*. Fase II. Convenio No. 9199.
- Ingeominas (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Subzona II-B). *Boletín Geológico* 20, N° 2.
- Ingeominas (1975). Mapa geológico del oriente del departamento de Antioquia, Colombia. Cuadrángulo I-9 y partes de cuadrángulos H-9, H-10, I-10, J-9 y J-10. Escala 1:100.000.
- Ingeominas (1986). *Mapa de terrenos geológicos de Colombia*. Bogotá: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras. Serie Publicaciones geológicas especiales del ingeominas, 0120-078X, N° 14-1.
- Ingeominas (1988). Memoria explicativa del mapa geológico de Colombia. Escala 1:1.500.000. Fig. 2. Marco geotectónico de Colombia. P. 11. Bogotá: Ingeominas.





Bibliografía



- Ingeominas (1999). Mapa de la geología del departamento de Antioquia, Colombia. Escala 1:400.000.
- Ingeominas, Servicio Geológico Colombiano (1976, 1998, 2015). Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1.500.000. Bogotá: Ingeominas, Servicio Geológico Colombiano.
- Maya, M. & González H. (1995). Unidades litodémicas en la cordillera central de Colombia. *Bol. Geol. Ingeominas*, 35(23), 44-57.
- McCourt, W.J., Aspden, J.A. & Brook, M. (1984). New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal of the Geological Society*, 141(5), 831-845.
- Page, W. D. & James, M. E. (1981). The antiquity of the erosion surfaces and the late cenozoic deposits near Medellín, Colombia: implication to tectonics and erosion rates. *Revista CIAF*, 6(1-3), 421-454.
- Pennington W. D. (1981). Subduction of the Eastern Panama basin and the seismotectonics of the northwestern South America. *Journal of Geophysical Research*, 86(B11), 10753-10770.
- Restrepo J. J. & Toussaint, J. F. (1989). Terrenos alóctonos en los Andes colombianos: explicación de algunas paradojas geológicas. *V Congreso colombiano de geología. Memorias*. Tomo I. Bucaramanga: Sociedad Colombiana de Geología.
- Toro, G., Rendón, D. & Montes, L. (2008). Levantamiento de los Andes en el norte de la cordillera Central de Colombia: una aproximación geomorfológica, estructural y cronológica (trazas de fisión). *Boletín Ciencias de la Tierra*, 22, 125-126. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/1812/11267>.
- Aristizábal, R. & Yokota, S. (2008). Evolución geomorfológica del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la ocurrencia de movimientos en masa. *Boletín Ciencias Tierra*, 24, 5-18. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/9268/9931>.





Estimación de productividad en caña de azúcar desde la percepción remota

Estimation of sugarcane yield from remote sensing

César Edwin García¹, David Montero², Mario Andrés Soto³, Juan Manuel Valencia⁴



Cómo citar este artículo: García, C., Montero, D., Soto, M. & Valencia, J. (2017). Estimación de productividad en caña de azúcar desde la percepción remota. *Análisis Geográficos*, 53, 35-49.

Resumen

La estimación de la productividad de la caña de azúcar con percepción remota puede realizarse mediante la información colectada por sensores a bordo de satélites, aeronaves y, recientemente, en drones, que registran la interacción entre la radiación electromagnética y el dosel de la caña de azúcar en múltiples bandas espectrales. Con la información espectral recolectada de estas bandas se pueden calcular diferentes índices de vegetación y relacionarlos con variables biofísicas para intentar predecir la productividad del cultivo. El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) ha trabajado desde hace veinte años con imágenes satelitales. Los satélites Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (OLI) y Terra EOS AM-1 (MODIS) son usados para el monitoreo y el estudio del cultivo de la caña de azúcar en el sector agroindustrial azucarero del país, y se ha pasado recientemente al uso de imágenes captadas por aeronaves ultralivianas y, más recientemente, a la captura de imágenes visibles y multiespectrales usando RPAS, de modo que pueda enfocarse la evaluación de índices de vegetación para la estimación de la productividad a un nivel de detalle de parcela. Este trabajo presenta los resultados que se han obtenido usando distintos sensores a bordo de diferentes plataformas en la estimación temprana de la productividad en caña de azúcar.

Palabras clave: productividad, caña de azúcar, percepción remota, índice de vegetación, imágenes.

¹MSc Percepción Remota. Cenicaña. Correo: cegarcia@cenicana.org.

²Ingeniero Topográfico. Cenicaña. Correo: dmontero@cenicana.org.

³Ingeniero Topográfico. Cenicaña. Correo: masoto@cenicana.org.

⁴Ingeniero Topográfico. Cenicaña. Correo: jmvalencia@cenicana.org.





Abstract

The estimation of sugarcane yield with remote sensing can be done through information collected by sensors on satellites, aircrafts and recently in drones, which record the interaction between electromagnetic radiation and the sugarcane canopy in multiple spectral bands. With the spectral information collected from these bands different vegetation indices can be calculated and related to biophysical variables, trying to predict crop yield. For 20 years, the Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) has worked with satellite images, being Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM +), Landsat 8 (OLI) and Terra EOS AM-1 (MODIS), those satellites used for the monitoring and study of sugarcane in the sugar agroindustrial sector of the country, images captured by ultra-light aircraft and more recently to the capture of visible and multispectral images using RPAS, so that the evaluation of vegetation indices for the yield estimation can be focused at a plot level detail. This paper aims to present the results that have been obtained using different sensors on board different platforms in the early sugarcane yield estimation.

Keywords: *yield, sugarcane, Remote Sensing, vegetation index, imagery.*



Introducción

La estimación temprana de la productividad antes de la cosecha es de suma importancia para definir con anticipación las estrategias de comercialización del producto, ya que conociendo qué tan buena o mala será la próxima cosecha, la agroindustria o los agricultores podrán emplear estrategias de compra y venta para mejorar la competitividad. En la actualidad, los agricultores y los técnicos utilizan algunas técnicas para estimar la productividad temprana, que van desde la simple observación en campo y el uso de métodos estadísticos de aforo hasta la utilización de sensores remotos orbitales o aéreos.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es, sin duda, el cultivo sacarífero más importante del mundo debido a la capacidad de generación de sacarosa en sus tallos, que es la materia prima para la generación de azúcar, panela, etanol e inclusive biomasa para la cogeneración de energía (Romero, Digonzelli & Scandalaris, 2009). En Colombia el sector azucarero se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca (VRC), que abarca 33 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, el sur del departamento de Risaralda e inclusive parte del departamento de Caldas. Esta agroindustria es de suma importancia para la económica de la región, abarca una extensión de aproximadamente 240.000 ha y genera más de 265.000 empleos a través de toda su cadena de valor (Asocaña, 2017).

Debido a su importancia en la economía regional y nacional, estimar y predecir la cosecha del cultivo es de suma importancia tanto para el sector como para los agricultores. El Centro de Investigación de la

Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) viene trabajando en modelos matemáticos, estadísticos y agroclimáticos para intentar predecir la productividad del cultivo a lo largo de la geografía del VRC. Sin embargo, debido a las características mismas del cultivo (densidad del follaje y altura), la extensión del territorio, la heterogeneidad de los suelos y al hecho que no se tengan fechas exactas para la cosecha y la siembra (no existe zafras), esta estimación se convierte en una tarea difícil de hacer. En este sentido, el uso de información espectral obtenida remotamente desde satélites y, recientemente, desde drones, ha demostrado ser una ayuda para realizar estimaciones tempranas de la productividad del cultivo.

El monitoreo del cultivo de la caña de azúcar en Colombia mediante el uso de datos remotos es realizado por Cenicaña mediante el uso de imágenes satelitales, especialmente productos del sensor MODIS, imágenes TM/ETM+ Landsat, con espectrorradiometría de campo (Murillo & Carbonell, 2012) y en los últimos años con drones y cámaras multiespectrales (García, Montero & Chica, 2017; Montero & García, 2016).

La estimación temprana mediante el uso de sensores remotos ha sido una línea de investigación en los últimos años en el sector azucarero, la utilización de diferentes índices de vegetación obtenidos de bandas específicas como el NDVI y el EVI, el uso de diferentes sensores y recientemente de cámaras multiespectrales aerotransportadas han ayudado en generar diferentes modelos. En este trabajo se presentan algunos resultados que se han obtenido en la estimación de la productividad de la caña de azúcar mediante la percepción remota.



Desarrollo teórico y metodológico

Zona de estudio

El valle geográfico del río Cauca comprende el sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia, que hace parte de los departamentos de Cauca, Valle del Cauca y Risaralda. El sector se encuentra ubicado entre las longitudes -75.8° y -76.6° y las latitudes 3.0° y 5.0° con una elevación aproximada de 1.000 m s.n.m., una precipitación media anual de 1.296 mm y una temperatura promedio de 23°C (Cenicaña, 2017).

El sector azucarero lo comprenden: Asocaña, 13 ingenios azucareros, 5 destilerías,

3 asociaciones de cultivadores de caña, Cenicaña, Técnicaña y Ciamsa. Con aproximadamente 240.000 ha de extensión en el cultivo de caña de azúcar, 38.000 suertes y 1.800 agricultores, el valle geográfico del río Cauca es el centro de la industria azucarera del país; además la agroindustria azucarera es la más productiva del mundo por unidad de área. Asimismo, el sector tiene la particularidad de que no presenta zafra y, por tal motivo, hay cosecha durante todo el año.

Teledetección espacial y productividad

El seguimiento al cultivo de la caña de azúcar por medio de imágenes satelitales se ha realizado desde hace aproximadamente

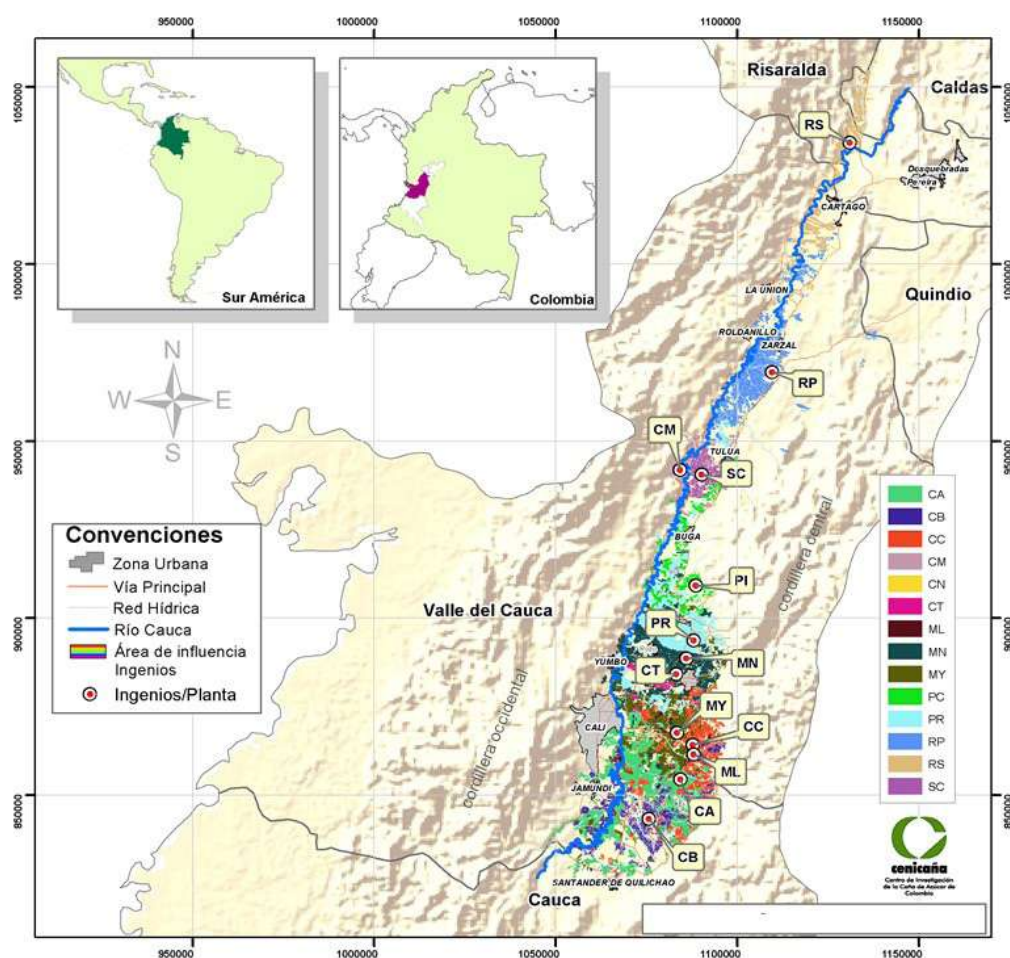


Figura 1. Sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia

Fuente: elaboración propia.

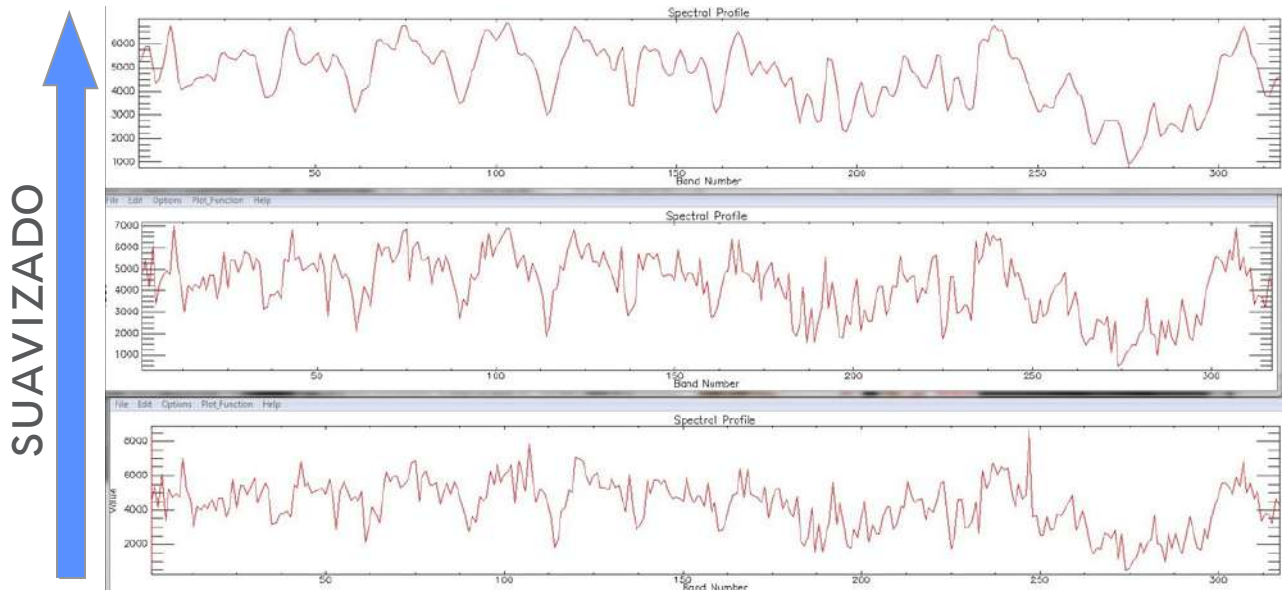


Figura 2. Interpolación y suavizado de la serie de tiempo del índice de vegetación EVI

Fuente: elaboración propia.

veinte años. Se han usado imágenes de los sensores MODIS, TM, ETM+, OLI y MSI de los satélites Terra EOS AM-1, Landsat 4 y 5, Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel 2A, respectivamente, para realizar un monitoreo continuo del desarrollo del cultivo. Este monitoreo ha servido como base para tratar de estimar, por medio de índices de vegetación, la productividad del cultivo de manera temprana con bajos errores de estimación.

En 1999 se realizó uno de los primeros acercamientos de la estimación de productividad usando teledetección espacial, en donde, por medio de imágenes de Landsat 5, se construyó un modelo de pronóstico de productividad usando el índice de vegetación NDVI y las covariables de número de corte y edad del cultivo, alcanzando una explicación del 57,8%.

Con las imágenes del sensor MODIS (MOD13Q1) se ha obtenido una serie de tiempo del índice de vegetación EVI, cada

16 días, desde febrero del 2000. Las imágenes son corregidas usando la banda de calidad de la imagen, eliminando los píxeles con presencia potencial de nubes e interpolándolos linealmente de manera temporal. Si bien después de la interpolación la serie de tiempo se encuentra completa, existe una serie de ruidos que son corregidos usando el filtro Savitzky-Golay (Savitzky & Golay, 1964) (figura 2).

Aunque el índice NDVI es más usado globalmente, presenta fuertes saturaciones con alto contenido de biomasa; este es el caso del sector azucarero. Los primeros estudios (Bastidas & Carbonell, 2006) demostraron que el índice EVI del sensor MODIS presentaba mejores relaciones con la productividad ($R^2 = 0,73$) que los índices NDVI ($R^2 = 0,70$) y WdVI ($R^2 = 0,68$), usando para la relación la productividad obtenida de suertes, en la cual se comprendieran píxeles completos ("puros") de MODIS (figura 3).



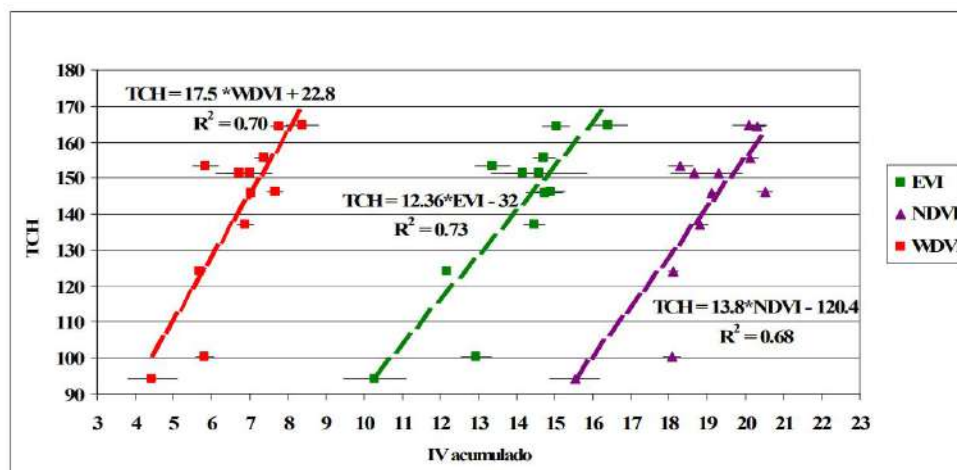


Figura 3. Estimación de productividad usando pixeles “puros” con los índices de vegetación NDVI, EVI y WDMI

Fuente: Bastidas y Carbonell (2006).

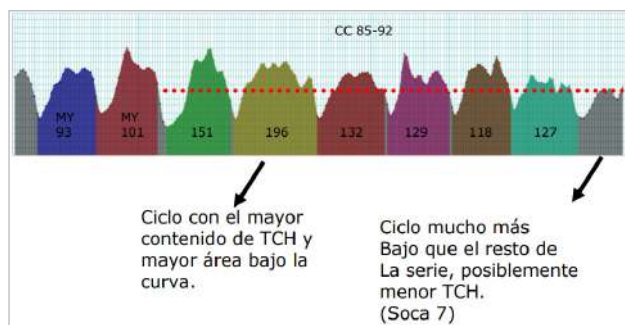


Figura 4. Área bajo la curva del índice EVI discriminada por ciclos del cultivo

Fuente: Murillo y Carbonell (2012).

Al usar la misma serie de tiempo de imágenes EVI de MODIS se encontró que el área de la curva de la serie de un ciclo de caña de azúcar tenía una relación directamente proporcional con la productividad en toneladas de caña por hectárea (TCH) del cultivo en cuestión (figura 4).

Fueron seleccionados 6.857 pixeles de la serie de tiempo y se hizo una relación entre el EVI acumulado (área bajo la curva) y la productividad del cultivo, en donde finalmente se generaron rangos de EVI acumulado y de productividad con los cuales se realizó un modelo de predicción que alcanzó una explicación del 83,2%, concluyendo que por cada 10.000 unidades de EVI acumuladas existía un incremento de 5 TCH para el cultivo (figura 5).

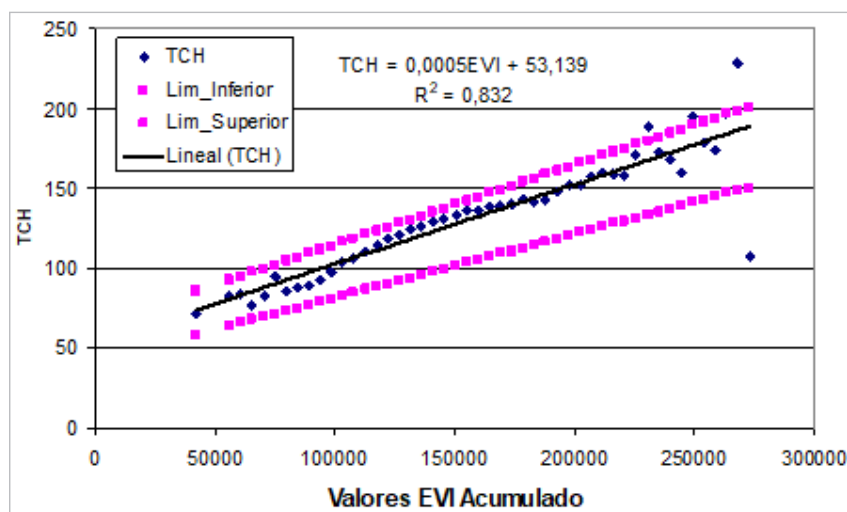


Figura 5. Modelo de estimación de productividad usando unidades de EVI acumulado

Fuente: Murillo y Carbonell (2012).



La edad es otro factor que juega un papel importante para la estimación de la productividad usando imágenes satelitales. En este ámbito también fue determinada la edad “ideal” para calcular la productividad con el menor error de estimación posible. Los índices de vegetación tienen generalmente un comportamiento proporcional al desarrollo del cultivo de la caña de azúcar (figura 6) y alcanzan sus valores máximos entre los 6 y los 7 meses de edad (figura 7).

Se realizó la estimación de productividad para distintas edades utilizando el índice de vegetación EVI. Las estadísticas se muestran en la tabla 1

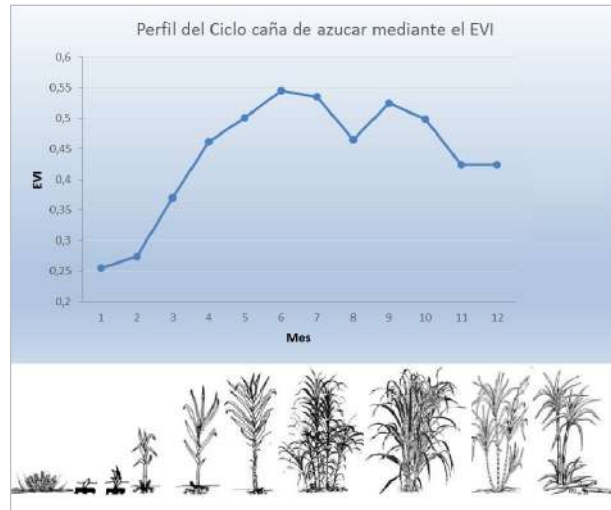


Figura 6. Comportamiento del índice de vegetación EVI durante el ciclo del cultivo

Fuente: elaboración propia.

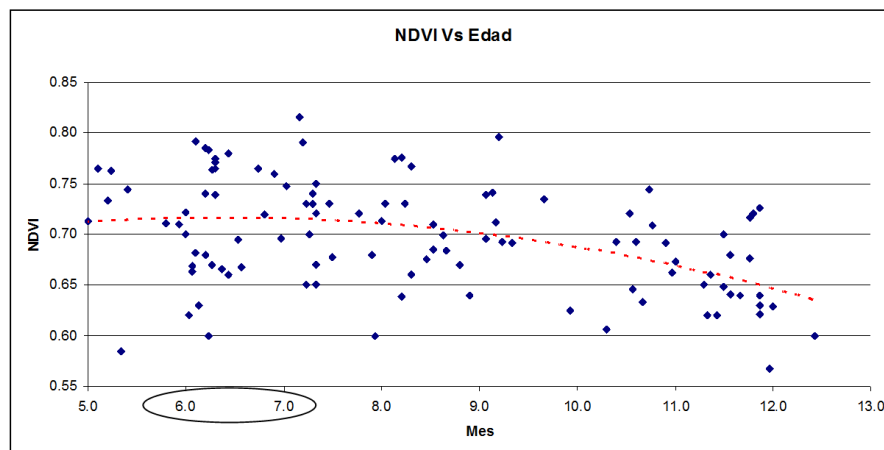


Figura 7. Valores máximos alcanzados por el índice NDVI según la edad del cultivo

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Estadísticas de regresión entre el índice de vegetación EVI en diferentes edades y la productividad del cultivo

Edad (meses)	R ²	Error típico (TCH)
6	0,24	16,27
7	0,34	6,24
8	0,38	7,98
9	0,44	13,93
10	0,01	15,78
11	0,06	12,32

Fuente: elaboración propia.



Actualmente se están realizando investigaciones con índices de vegetación derivados del sensor MSI del satélite Sentinel 2A para estimar la curva de índices de vegetación de los cultivos según su productividad. En la figura 8 se presentan las curvas generales del cultivo de la caña de azúcar para diferentes índices de vegetación calculados con distintas longitudes de onda, en donde se observa un comportamiento similar al desarrollo del cultivo (figura 6).

En la figura 9 se observa el comportamiento del índice de vegetación GNDVI de acuerdo a los rangos determinados según los cuartiles de productividad de las suertes con las cuales fueron generadas las curvas. Se evidencia que las curvas de índices de vegetación con mayor productividad (Q3 y Q4) son muy similares, pero pueden diferenciarse de las curvas con menor productividad (Q2 y Q1), que no alcanzan altos valores del índice de vegetación en sus etapas de crecimiento y maduración.

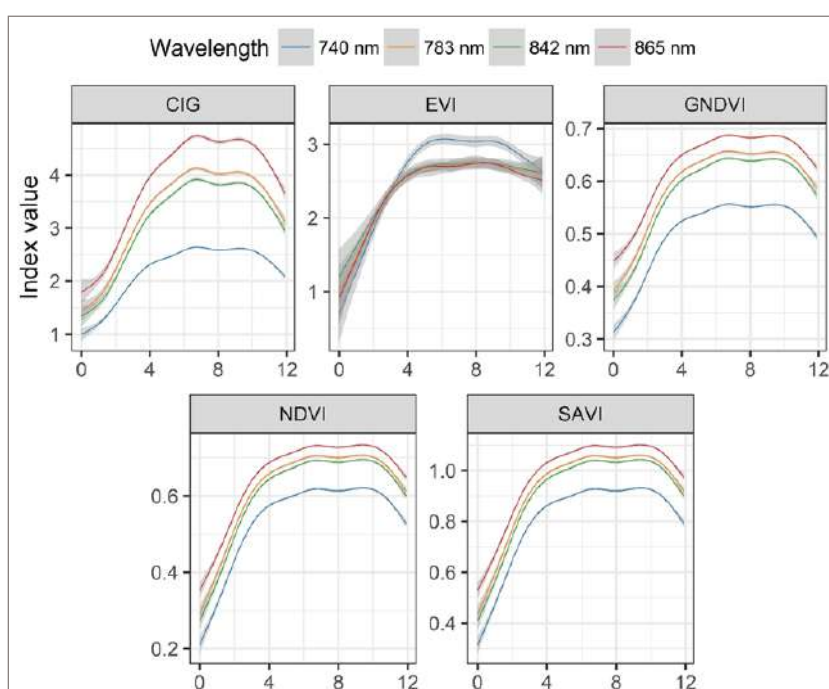
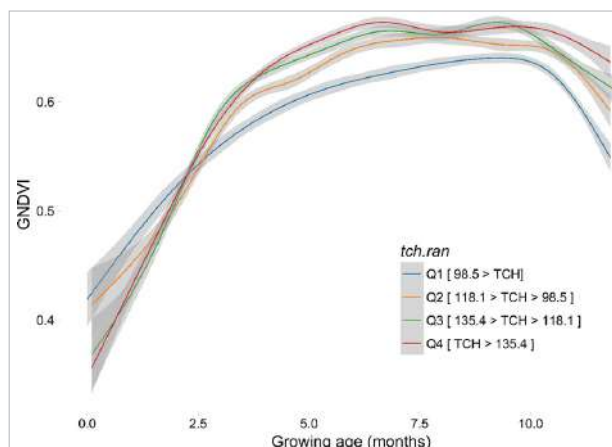


Figura 8. Comportamiento de diferentes índices de vegetación derivados del sensor MSI del satélite Sentinel 2A según la edad del cultivo de la caña de azúcar

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Comportamiento de índices de vegetación durante el ciclo de cultivo según rangos de productividad

Fuente: elaboración propia.





Drones y productividad

El monitoreo del cultivo de la caña de azúcar mediante drones o RPAS ha sido realizado mediante plataformas aéreas con cámaras multispectrales acopladas a estos. Los vuelos son generalmente realizados sobre lotes experimentales con diseños de parcelas en donde la productividad es medida por cada una de ellas.

Para un experimento se utilizó un vehículo multirrotor tipo cuadricóptero modelo Araknos V2 fabricado por la empresa Advector. Para la captura de imágenes se utilizó una Agricultural Digital Camera (ADC) lite

fabricada por la compañía Tetracam Inc. La ADC lite es una cámara pequeña con dimensiones de 6,55 x 4,92 mm, y un peso de 200 g; genera un registro de la posición de cada una de las capturas y posee un único sensor de 3,2 megapíxeles que opera en el NIR, bandas desde los 520 nm hasta los 920 nm y simula las bandas TM2, TM3 y TM4 del sensor Landsat Thematic Mapper (TM) (Tetracam, 2015). Con los resultados obtenidos fueron calculados 11 índices de vegetación y relacionados por medio de regresiones lineales con la productividad del cultivo, alcanzando así una explicación máxima del 53,3% (figura 10; tabla 2).

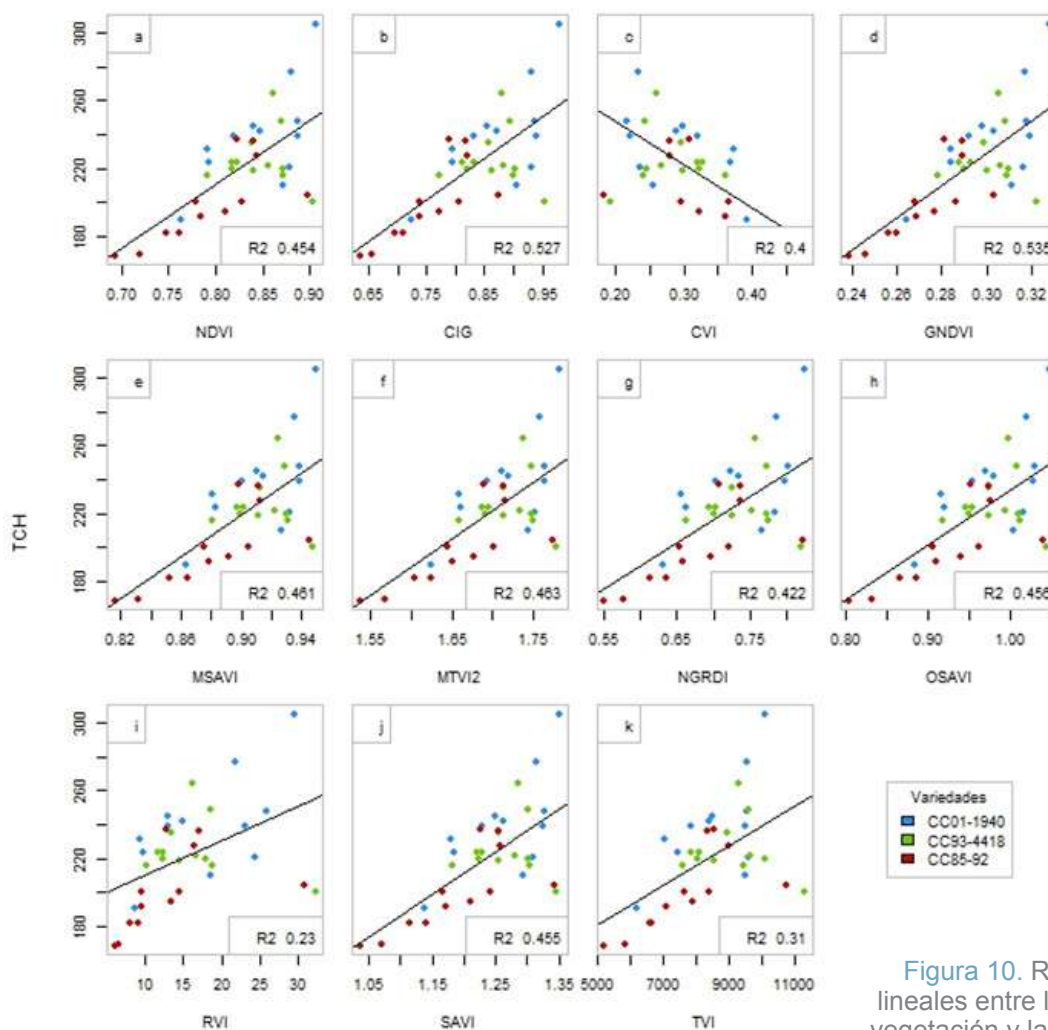


Figura 10. Regresiones lineales entre los índices de vegetación y la productividad del experimento

Fuente: elaboración propia.



Tabla 2. Estadísticas de las regresiones lineales entre los 11 índices de vegetación y la productividad

<i>Índice</i>	<i>R²</i>	<i>Error típico (TCH)</i>
NDVI	0,454	21,425
CIG	0,527	19,949
CVI	0,400	22,456
GNDVI	0,533	19,823
MSAVI	0,464	21,229
MTVI2	0,465	21,212
NGRDI	0,422	22,059
OSAVI	0,456	21,399
RVI	0,230	25,448
SAVI	0,455	21,409
TVI	0,310	24,087

Fuente: elaboración propia.

Al tener la mayoría de los índices de vegetación una relación entre sí, una regresión lineal múltiple tendría problemas de multicolinealidad; por tal motivo, se realizó un análisis de componentes principales y los 5 primeros factores fueron usados en

una regresión múltiple para estimar la productividad por variedad de caña de azúcar, alcanzando una explicación del 56% para la variedad CC 93-4418, del 48% para la variedad CC 85-92 y del 20% para la variedad CC 01-1940 (tabla 3).

Tabla 3. Estadísticas de las regresiones lineales

<i>Variedad</i>	<i>ANOVA p-valor</i>	<i>Error típico (TCH)</i>	<i>R² ajustado</i>
CC 01-1940	0.0129	28,4	20%
CC 85-92	<.0001	23,6	48%
CC 93-4418	<.0001	29,5	56%

Fuente: elaboración propia.

Otro experimento fue realizado con una cámara hiperespectral acoplada a un drone Ebee fabricado por SenseFly. La cámara hiperespectral está diseñada para captar la información espectral de 16 regiones del

espectro entre el rojo y el infrarrojo cercano (NIR). Fueron calculados 14 índices de vegetación y comparados con la productividad del cultivo mediante regresiones lineales (figura 11; tabla 4).

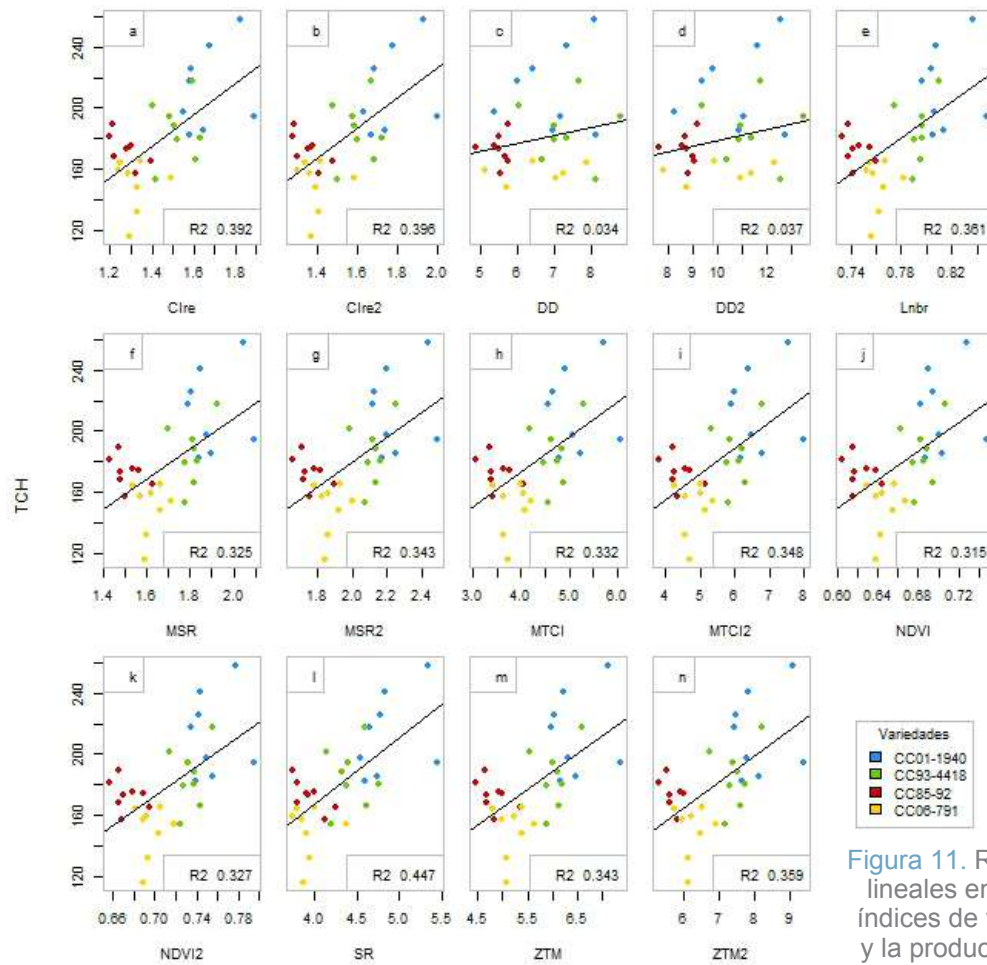


Figura 11. Regresiones lineales entre los 14 índices de vegetación y la productividad del experimento

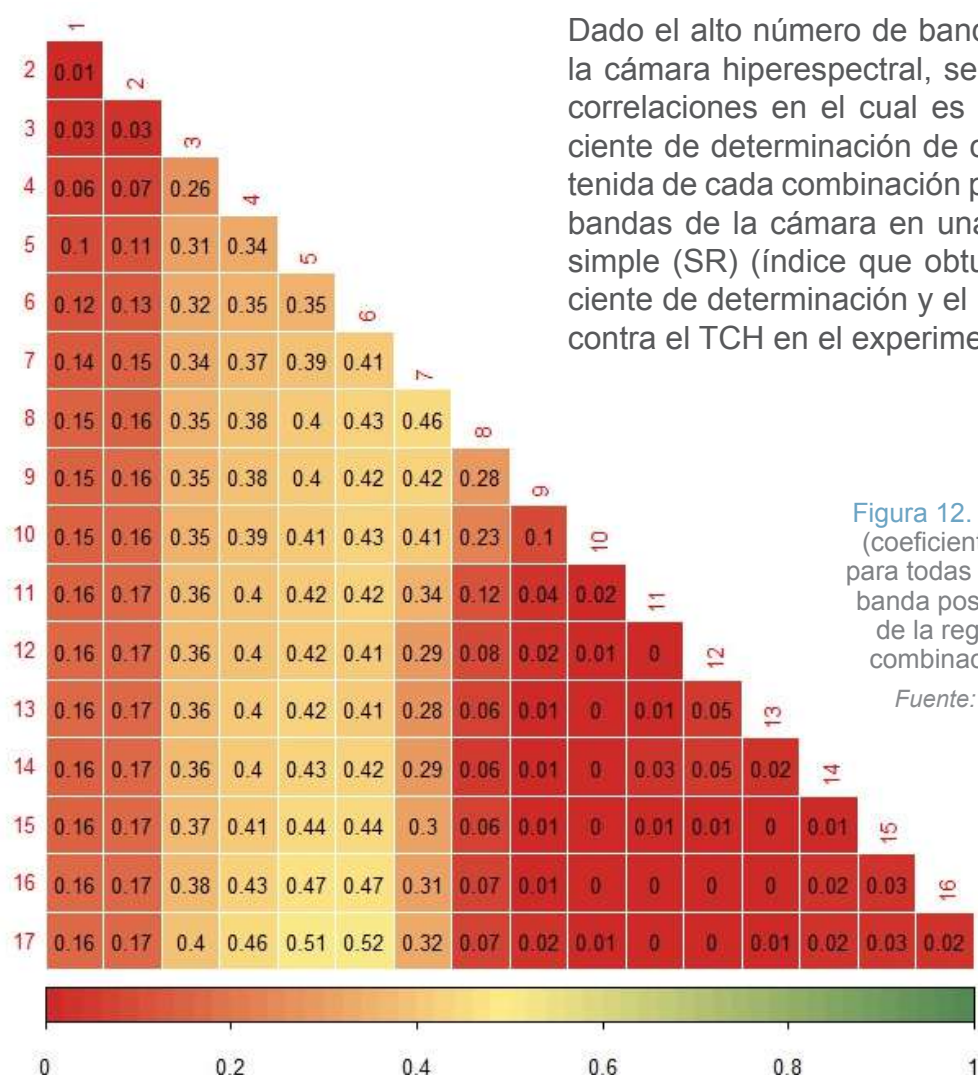
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Estadísticas de las regresiones lineales entre los 14 índices de vegetación y la productividad

Índice	R^2	Error típico
CI _{red edge}	0,392	23,712
CI _{red edge} ²	0,396	23,634
DD	0,034	29,876
DD 2	0,037	29,830
Lnbr	0,358	24,360
MSR	0,325	24,982
MSR 2	0,343	24,642
MTCI	0,332	24,840
MTCI 2	0,348	24,539
NDVI	0,315	25,158
NDVI 2	0,328	24,925
SR	0,447	22,614
ZTM	0,343	24,648
ZTM 2	0,359	24,331

Fuente: elaboración propia.





Dado el alto número de bandas disponibles en la cámara hiperespectral, se realizó un plot de correlaciones en el cual es graficado el coeficiente de determinación de cada regresión obtenida de cada combinación posible entre las 17 bandas de la cámara en una fórmula de radio simple (SR) (índice que obtuvo el mejor coeficiente de determinación y el menor error típico) contra el TCH en el experimento (figura 12).

Figura 12. Plot de correlaciones (coeficiente de determinación) para todas las combinaciones de banda posibles como resultado de la regresión entre dichas combinaciones en SR y TCH

Fuente: elaboración propia.

Los coeficientes de determinación más altos obtenidos fueron de 0,52 y 0,51 entre las combinaciones de las bandas 17 y 6 (reflectancias en las longitudes de onda 877 nm y 744 nm) y las bandas 17 y 5 (reflectancias en las longitudes de onda 877 nm y 733 nm) respectivamente.

Utilizando las 17 bandas disponibles de la cámara hiperespectral se realizó una regresión lineal múltiple para estimar el TCH a partir de las bandas de la cámara

como variables de entrada. Una selección del modelo adecuado fue realizada por medio de valores del criterio de información de Akaike (AIC, por la sigla en inglés de Akaike Information Criterion) en regresión paso a paso, para la cual los valores de las reflectancias de las longitudes de onda 720 nm, 733 nm, 744 nm, 770 nm, 867 nm y 877 nm fueron elegidos. El modelo obtuvo un R^2 de 0,666, un R^2 ajustado de 0,586 y un error típico de 19,249 TCH (figura 13).

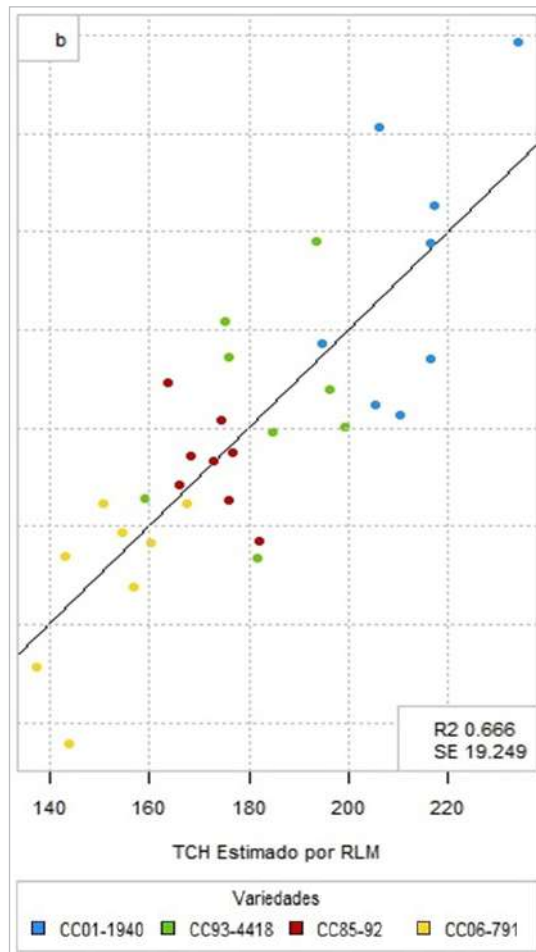


Figura 13. Relación del resultado del modelo de regresión lineal múltiple con el TCH del experimento

Fuente: elaboración propia.

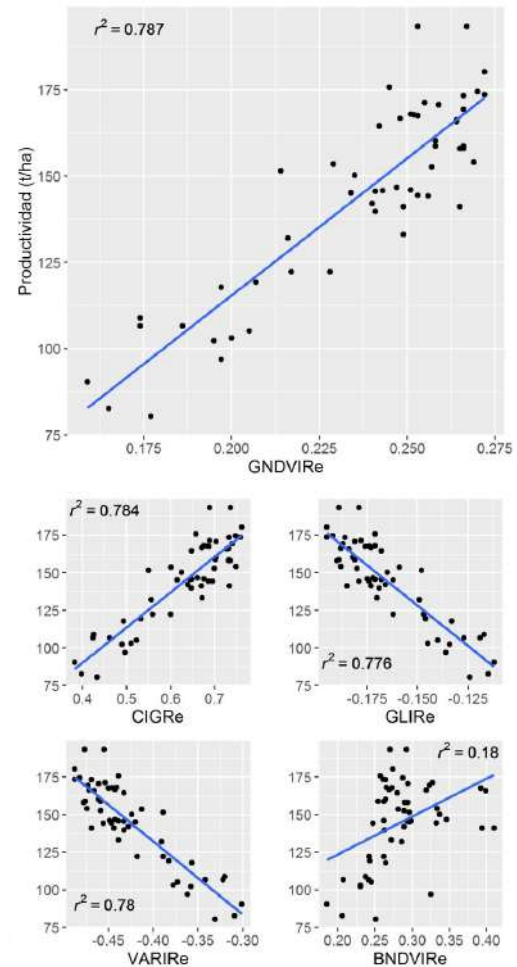


Figura 14. Regresiones lineales entre los 5 índices de vegetación y la productividad del experimento

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, un experimento fue realizado utilizando índices de vegetación y modelos digitales de altura (MDA) como variables de entrada para la estimación temprana de productividad. Cinco índices fueron calculados con las imágenes capturadas

por una cámara modificada en el canal del rojo para obtener información de la región del Red Edge y fueron relacionados de manera individual con la productividad del experimento (figura 14; tabla 5).

Tabla 5. Estadísticas de las regresiones lineales entre los 5 índices de vegetación y la productividad.

Índice	R²	Error típico (TCH)
CIGRe	0,784	13,121
GLIRE	0,776	13,350
GNDVIRE	0,787	13,021
VARIRE	0,780	13,240
BNDVIRE	0,180	25,548

Fuente: elaboración propia.



El índice GNDVIRE fue el que mejor coeficiente de determinación obtuvo con el menor error típico; por tal motivo este índice, en conjunto con el MDA del cultivo generado a los 10 meses de edad, fueron utilizados en una regresión lineal múltiple para estimar la productividad del experimento, alcanzando una explicación del 80% con un error típico de 12,487 TCH. Este modelo fue validado con un experimento aledaño, en donde el modelo obtuvo un coeficiente de determinación de 0,921 y un error típico de 16,013 TCH (figura 15).

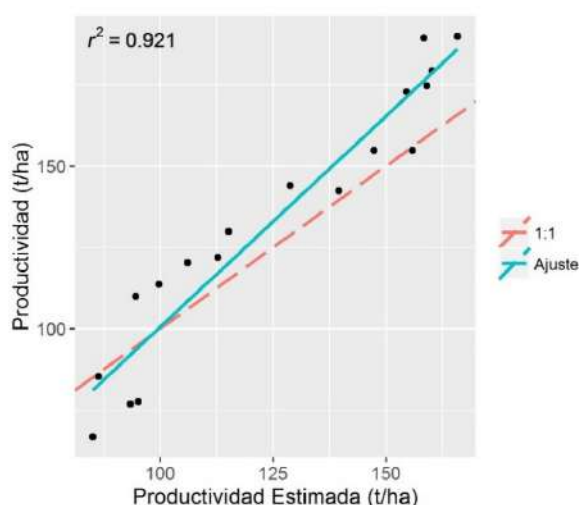


Figura 15. Regresión lineal entre la productividad estimada y la productividad observada del experimento de validación

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Con los diferentes resultados obtenidos a través de los últimos años de investigación en el tema de estimación temprana de productividad con sensores remotos se han planteado varios asuntos; entre los más relevantes están:

- 1) La gran dificultad de extrapolar los modelos obtenidos debido a la necesidad de estar calibrando los diferentes sensores usados (no es lo mismo un sensor TM que uno aerotransportado).

2) Los diferentes índices utilizados en esta investigación presentan problemas intrínsecos de saturación debido a la alta densidad de biomasa. Como se expuso, el sector azucarero es el de mayor producción del mundo por unidad de área, con un promedio de 120 TCH, y esto conlleva a que, en los lotes muy densos (productividad > 120 TCH), sea difícil obtener correlaciones altas.

3) El enfoque de agricultura específica por sitio (AEPS), la no existencia de zafra y la alta variabilidad espacial de los suelos hace que los trabajos con imágenes con píxeles de resolución baja (30 x 30 m o mayores) tengan problemas de mezcla espectral y que difícilmente se pueda encontrar un modelo que sea extrapolable a todo el sector.

4) Aunque los vehículos aéreos no tripulados presentan un nuevo enfoque para los problemas enumerados en el ítem 3, por ser una nueva tecnología exponencial que aún se encuentra en la curva de adaptación, los procesos de calibración radiométrica y geométrica son necesarios en cada proceso y muchos de ellos aún están en su fase de implementación.

Como expectativa para trabajos futuros, está la implementación de nuevos métodos estadísticos que puedan ayudar en la predicción y la estimación de la productividad en caña de azúcar, especialmente con cámaras multiespectrales aerotransportadas, la utilización de índices de vegetación en conjunto con modelos agroclimáticos y la utilización de varios índices de vegetación para realizar modelos robustos que tengan en cuenta otros tipos de características como la variedad, la edad de corte y el clima, que, sumados a las mediciones agronómicas, ayudarán a obtener modelos con mayor precisión.



Bibliografía



- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña). (2017). *Sector Agroindustrial de la Caña*. Recuperado de <http://www.asocana.com.co/publico/info.aspx>.
- Bastidas Obando, E. & Carbonell Gonzalez, J. A. (2006). *Monitoreo del crecimiento de la caña de azúcar, a partir de imágenes satelitales de resolución media del sensor MODIS*. VII Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar, Cali, Colombia, septiembre 6-8.
- García, C. E., Montero, D. & Chica, H. A. (2017). Evaluation of a NIR camera for monitoring yield and nitrogen effect in sugarcane. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 82-91.
- Montero, L. & García C. E. (2016). Modelo de aforo de caña de azúcar a partir de modelos digitales de altura e índices de vegetación. *Libro de Actas del XVII Simposio Internacional SELPER*. Puerto Iguazú, Argentina, 7-11 de noviembre. Recuperado de <https://selperargentina2016.org/actas/>.
- Murillo, P. J. & Carbonell-González, J. A. (2012). *Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia*. Vol. 1. Cali: Cenicaña.
- Romero, E., Digonzelli, P. & Scandaliaris, J. (2009). *Manual del Cañero. Capítulo 1: la caña de azúcar: características y ecofisiología*. Tucumán, Argentina: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres - EEAOC. 1ª ed. Recuperado de <http://www.eeaoc.org.ar/publicaciones/categoria/18/50/Manual-del-Canero.html>.
- Savitzky, A. & Golay, M. J. E. (1964). Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627-1639. doi: 10.1021/ac60214a047.





CIAF

Desarrollo de **8 programas de formación** avanzada en convenio con universidades:



AÑOS

1967 • 2017

Centro de Investigación y Desarrollo
de Información Geográfica - CIAF

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Maestría en Geografía y Doctorado en Geografía
Universidad Nacional de Colombia	Maestría en Geomática
Universidad Católica de Manizales	Maestría en Teledetección
Universidad de Manizales	Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Universidad Francisco José de Caldas	Especialización en Sistemas de Información Geográfica y Especialización en Avalúos
Universidad Sergio Arboleda	Maestría en Gestión de Información y Desarrollo de Tecnologías Geoespaciales



**Más de 440 colombianos
capacitados y 170 extranjeros**



Actualización e implementación del marco de referencia colombiano MAGNA ITRF2014

Update and implementation of the Colombian reference frame MAGNA ITRF2014

Luis Eduardo Gómez Daza¹



Cómo citar este artículo: Gómez Daza, L. (2017). Actualización e implementación del marco de referencia colombiano MAGNA ITRF2014. *Análisis Geográficos*, 53, 51-56.

Resumen

Según estándares internacionales de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), la Asamblea General de las Naciones Unidas (UN) y otras entidades, los diferentes marcos de referencia materializados a nivel mundial deben ceñirse a un conjunto de parámetros que den fiabilidad y confianza en cuanto a la calidad de los datos georreferenciados.

Colombia cuenta con un marco de referencia (MAGNA-SIRGAS) producto de la densificación del International Terrestrial Reference Frame (ITRF) que cumple con los requerimientos de los usuarios y que imprescindiblemente será modernizado acorde a los órdenes mundiales. Recientemente, la materialización del ITRF2014 consolidó una serie de análisis y observaciones que se ajustan al objetivo general de mantener y mejorar la infraestructura geodésica internacional en pro del desarrollo sostenible y, a su vez, del afianzamiento del GGRF (Global Geodetic Reference Frame).

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), como organismo rector de la geodesia en el país, en su misión de robustecer un marco de referencia estable y consolidado a nivel nacional, se encuentra en el proceso de actualización del ITRF de su red geodésica pasiva, compuesta por más de 5.000 puntos materializados, basándose en las metodologías internacionales y teniendo en cuenta las disposiciones de la organización SIRGAS. Esto implica la aplicación de conceptos como los modelos de velocidades regionales (VEMOS), variaciones en los parámetros de transformación (Rates) y la multiplicidad de realizaciones (ITRF e IGS) desde que la vigencia nacional fue establecida (ITRF94). Esto permite un acoplamiento pleno con el contexto mundial y regional, además de dar certeza en la información base para procesos de infraestructura, catastro, cartografía y demás que se lleven a cabo en el territorio nacional.

Palabras clave: MAGNA-SIRGAS, ITRF2014, Red Geodésica, GGRF.

¹Ingeniero catastral y geodesta. Grupo Interno de Trabajo Geodesia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Correo: luis.gomez@igac.gov.co; luegomezd@correo.udistrital.edu.co.





Abstract

According to international standards of the International Geodesy Association (IAG), the United Nations General Assembly (UN) and other entities, the different global reference frames must adhere to a set of parameters that allow reliability and confidence in the quality of the georeferenced data.

Colombia has a reference frame (MAGNA-SIRGAS) product of the densification of the ITRF (International Terrestrial Reference Frame) that complies the requirements of the users and that will inevitably be modernized according to the world orders. Recently, the ITRF2014 materialization consolidated a series of analyzes and observations that fully conform to the general objective of maintaining and improving the international geodetic infrastructure for sustainable development and, in turn, the strengthening of the Global Geodetic Reference Frame (GGRF).

The Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) as the guiding agency for geodesy in the country and its mission to strengthen a stable and consolidated reference frame at the national level, it is in the process of updating ITRF of its geodesic network composed of more than 5000 points materialized, based on international methodologies and taking into account the provisions of the SIRGAS organization. This implies the inclusion and application of concepts such as regional velocity models (VEMOS), variations in the parameters of transformation (Rates) and the multiplicity of realizations (ITRF and IGS) since the national validity was established (ITRF94). This allows a full coupling with the global and regional context, as well as providing certainty in the basic information for infrastructure, cadastre, mapping, mining, agriculture and other processes carried out in the national territory.

Keywords: MAGNA-SIRGAS, ITRF2014, Geodetic Network, GGRF.



Introducción

En el 2004, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) consolidó y adoptó el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS, densificando el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) que, a su vez, densifica el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF, por su sigla en inglés) que se concibe como la materialización a nivel global del sistema de referencia internacional terrestre (ITRS) (IGAC, 2004).

A nivel global, el Sistema de Observación Geodésico Global (GGOS, por su sigla en inglés) vincula y da interacción entre los componentes geométricos y físicos de la Tierra a través de estaciones de referencia que se conforman por diferentes técnicas de observación (SLR, VLBI, GNSS, DORIS), consolidando y robusteciendo el ITRF y sus densificaciones regionales (Bosy, 2014).

En el caso particular, la Red Geodésica Pasiva se compone de más de 5.000 vértices geodésicos materializados a través de pilastras, mojones e incrustaciones (figura 1) que consolidan un marco de referencia estable y consistente que, aunque cumple con los requerimientos de todos los usuarios, necesita actualizarse.

En función de la vinculación con el Global Geodetic Reference Frame (GGRF) y en

pro de modernizar, buscando omitir los rezagos temporales que se han generado a partir de la vigencia de MAGNA SIRGAS (ITRF94, época 1995.4), se buscó llevar toda la información geodésica colombiana al marco de referencia más reciente (ITRF2014) basado en parámetros y estándares planteados por organismos internacionales, teniendo en cuenta que esta última materialización demuestra que es superior a sus versiones pasadas (ITRF2008, ITRF2005 y anteriores) ya que modela con precisión las trayectorias reales de la estaciones de referencia (Altamimi, Rebischung, Métivier & Collilieux, 2016).

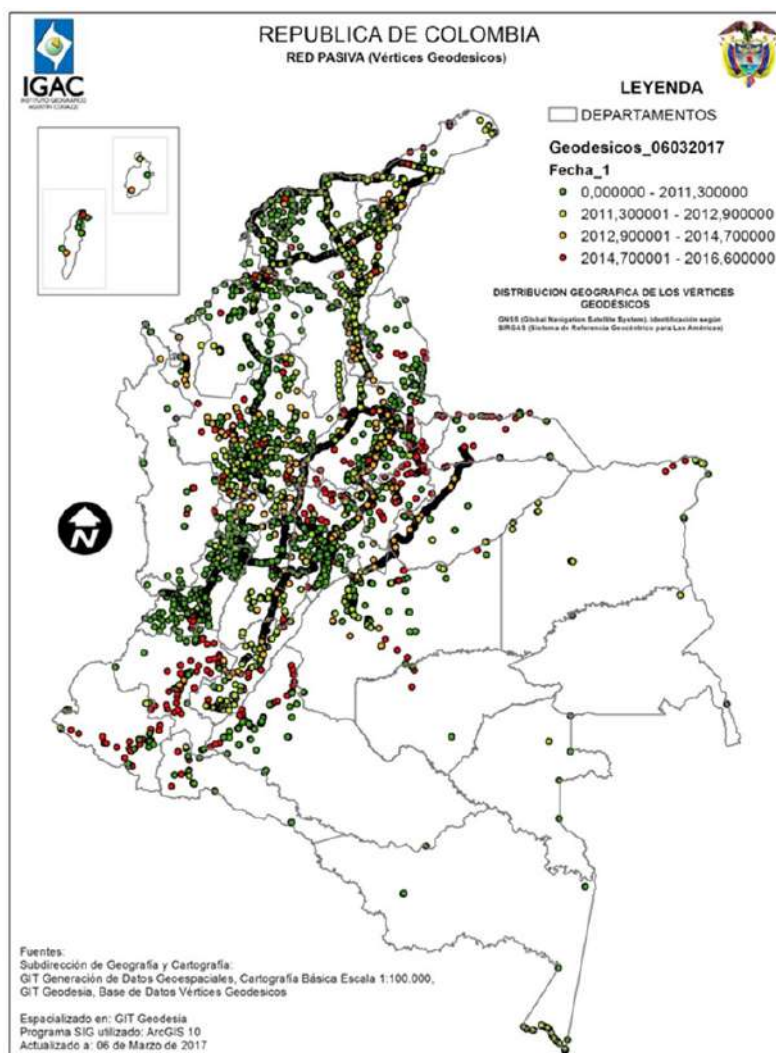


Figura 1. Red Geodésica Pasiva
Fuente: IGAC.



Desarrollo teórico y metodológico

La actualización del marco de referencia se enmarca en una secuencia de procesos que están intrínsecamente relacionados y que se basan en la consolidación de la información y en la aplicación de los parámetros establecidos para la conversión. En general, se puede describir el proceso de actualización en los siguientes literales:

- a) Búsqueda de información: consulta y estructuración de información almacenada históricamente por el IGAC.
- b) Depuración de datos: selección de registros que presentan las mejores calidades en cuanto a precisión, tiempos de rastreo y orden geodésico asociado.
- c) Preparación de insumos: consolidación de datos básicos para el proceso de transformación, como las fechas de rastreo de cada uno de los vértices geodésicos, los datos de velocidades y el valor de las coordenadas geocéntricas (X, Y, Z).
- d) Transformación de ITRF: aplicar parámetros de transformación entre los ITRF basados en las ecuaciones y variaciones de los mismos.
- e) Traslado de coordenadas por medio de modelos de velocidades: aplicar el valor de velocidad generado para cada punto, dado en metros/año.
- f) Identificación de variaciones: determinar los cambios que tuvo la coordenada en cada uno de sus componentes.

Como planteó el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México en su actualización de ITRF, la transformación

sigue un algoritmo o modelo matemático que busca llevar las coordenadas desde un ITRF inicial a un ITRF destino (INEGI, 2011), en nuestro caso, ITRF2014.

Marco conceptual

En el contexto teórico, la realización de un sistema de referencia terrestre (TRS, por la sigla en inglés de Terrestrial Reference System) a través de un TRF se compone de 14 parámetros de transformación asociados a la rotación (R), la traslación (T), la escala (D) y sus respectivas variaciones (ver siguiente ítem) (Altamimi, Sillard & Boucher, 2002). La ecuación 1, que es la matriz con los siete parámetros de Helmert, busca obtener unas coordenadas a partir de operar sistemáticamente el conjunto de valores que determinan la conversión de un ITRF a otro:

$$\begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde:

XS, YS, ZS son las coordenadas en el ITRF deseado (ITRF2008, ITRF2005, ITRF2000).

X, Y, Z son las coordenadas en el ITRF inicial.

T1, T2, T3 son los parámetros de traslación establecidos para las componentes x, y, z respectivamente.

R1, R2, R3 son los parámetros de rotación establecidos para las componentes x, y, z respectivamente.

D es el parámetro de escala.

Además, se entienden como *ratas* (*rates*) las variaciones respecto al tiempo de los

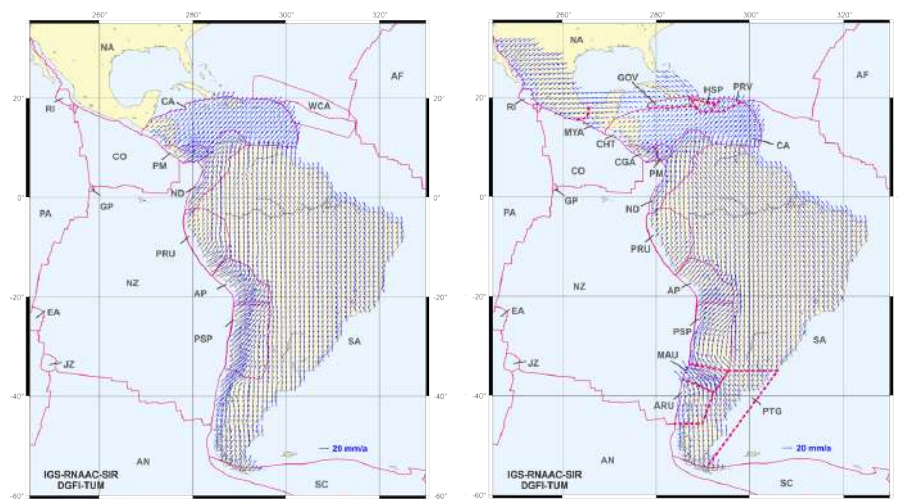


Figura 2. Modelo VEMOS2009 (izq.) referido al ITRF2005 (Drewes & Heidbach, 2012) y modelo VEMOS2015 (der.) referido al IGS08 (Sánchez & Drewes, 2016).

Fuente: <http://www.sirgas.org>.

siete parámetros de transformación entre marcos de referencia (Altamimi, Sillard & Boucher, 2002). La importancia de considerar estas tasas asociadas a cada uno de estos parámetros radica en que estas son las que evidencian los cambios temporales entre dos materializaciones.

Las velocidades reflejan un desplazamiento horizontal debido a los movimientos inherentes de la corteza terrestre. Para el caso de Suramérica, se han planteado varios modelos de velocidades, como el Velocity Model for SIRGAS (VEMOS), que se obtienen a partir de mediciones GPS de diferentes estaciones en determinados intervalos de tiempo. Actualmente se encuentra vigente el modelo VEMOS2009 y el modelo VEMOS2015 (figura 2).

Conclusiones

De acuerdo con los estándares internacionales, el procedimiento de transformación está subyugado a la aplicación bien fundamentada de parámetros y fórmulas matemáticas preestablecidas. En cuanto al cambio de ITRF, no se da cabida a la incertidumbre dado que la transformación no se ve afectada por mediciones o estimaciones estadísticas, simplemente está sujeta a operaciones aritméticas y matriciales (Helmert).

Las variaciones que se presentaron en la componente geocéntrica X (entre 1,8 cm y 31,5 cm), la componente geocéntrica Y (entre 0,75 cm y 14,3 cm) y la componente geocéntrica Z (entre 15,3 cm y 42,5 cm) reflejan los cambios que pueden presentar los valores de una coordenada en un intervalo de tiempo superior a 22 años, donde se destaca la alta influencia ejercida por los movimientos de la corteza terrestre.

Como resultado de la transformación, se puede deducir que todos los datos recopilados fueron plenamente transformados al ITRF2014 con la época de referencia establecida, sin dejar atrás detalles como las unidades en las cuales se expresan los parámetros de transformación y el hecho de que existen diferencias entre realizaciones IGS e ITRF.

Se recomienda mantener siempre el marco de referencia actualizado y que el proceso sea dinámico en función de las realizaciones y las publicaciones ligadas a los organismos internacionales. Además, se debe establecer un sistema para la medición de los movimientos horizontales y verticales a nivel local (Colombia), garantizando los rastreos continuos y con intervalos de tiempo considerables en función de tener más precisión en estas variaciones.





Bibliografía



Altamimi, Z., Sillard, P. & Boucher, C. (2002). ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications. *Journal of Geophysical Research*, 107(B10), ETG 2-1–ETG 2-19. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001JB000561>.

Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L. & Collilieux, X. (2016), ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 6109-6131. doi:10.1002/2016JB013098.

Bosy, J. (2014). Global, Regional and National Geodetic Reference Frames for Geodesy and Geodynamics. *Pure and Applied Geophysics*, 171, 783-808. doi:10.1007/s00024-013-0676-8.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2004). *Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia Magna-Sirgas con Datum oficial de Colombia*. Bogotá: IGAC.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2011). *El cambio de Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITFR) en México*. México: INEGI. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/doc/el_cambio_de_itrf.pdf.





Identificación de cultivos de arroz empleando imágenes Sentinel-1

Identification of rice crops using Sentinel-1 images

Rafael Ángel Girón Girón¹, Francisco Luis Hernández Torres²



Cómo citar este artículo: Girón Girón, R. & Hernández Torres, F. (2017). Identificación de cultivos de arroz empleando imágenes Sentinel-1. *Análisis Geográficos*, 53, 57-67.

Resumen

El arroz se encuentra entre los principales alimentos producidos y consumidos en Colombia. De acuerdo con el 4º Censo Nacional Arrocerero, se ha presentado un aumento en su producción, que ahora alcanza las 2.971.975 toneladas a nivel nacional. El objetivo de este estudio fue identificar los arrozales en el municipio de Jamundí, Valle del Cauca, entre marzo y abril del 2017, a partir de tres imágenes de radar Sentinel-1. Se realizó el proceso de múltiples miradas (*multilooking*). Se aplicó un filtro de mediana de 7 x 7 para reducir el moteado (*speckle*). Se realizó el ajuste geométrico con ayuda de un modelo de elevación digital (DEM) SRTM de tres segundos de resolución. Posteriormente se calibró radiométricamente cada imagen y se obtuvieron los valores de retrodispersión (σ_0). Después del preprocesamiento, se compilaron las tres imágenes y se recortó la zona de estudio para minimizar los tiempos de ejecución. Se definieron cuatro vectores de entrenamiento: pastos, zona urbana, agua y arroz. A partir de los vectores identificados, se entrenó una máquina de soporte vectorial (SVM) con una función de base radial y, por último, se validó la precisión de la clasificación comparando el resultado con el mapa de coberturas del suelo de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Se obtuvo una precisión general del 70%, una precisión del usuario del 83% y una precisión del productor del 64%. El índice kappa fue de 0,55.

Palabras clave: teledetección, radar, cultivos de arroz, máquina de soporte vectorial, retrodispersión.

¹Ingeniero topográfico. Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Percepción Remota GIPER. Correo: rafael.giron@correounivalle.edu.co.

²Magíster en Ingeniería. Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Percepción Remota GIPER. Correo: francisco.hernandez@correounivalle.edu.co.





Abstract

Rice is among the main foods produced and consumed in Colombia. According to the 4th National Census of Rice Crops, there has been an increase in production that now reaches 2'971.975 tons at the national level. The objective of this study is to identify the rice fields in the municipality of Jamundí, Valle del Cauca, from 3 Sentinel 1 radar images between March and April 2017. The multilooking process was carried out. A medium filter of 7 x 7 was applied to reduce speckle. The geometric adjustment was performed with a 3-second SRTM digital elevation model (DEM). Subsequently, each image was calibrated radiometrically and the backscatter values (σ^0) were obtained. Following the pre-processing, the three images were compiled and the study area was trimmed to minimize execution times. Four training vectors were defined: pasture, urban area, water and rice. From the vectors identified, a support vector machine (SVM) was trained with a radial basis function. Finally, the accuracy of the classification was validated by comparing the result with the land cover map of the Regional Autonomous Corporation of the Valley Cauca (CVC). Overall accuracy of 70%, user accuracy of 83% and producer accuracy of 64% were obtained. The kappa index was 0.55.

Keywords: remote sensing, radar, rice crops, vector support machine, backscatter.



Introducción

La seguridad alimentaria es una prioridad en Colombia, ya que alrededor del 43% de la población no tiene acceso diario a suficiente comida (Epstein, 2017). La agricultura nacional tiene una gran relevancia y de esta depende la generación de una solución rápida y oportuna que beneficie la producción de alimentos que cubran la demanda. Entre los alimentos producidos y consumidos en Colombia el arroz es uno de los más importantes, junto con el maíz y el trigo, considerados como los principales cereales. Este producto es consumido por más de la mitad de la población mundial y es cultivado en gran cantidad de países, especialmente asiáticos, como China, India, Vietnam, Japón, Bangladés y Tailandia.

De acuerdo con los resultados del 4º Censo Nacional Arrocero, realizado en el 2016, la producción de este cereal creció considerablemente desde el último censo llevado a cabo hace nueve años, en el 2007, con un total de 2.971.975 toneladas (Creció la producción de arroz mecanizado del país, 2017). Aun así, este año se han de importar 98.000 toneladas desde Estados Unidos (Por el TLC entrarán 98.000 toneladas de arroz al país, 2017).

El mejoramiento de las prácticas de cultivo es de gran importancia para aprovechar el suelo y aumentar la producción. Además, conocer la distribución de los cultivos en el territorio nacional contribuye a identificar las áreas sembradas en el país para desarrollar posteriores planes de manejo con información actualizada que brinde herramientas para fortalecer la productividad del sector, mejorar la calidad de vida de los productores, formular políticas sobre cambio climático y sostenibilidad de la biodiversidad, así como promover el desarrollo tecnológico, buscando eficiencia económica y

mayor competitividad. Este es, de hecho, el objetivo principal de los censos nacionales arroceros.

No obstante, los métodos utilizados para identificar las áreas de cultivos de arroz consisten en técnicas de geoposicionamiento aplicadas directamente en campo. Aunque es preciso, este método es demorado y se requiere mucho personal y equipo especializado y costoso para lograrlo. Pensando en esto, se han desarrollado métodos para encontrar las áreas de cultivos de arroz empleando técnicas de percepción remota desde plataformas satelitales.

Los sensores remotos son considerados como una herramienta poderosa que posibilita analizar la superficie terrestre con un gran cubrimiento espacial y temporal. Entre los sensores existentes se encuentran los ópticos y los de radar; los primeros son sensores pasivos que requieren de la energía del sol o de los objetos para registrar la reflectividad de la superficie, mientras que los segundos son sensores activos que generan la energía que será emitida hacia la superficie y posteriormente registran lo que reflejan las superficies. Para los sensores ópticos, la nubosidad es un obstáculo que impide estudiar ciertas zonas de la superficie y esto es especialmente relevante para los cultivos de arroz que, en su mayoría, se encuentran sobre el trópico, donde el porcentaje de nubosidad es alto (Qin et al., 2015). Debido a esto, se han desarrollado diferentes investigaciones para identificar cultivos de arroz a partir de sensores de radar que logran registrar información de la superficie terrestre incluso con nubosidad, además de hacerlo de día y de noche, ya que no requieren de la energía del sol.

Nguyen et al. (2015) utilizaron imágenes monopolarimétricas de la plataforma Envisat ASAR para delimitar arrozales en el delta del río Mekong, en Vietnam; al ser de





una sola polarización, emplean una cantidad alta de imágenes y así logran conocer la variabilidad anual del coeficiente de retrodispersión (σ_0) dentro de los cultivos, y de esta manera definen un rango dentro del cual el uso del suelo es de cultivos de arroz. Del mismo modo, Oyoshi et al. (2016) definen un umbral con valores de retrodispersión por medio de imágenes Radarsat-2 en las polarizaciones VV y VH, y encontraron que existe una mayor separabilidad entre las coberturas en la polarización VH.

Para definir las áreas de arroz en el delta del río Mekong, Chen et al. (2016) utilizaron escenas Sentinel 1A y, al igual que Oyoshi et al. (2016), emplean las polarizaciones VV y VH, pero aplican un índice normalizado diferenciado de retrodispersión (SDHD) para la etapa de siembra (SD) y macollaje (HD) y aplican una segmentación a partir del método denominado “característica operativa del receptor” (ROC). Zhang et al. (2009) emplean tres imágenes ALOS/PALSAR en la banda L y de polarización HH. Para clasificar las escenas se valen de una máquina de soporte vectorial entrenada con valores de retrodispersión (σ_0) de cada cobertura a clasificar. En otro estudio, Jain, Patnaik y Panigrahy (2014) identificaron una variedad o tipo específico de arroz llamado *basmati* a partir de imágenes Radarsat-2 con polarizaciones HH y HV, método con el que definieron un conjunto de reglas por medio de la retrodispersión para posteriormente segmentar la imagen.

A diferencia de los estudios mencionados, Hoang et al. (2016) procesan imágenes Radarsat-2 de polarización dual y cual aplicando dos métodos para segmentar: umbralización y máquina de soporte vectorial. Para el primer método definen un cociente o razón con los valores de σ_0 en la polarización HH, ya que se consiguió una

mejor discriminación del cultivo frente a la polarización VV; por medio de este cociente se definió el rango de σ_0 para el cultivo de arroz. El segundo método se aplica con los datos cuádruples de polarización y alcanza mayores precisiones que con el método anterior.

Contrario a los otros autores, Xie et al. (2015) se basaron en dos parámetros polarimétricos híbridos para la discriminación de los arrozales: la proporción de polarización lineal μ_L y el grado de polarización lineal P_L . Para la clasificación ejecutaron el algoritmo de Otsu, que hace factible binarizar la imagen entre áreas con y sin arroz. Shao et al. (2001) mapearon áreas de arroz con escenas Radarsat-1, para lo cual diseñaron una red neuronal artificial (RNA) entrenada con valores de retrodispersión que arrojó como resultado las áreas de coberturas definidas previamente. Torbick et al. (2017) y Hütt et al. (2016) integran datos de imágenes multiespectrales y de radar para diferenciar coberturas de arrozales para segmentar; en ambos estudios se aplica el clasificador Random Forest. En términos generales, todos los estudios presentados generaron resultados con precisiones altas, que reflejan su efectividad.

A partir de estos estudios, se desarrolló este proyecto en el que se espacializaron las áreas de cultivos de arroz en el municipio de Jamundí, en el departamento del Valle del Cauca, empleando imágenes de radar del satélite Sentinel 1B con polarización VH. A continuación se presenta la zona de estudio y los materiales requeridos; luego, los métodos que incluyen el preprocesamiento y el procesamiento de las imágenes; seguidamente, los resultados obtenidos y, por último, la discusión y las conclusiones.



Métodos y materiales

El estudio se desarrolló en el municipio de Jamundí, en el departamento del Valle del Cauca, Colombia, con coordenadas geográficas 3° 12' 20" de latitud norte y 76° 37' 37" de longitud oeste, al suroccidente de Colombia. Este municipio es el mayor productor de arroz del departamento.

Se adquirieron tres imágenes de radar del sensor Sentinel 1B del año 2017 con las fechas, 21 de marzo, 1 de abril y 24 de abril. Las imágenes se obtuvieron de la página oficial de la Agencia Espacial Europea (ESA, 2013: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

Estas escenas tienen una resolución espacial de 5 x 20 metros y una resolución temporal de 12 días (tabla 1). Se escogió el canal de polarización VH para realizar el trabajo, ya que estudios como el de Oyoshi et al. (2016) y Chen et al. (2016) destacan la utilidad de este canal para discriminar arrozales.

Preprocesamiento

Se llevó a cabo un preprocesamiento para minimizar efectos provocados por el sensor y, además, para encontrar el coeficiente de retrodispersión adecuado, que es indispensable para lograr la discriminación de los cultivos de arroz.

Para el preprocesamiento de las tres imágenes se empleó el software libre SNAP. Primero se calibraron las escenas y después se aplicó el método de *multilooking* y un filtro de mediana de tamaño 7 x 7 con el objeto de reducir el *speckle* o ruido por moteado. Posteriormente se realizó la corrección geométrica de las imágenes por medio de un modelo de digital de elevación (DEM) SRTM de 3 segundos de resolución. Posteriormente, se obtuvieron los valores de retrodispersión (σ^0) por cada pixel de la imagen a partir de la ecuación 1.

$$\sigma^0_{ij} = 10 \log_{10}[(ND)] \quad (1)$$

Donde, σ^0_{ij} es el coeficiente de retrodispersión en el pixel de la fila i y la columna j ; ND es el valor de los niveles digitales.

Tabla 1. Principales características de las imágenes Sentinel 1B

Parámetro	Característica
Satélite	Sentinel 1B
Altura orbital	693 km
Sensor	C-SAR
Modo	Ancho de banda interferométrico (IW)
Polarización	Dual (HH+HV, VV+VH)
Ángulos de incidencia	29.1° - 46.0°
Resolución en azimut	20 m
Resolución en rango terrestre	5 m
Miradas en azimut y rango	Simple
Faja	250 km
Nivel y tipo	1 GRD
Ruido máximo equivalente a sigma cero	-22 dB
Estabilidad radiométrica	0.5 dB (3 σ)
Precisión radiométrica	1 dB (3 σ)
Error de fase	5°

Fuente: ESA, 2013.





Clasificación

Después del preprocesamiento, se compilieron las tres imágenes y se recortó la zona de estudio para minimizar los tiempos de ejecución de los procesos siguientes (Zhang et al., 2009). Se procedió luego a generar regiones o áreas de interés (ROI) para las coberturas a clasificar utilizando el programa ENVI 5.1. Así, se definieron cuatro clases, a saber: 1) cultivos de arroz, 2) pastizales, 3) cuerpos de agua y 4) zonas urbanizadas.

Máquina de soporte vectorial

El clasificador utilizado es una máquina de soporte vectorial, que consiste en un algoritmo inteligente que aprende cómo segmentar una imagen a partir de unos vectores de entrenamiento o vectores de soporte que, para este caso, consistieron en el conjunto de datos de retrodispersión de las tres imágenes por cada una de las clases definidas (ecuación 2). Así, el algoritmo determina una superficie, en principio lineal, que separe las clases empleando una función o kernel; esta superficie es llamada hiperplano.

Para más de dos clases, como en este caso de estudio, se utiliza un kernel polinomial o de base radial. La ecuación 3 presenta la función de base radial (RBF) utilizada para estas imágenes.

$$\langle w, x_n \rangle + b = 0 \quad (2)$$

Donde w es el peso que tiene cada valor característico y b es un coeficiente adicional.

$$K = e^{(-g||x_i - x_j||^2)}, \quad g > 0 \quad (3)$$

Donde g es el término gamma, x_i y x_j son los componentes del vector soporte.

A partir de la imagen obtenida con el clasificador se encontró el área, en hectáreas, de los cultivos de arroz sembrados en el municipio de Jamundí. Para validar la veracidad de la imagen clasificada por el método de la máquina de soporte vectorial, se aplicó el índice o coeficiente kappa (ecuación 4).

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}} \quad (4)$$

Donde n es el tamaño de la muestra, X_{ii} el acuerdo observado, X_{i+} X_{+i} el acuerdo esperado por cada clase i . Esto posibilita cuantificar el nivel de acierto de la imagen clasificada frente a la realidad. Para corroborar la veracidad y fiabilidad de la clasificación, se eligió una muestra de 30 puntos aleatorios dentro del área de estudio, generando de esta manera una matriz de error.

Resultados

El método de la máquina de soporte vectorial se desarrolló con un valor del parámetro gamma igual a 0,3, obteniendo así un mapa temático que indica las principales zonas cultivadas con arroz, como se aprecia en la figura 2 (izquierda).

Es necesario aclarar que en el proceso de segmentación se suprimió la parte montañosa de la cordillera Occidental para evitar incompatibilidades, debido a que no se aplicaron ajustes topográficos; de lo contrario podrían presentarse errores muy graves en las clases obtenidas.

Con la clasificación ejecutada, se identificó un área de 2.241,07 hectáreas de cultivos de arroz frente a las 1.907 ha halladas mediante el mapa de coberturas del suelo dispuesto en el geoportal de la Corporación Autónoma Regional del Valle del





Cauca (CVC), es decir que tiene una diferencia de 334 hectáreas aproximadamente. En la figura 1 se presentan las zonas de Jamundí identificadas con campos de arroz de acuerdo al método de segmentación aplicado. En la tabla 2 se detallan las áreas en hectáreas de las cuatro clases identificadas en el mapa temático.

A partir de los valores del coeficiente de retrodispersión de las áreas de interés elegidas para el entrenamiento de la máquina de soporte vectorial, se construyeron diagramas de cajas o *boxplots* para interpretar las diferencias entre los valores de las cuatro clases. En la figura 2 se muestran

los diagramas de cajas para las cuatro clases en las tres temporalidades de análisis.

Al construir la matriz de confusión con las clases de zona urbana, cuerpos de agua, pasturas y cultivos de arroz, se obtuvo una precisión general del 70%, una precisión de usuario del 83% y una precisión del productor del 64%. Para el arroz específicamente se obtuvo una precisión del usuario y del productor del 75 y el 50% respectivamente y un coeficiente kappa igual a 0,4231 que indican una fuerza de concordancia moderada (López de Ullibarri & Pita Fernández, 1999). El índice kappa de toda la clasificación en general fue de 0,5485.

Tabla 2. Áreas de las coberturas clasificadas

Clase	Área (ha)
Cultivo de arroz	2241,1
Zona urbana	866,7
Cuerpos de agua	35,4
Pastizales	21077,3

Fuente: elaboración de los autores.

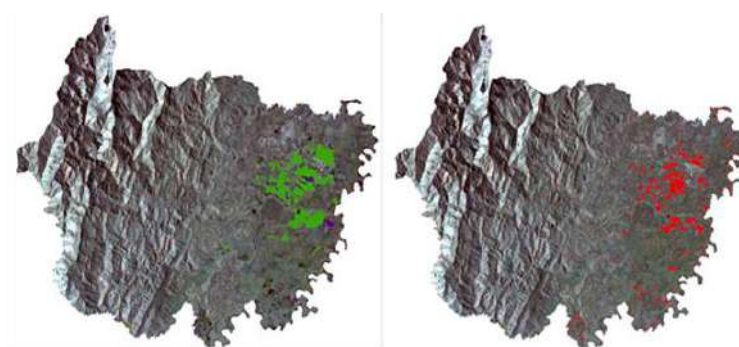


Figura 1. Comparación entre las zonas de cultivos de arroz identificadas por la CVC (der.) y las obtenidas en este estudio (izq.)

Fuente: elaboración de los autores.

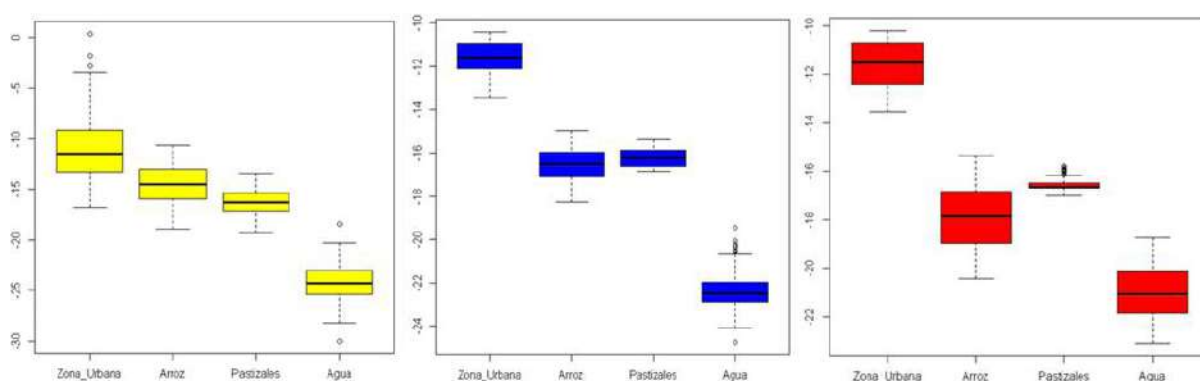


Figura 2. Variación del coeficiente de retrodispersión para los 4 tipos de uso del suelo definidos para las fechas: 03/21/2017 (izq.), 04/01/2017 (centro) y 04/25/2017 (der.)

Fuente: elaboración de los autores.





Discusión

La metodología desarrollada se asemeja a la aplicada por Zhang et al. (2009), aunque en este estudio se usan imágenes en la banda C y canal VH de polarización, mientras los autores mencionados emplean imágenes en la banda L y en el canal polarimétrico HH. Al igual que anotan estos autores, se logró diferenciar fácilmente las zonas urbanas y los cuerpos de agua del resto de clases por sus valores de retrodispersión, que en las zonas construidas es grande y en los cuerpos de agua es pequeño (figura 2).

Sin embargo, los cultivos de arroz presentan confusión con las zonas de vegetación herbácea debido a que los valores del coeficiente de retrodispersión son similares, especialmente en la imagen del 1º de abril de 2017 (figura 2). Esto ocasiona problemas de clasificación que se evidencian principalmente al borde del río Cauca, donde se identifican supuestas áreas cultivadas con arroz (figura 1). Este problema es similar al expuesto por Zhang et al. (2009), pues en su estudio se presentaban valores parecidos de retrodispersión entre los arrozales, los cultivos secos y las huertas.

De otro lado, la variabilidad del coeficiente de retrodispersión es diversa para los campos con cultivos de arroz en las tres temporalidades establecidas. De esto se deduce que es más apropiado aumentar el número de imágenes para mejorar la discriminación de esta cobertura (Nguyen et al., 2015), ya que hay varias parcelas con plantas de arroz en diferentes etapas fenológicas a la vez, por lo cual el comportamiento de la retrodispersión no es homogéneo.

Contrario a lo que anotan otros autores (Nguyen et al., 2015; Oyoshi et al., 2016; Chen et al., 2016), en este estudio no se

tomaron datos en campo para verificar la precisión de la clasificación, y esto genera una mayor incertidumbre en el resultado obtenido.

Conclusiones

Se identificaron las principales zonas arroceras de Jamundí por medio de imágenes de radar. Aun así, queda claro que debe mejorarse el método de clasificación aumentando el número de imágenes para conocer acertadamente el comportamiento del coeficiente de retrodispersión para las clases definidas, principalmente para los cultivos de arroz, pues el disponer de pocos datos (imágenes) no posibilita conocer bien la variabilidad de una zona arroceras cuyas etapas fenológicas no son homogéneas. En Jamundí no se sigue un calendario preciso de cultivo, lo que ocasiona que en cada momento existan distintos estados fenológicos de la planta.

Para trabajos futuros, se pueden utilizar imágenes de un año completo de la zona, tanto de los satélites Sentinel 1A como Sentinel 1B para lograr una resolución temporal de seis días, lo que posibilitará un seguimiento más completo de los cultivos, no solo para conocer su ubicación, sino también la producción y el rendimiento en cada momento. Esto facilitará la generación de modelos predictivos de cada parcela o hacienda a partir de un monitoreo continuo de las mismas.

De otro lado, el método clasificador definido es una buena opción para lograr óptimos resultados. Igualmente, este debe ser claramente supervisado, o pueden combinarse métodos no supervisados y supervisados para mejorar la identificación de las clases. Se ha comprobado en estudios anteriores que los algoritmos inteligentes son bastante apropiados, pero para su correcto uso se deben definir claramente vectores





con características que representen fielmente la cobertura a identificar.

Los resultados presentados en este trabajo son útiles para desarrollar un inventario de los cultivos de arroz del municipio, y para

estudios posteriores en ámbitos como la evaluación de la producción, el rendimiento y el calendario del cultivo o la concentración de emisiones de metano u óxido nitroso por unidad de área.





Bibliografía



- Chen, C. F., Son, N. T., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Chiang, S. H. (2016). Rice crop mapping using Sentinel-1A phenological metrics. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 863-865. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B8/863/2016/isprs-archives-XLI-B8-863-2016.pdf>.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2011). Protocolo de información: Sistema de información, Capa, cobertura y uso del suelo. Recuperado de <http://www.geocvc.co/visor>.
- Creció la producción de arroz mecanizado del país (12 de febrero del 2017). *Portafolio*, recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/crece-produccion-de-arroz-mecanizado-en-colombia-503335>.
- Epstein, L. (2017). *Seguridad alimentaria en Colombia*. Bogotá: Asociación Ambiente y Sociedad. Recuperado de <http://www.ambienteysociedad.org.co/es/nueva-publicacion-seguridad-alimentaria-en-colombia/>.
- European Spatial Agency (ESA). (2013). *Sentinel-1 User Handbook*. Recuperado de https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook
- Hoang, H. K., Bernier, M., Duchesne, S., & Tran, Y. M. (2016). Rice Mapping Using RADARSAT-2 Dual- and Quad-Pol Data in a Complex Land-Use Watershed: Cau River Basin (Vietnam). *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(7), 3082-3096. doi:10.1109/jstars.2016.2586102.
- Hütt, C., Koppe, W., Miao, Y.X., Bareth, G. (2016). Best Accuracy Land Use/Land Cover (LULC) Classification to Derive Crop Types Using Multitemporal, Multisensor, and Multi-Polarization SAR Satellite Images. *Remote Sensing*, 8(8), 684. doi:10.3390/rs8080684.
- Jain, V., Patnaik, C. & Panigrahy, S. (2014). A feasibility study on identification of Basmati (aromatic) rice using SAR data. *Journal of Earth System Science*, 123, 1831-1838. <https://doi.org/10.1007/s12040-014-0508-y>.
- López de Ullibarri Galparsoro, I. & Pita Fernández, S. (1999). Medidas de concordancia: el índice de Kappa. *Cad Aten Primaria*, 6, 169-171. <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.asp>.
- Nguyen, D. B., Clauss, K., Cao, S., Naeimi, V., Kuenzer, C., & Wagner, W. (2015). Mapping rice seasonality in the Mekong Delta with multi-year Envisat ASAR WSM data. *Remote Sensing*, 7(12), 15868-15893. <https://doi.org/10.3390/rs71215808>.



Bibliografía



Oyoshi, K., Tomiyama, N., Okumura, T., Sobue, S., & Sato, J. (2016). Mapping rice-planted areas using time-series synthetic aperture radar data for the Asia-RiCE activity. *Paddy and Water Environment*, 14(4), 463-472. <https://doi.org/10.1007/10333-015-0515-x>.

Por el TLC entrarán 98.000 toneladas de arroz al país (30 de enero 2017). *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/toneladas-de-arroz-que-entran-a-colombia-por-tlc-29949>.

Qin, Y., Xiao, X., Dong, J., Zhou, Y., Zhu, Z., Zhang, G., ... & Li, X. (2015). Mapping paddy rice planting area in cold temperate climate region through analysis of time series Landsat 8 (OLI), Landsat 7 (ETM+) and MODIS imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 105, 220-233. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.04.008>.

Shao, Y., Fan, X., Liu, H., Xiao, J., Ross, S., Brisco, B., ... & Staples, G. (2001). Rice monitoring and production estimation using multitemporal RADARSAT. *Remote Sensing of Environment*, 76(3), 310-325.

Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W., & Qi, J. (2017). Monitoring Rice Agriculture across Myanmar Using Time Series Sentinel-1 Assisted by Landsat-8 and PALSAR-2. *Remote Sensing*, 9(2), 119. <https://doi.org/10.3390/rs9020119>.

Xie, L., Zhang, H., Wu, F., Wang, C., & Zhang, B. (2015). Capability of rice mapping using hybrid polarimetric SAR data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(8), 3812-3822. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2387214>.

Zhang, Y., Wang, C., Wu, J., Qi, J., & Salas, W. A. (2009). Mapping paddy rice with multitemporal ALOS/PALSAR imagery in southeast China. *International Journal of Remote Sensing*, 30(23), 6301-6315. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160902842391>.





LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS

En la sede central del **IGAC**, ubicada en Bogotá, existe un lugar donde los usuarios llevan las muestras de suelo, compost, tejido vegetal y agua para diagnóstico.

Se trata del **Laboratorio Nacional de Suelos**, un lugar en donde se realizan análisis físicos e ingenieriles, químicos, biológicos, mineralógicos y micromorfológicos de suelos, calidad de agua para riego, fitopatología, análisis de abonos y compost, recomendaciones técnicas para cultivos (enmiendas y fertilización) e investigación aplicada con base en estas temáticas.

RESULTADOS OFRECIDOS

En razón de su experiencia analítica, el Laboratorio Nacional de Suelos ofrece una amplia gama de análisis con estándares de calidad. Cuando el cliente lo solicita se realiza una interpretación y/o recomendación general.

ANÁLISIS FÍSICOS E INGENIERILES

Las **propiedades físicas** involucran cada una de las fases de formación del suelo y desarrollo del perfil y permiten evaluar aspectos edáficos, taxonomía, fertilidad, riego, drenaje, manejo y conservación.

En el campo ingenieril, los análisis permiten conocer la aptitud de los materiales para su utilización y aprestamiento.

ANÁLISIS QUÍMICO

Determina y cuantifica los nutrientes del suelo. Estos análisis se realizan para **establecer el estado nutricional del suelo y determinar su calidad agrícola**. Con esta información se toman decisiones para el mejoramiento de los suelos y cultivos mediante el uso de enmiendas de fertilizantes o de abonos orgánicos.

ANÁLISIS BIOLÓGICO

La evaluación de las poblaciones biológicas permite **reconocer el estado nutricional y de salubridad de un suelo**. Las bacterias, hongos, algas y fauna del suelo son considerados los principales responsables de la degradación de la materia orgánica y de la liberación de los nutrientes, lo que condiciona la fertilidad y capacidad de sustento de las plantas.

ANÁLISIS DE AGUA PARA RIEGO

Consta de dos análisis, **químico** y **biológico**. El primero cuantifica la concentración y composición de los iones que determinan la calidad del agua para riego, mientras que el segundo detecta indicadores de riesgo sanitario, lo que alerta sobre su aplicabilidad en el campo agrícola y pecuario.

ANÁLISIS MINERALÓGICO Y MICROMORFOLÓGICO

El análisis mineralógico evalúa las fracciones de arena y arcilla lo que permite apoyar el reconocimiento de la génesis, la taxonomía y la fertilidad potencial de un suelo.

Por su parte, con la caracterización micromorfológica se reconoce la microestructura del suelo, siendo de gran utilidad en la clasificación taxonómica.

ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Permite **evaluar el ambiente nutricional suelo-planta**, al confirmar el requerimiento de un nutriente particular especificando un tratamiento correctivo.

Con un análisis químico, se determinan los elementos nutritivos presentes en diferentes partes de la planta y de esta forma se pueden implementar planes de fertilización y mantenimiento de cultivos. También se evalúa la posible existencia de patógenos que atacan las plantas (hongos, bacterias y nemátodos) y según requerimiento se procede con su identificación.



Análisis de presiones en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia

Pressure analysis in the Natural National Park System of Colombia

Luisa Corredor Gil¹



Cómo citar este artículo: Corredor Gil, L. (2017). Análisis de presiones en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. *Análisis Geográficos*, 53, 69-85.

Resumen

A partir del monitoreo de coberturas de la tierra que los Parques Nacionales Naturales de Colombia viene desarrollando desde el 2002 y que a la fecha desarrolla su quinto periodo de análisis, actualmente la entidad concentra sus esfuerzos en analizar las áreas de presión donde se ha perdido la cobertura natural por causas antrópicas. En este artículo se muestra cómo, con el uso de los sensores remotos y los sistemas de información geográfica, la entidad facilita el conocimiento del comportamiento de las presiones para la toma de decisiones. La caracterización detallada de estas áreas permite conocer mejor el fenómeno, ejercer alertas tempranas de transformación de coberturas naturales y aumentar la capacidad de reacción ante la aparición de nuevas presiones; así mismo, el análisis de vectores de expansión facilita la identificación de áreas con persistencia y los análisis multitemporales permiten visualizar el comportamiento de las presiones a través del tiempo.

Palabras clave: transformación de coberturas, presiones antrópicas, coberturas naturales, conservación, manejo de recursos naturales, Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Especialista en geomática. Analista de SIG y sensores remotos. Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones, Subdirección de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas, Parques Nacionales Naturales de Colombia. Correo: sensores.remotos@parquesnacionales.gov.co.





Abstract

From the land cover monitoring that the National Natural Parks of Colombia has been developed since 2002 and that up to now develops the fifth period of analysis, currently the entity concentrates its efforts in analyzing areas under pressure, where natural cover has been lost due to anthropic causes. The purpose of the paper is to show how, with the use of remote sensors and geographic information systems, National Parks of Colombia as an institution facilitates the information on pressures behavior for decision making purposes. The detailed characterization of these areas allows us to know in more detail the phenomenon, the exercise of early warnings of transformation of natural coverages, allows to increase the capacity of reaction before the appearance of new pressures and the analysis of expansion vectors, the identification of areas with persistence and multi-temporal analysis allow to see the behavior of pressures over time.

Key words: *transformation of coverages, anthropic pressures, natural coverages, conservation, natural resources management, National Natural Parks of Colombia.*



Introducción

El Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) y la coordinación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia tienen el propósito de conservar in situ la diversidad biológica y ecosistémica representativa del país, proveer y mantener bienes y servicios ambientales, y proteger el patrimonio cultural y el hábitat natural donde se desarrollan las culturas tradicionales como parte del patrimonio nacional.

En cumplimiento de esta misión, la entidad elaboró el plan estratégico para el periodo 2007-2019 acorde con la Constitución, las políticas, los convenios y los tratados internacionales para el manejo de las áreas protegidas en el país. Dicho plan tiene, dentro de sus componentes, el subprograma de monitoreo, cuyo objetivo general es contar con información oportuna y sistematizada del estado y las presiones de los valores objeto de conservación.

A partir del monitoreo de coberturas de la tierra efectuado en el periodo 2014-2015 se ha calculado que hay 347.186 ha en presión que corresponden al 2,6% del total del sistema de Parques Nacionales Naturales. Así mismo, en el último análisis de cambios entre los periodos 2010-2012 y 2014-2015 se observó una transformación de 92.461 ha.

Estas altas dinámicas de las coberturas naturales son una preocupación para Parques Nacionales, por lo cual a través herramientas de la geomática y los sensores remotos realiza el monitoreo y el análisis de las presiones con miras a brindar información para el manejo dentro de las áreas protegidas.

Desarrollo teórico y metodológico

El monitoreo de coberturas de la tierra en Parques Nacionales se desarrolla mediante la utilización de imágenes satelitales del programa Landsat 7 ETM+ y se aplica la metodología y la leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000 (figura 1).

Entre las ventajas de este proceso está la de obtener una capa de coberturas de la tierra de una manera relativamente rápida y sencilla, utilizar una metodología jerárquica que se adapta a diferentes temáticas y escalas de trabajo y presentar una de las mejores relaciones calidad-costos existentes para garantizar su continuidad en el tiempo, de forma que permita el análisis multitemporal y la comparación de datos, porcentajes de uso y ocupación del territorio de manera frecuente y sistemática.

En términos generales, se puede decir que estos procedimientos metodológicos tienen como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos a escala 1:100.000 sobre la cobertura del territorio mediante la interpretación visual de imágenes satélites. La unidad de mapeo mínima superficial es de 25 hectáreas, con excepción de 5 hectáreas para los territorios artificializados, 50 metros de grosor en elementos lineales y reporte de cambios mayores a 5 hectáreas entre dos periodos, usando una leyenda jerárquica con hasta 6 niveles de detalle, agrupadas en 5 clases.



LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE - COLOMBIA	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y AREAS SEMI-NATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativas	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.1.1. Herbazal denso
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.2.3. Arracachal
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.1.2.4. Helechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2. Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4. Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5. Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6. Amapola	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2. Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4. Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5. Coca	4. AREAS HUMEDAS
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3. Cítricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4. Mango	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Salitral
2.3. Pastos	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.3.2. Pastos arbolados	5.1. Aguas continentales
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (l)
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2. Aguas marítimas
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Figura 1. Leyenda Nacional de Coberturas, metodología Corine Land Cover adaptada a Colombia escala 1:100.000

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), (2010).



Monitoreo del estado presión

A partir de la naturalidad o artificialidad de las coberturas de la tierra se genera un marco de referencia que posibilita que la Unidad de Parques estime las condiciones generales de estado-presión que, analizadas de forma multitemporal, facilitan la detección de cambios y la determinación cartográfica de indicadores de gestión, tales como: 1) indicadores de estado: coberturas de origen natural y seminatural, incluyendo bosques, arbustales, herbazales, humedales, superficies de agua naturales, bosques fragmentados y vegetación secundaria; y 2) indicadores de presión:

coberturas de origen antrópico, incluyendo áreas artificializadas, agrícolas, pastos, agrícolas heterogéneas (mosaicos), áreas desnudas o degradadas, quemas y superficies de agua artificiales.

A continuación se muestran los resultados de estos indicadores en miles de hectáreas para la totalidad del territorio continental de los Parques Nacionales Naturales de Colombia, para los cuatro periodos de análisis completos 2002, 2007, 2012 y 2015 (figura 2; tabla 1) y un ejemplo de los mapas estado-presión para el PNN Sierra de la Macarena (figura 3).

Tabla 1. Estadísticas totales Sistema de Parques Nacionales Naturales

Condición	2002	2007	2012	2015
Estado	12.887	12.867	12.855	12.815
Presión	231	287	306	347
Sin información	44	7	0,5	0,007

Fuente: SPNN.

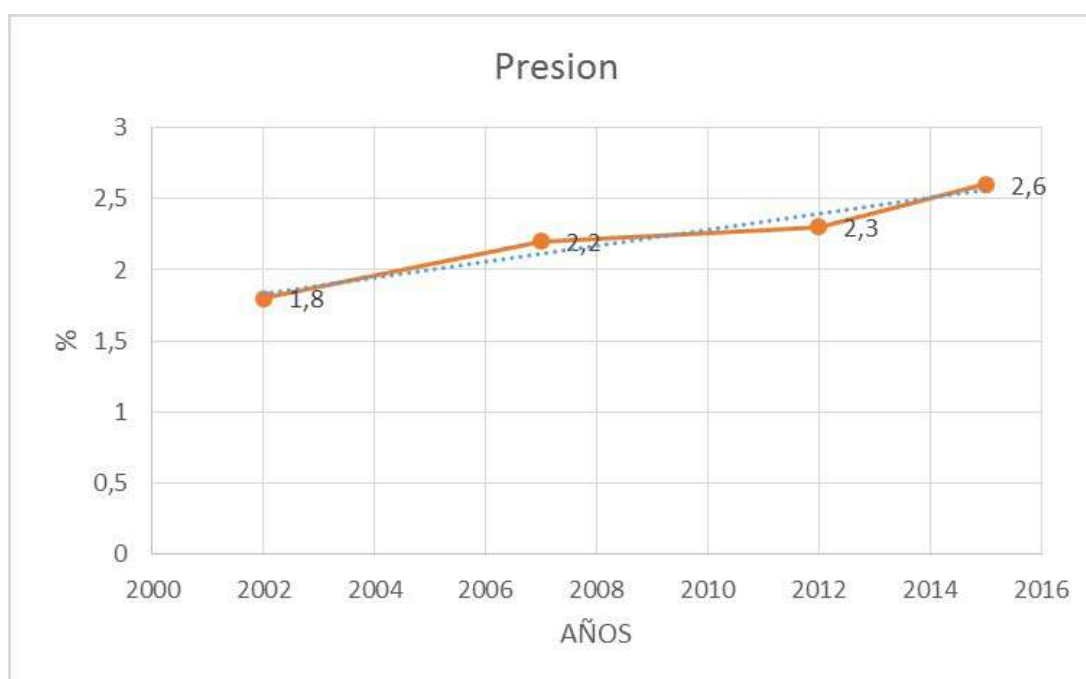


Figura 2. Porcentaje de presión en los PNN

Fuente: SPNN.



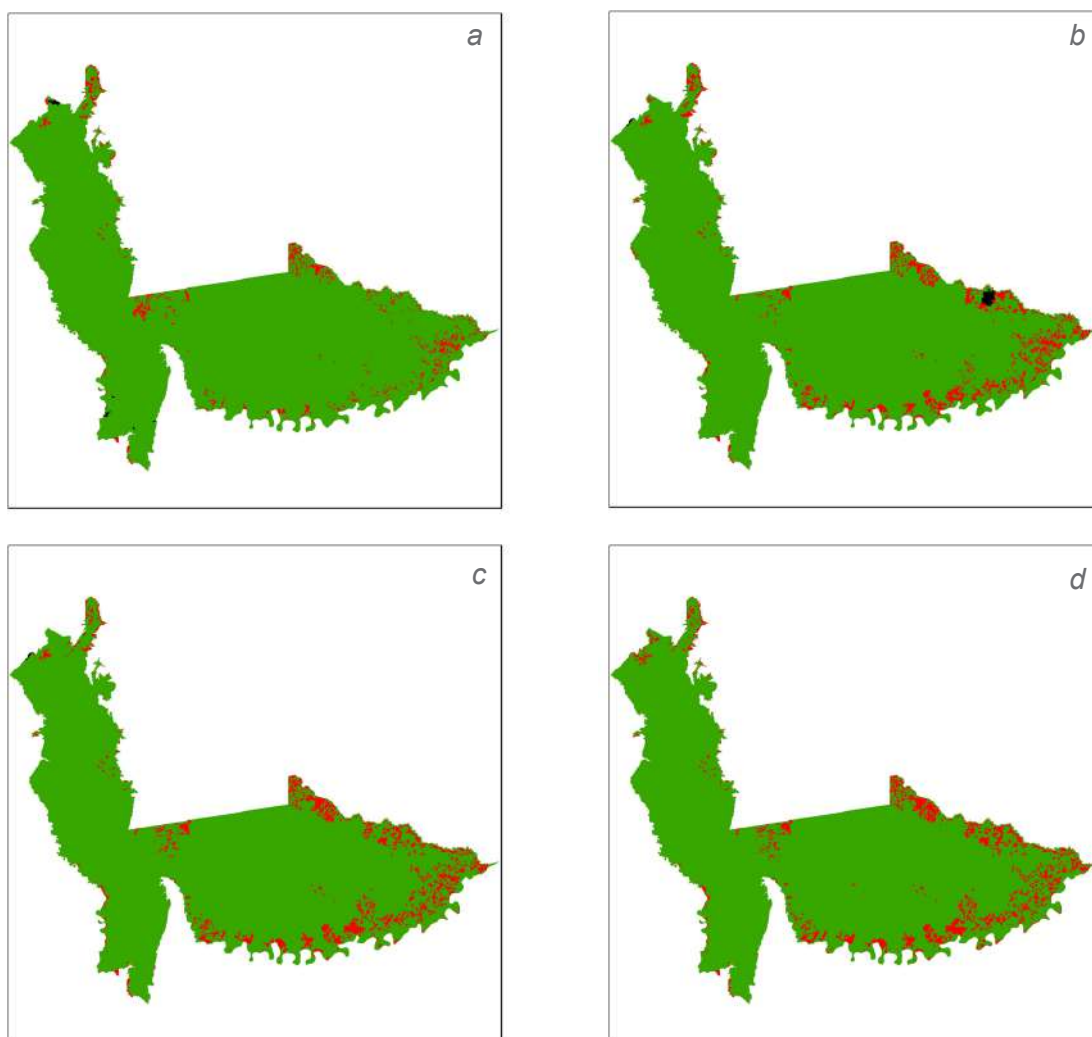


Figura 3. Dinámica de estado (en verde) - presión (en rojo) dentro del PNN Sierra de la Macarena: a) periodo 2000-2002; b) periodo 2005-2007; c) periodo 2010-2012; d) periodo 2014-2015

Fuente: SPNN.

Caracterización de presiones

Dentro de los análisis de estado-presión efectuados, se ha calculado, para el último periodo (2014-2015), que hay 347.186 ha en presión, correspondientes al 2,6% del total del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Así mismo, en el último análisis de cambios entre los periodos 2010-2012 y 2014-2015 se observa una transformación de 92.461 ha. Estas altas dinámicas de las coberturas naturales son una preocupación para la entidad, por lo cual se hace necesario realizar una caracterización más

detallada de estas presiones y, en lo posible, de su dinámica a través del tiempo.

El Sistema de Parques Nacionales, históricamente, registra las cifras de estado-presión como un solo valor (tabla 2). En consecuencia, se requiere caracterizar cada uno de estos indicadores de acuerdo con el tipo de coberturas que lo componen. A continuación se presentan las estadísticas de estos indicadores detallados en el Sistema de Parques Nacionales para el periodo 2014-2015 (tabla 3; figura 4) y el mapa del PNN Sierra Nevada de Santa Marta como ejemplo.



Tabla 2. Estadísticas globales de presiones del SPNN 2015

Condición	Área (ha)	%
Estado	12.815.650,80	97,36
Presión	347.188,60	2,64
Total general	13.162.915,73	100

Fuente: SPNN.

Tabla 3. Estadísticas detalladas de características de presión del SPNN

Condición	Detalle	Área (ha)	%
Presión	Agrícola	5.511,31	1,59
	Agropecuaria mixtos	200.946,92	57,88
	Áreas con infraestructura	500,17	0,14
	Cuerpos de agua artificiales	1.005,91	0,29
	Erosión	1.850,18	0,53
	Minería	62,03	0,02
	Pastos	103.105,75	29,7
	Quemas	34.206,33	9,85
Total presión		347.188,60	100

Fuente: SPNN.

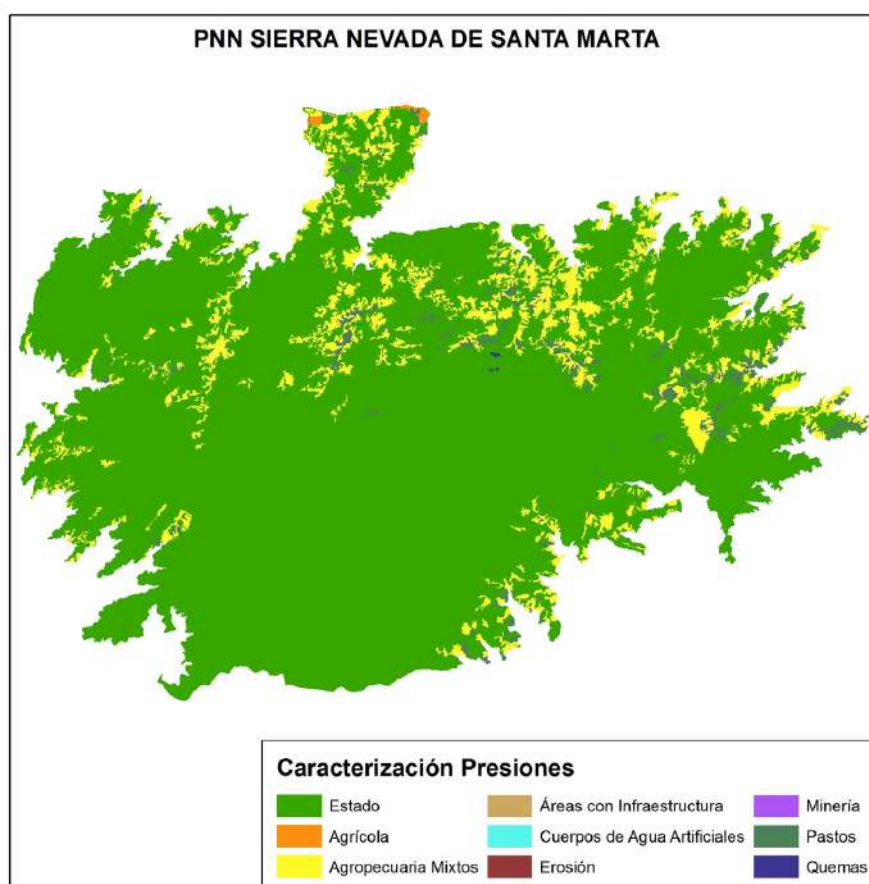


Figura 4. Caracterización de presiones en el PNN Sierra Nevada de Santa Marta, 2014-2015

Fuente: SPNN.



Persistencia de presiones

Teniendo como base los mapas de estado-presión de coberturas de la tierra de los PNN para los periodos de análisis 2002, 2007, 2012 y 2015 se calculó la persistencia espacial de presiones (figura 5).

El cálculo de persistencia de presiones busca identificar y cuantificar las áreas que han permanecido en coberturas antrópicas por periodos de tiempo determinados, de forma consecutiva o persistentemente. Para esto, se realizó la comparación espacial entre los polígonos en presión, para cada época, identificando diferentes periodos de persistencia.

De los resultados obtenidos del análisis de las presiones para los periodos 2002, 2007, 2012 y 2015 se puede destacar que solo cinco parques (Paramilllo, Sierra Nevada,

Macarena, Tuparro y Tinigua) recogen el 60% de las presiones del sistema. El PNN Tuparro presenta una persistencia total del 0% que obedece a la dinámica permanente de las presiones, que principalmente se refieren a zonas quemadas producto de los incendios de las sabanas. El PNN Puracé presenta el 96% de sus presiones con no persistencia, y es el parque con la mayor dinámica en el uso del suelo al interior del sistema, seguido por el PNN Nevado del Huila, con el 82%, y el PNN Doña Juana, con el 81%. En contraposición a esto, el parque que presenta un mayor porcentaje de persistencia total es Estoraques, con el 92% de presiones, seguido de SFF Iguaque, con el 70%, Pisba, con el 65%, Galeras, con un 61% y Macuira, con un 60%, lo que indica que en estos parques la transformación se mantiene inmóvil (figuras 6 y 7).

Persistencia Total	P. Desde 2007	P. Desde 2012
<ul style="list-style-type: none"> Se encontraron presiones en todos los periodos de tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> Se encontraron presiones desde 2007 en adelante, Antes No. 	<ul style="list-style-type: none"> Se encontraron presiones desde 2012 en adelante. Antes No
Recuperacion desde 2007	Recuperación desde 2012	No Persistencia
<ul style="list-style-type: none"> Se encontraron presiones hasta 2007. Después se ha mantenido la recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> Se encontraron presiones hasta 2012. Después se ha mantenido la recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> Se alternan las condiciones de estado – presión, indistintamente. Representa una dinámica entre intervención y recuperación

Figura 5. Tipos de persistencia de la dinámica de presiones en el SPNN

Fuente: SPNN.

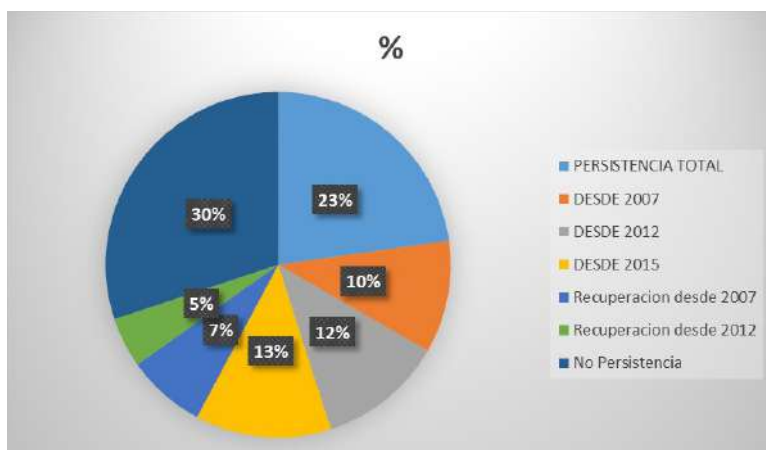


Figura 6. Distribución de persistencia de presiones en el SPNN

Fuente: SPNN.

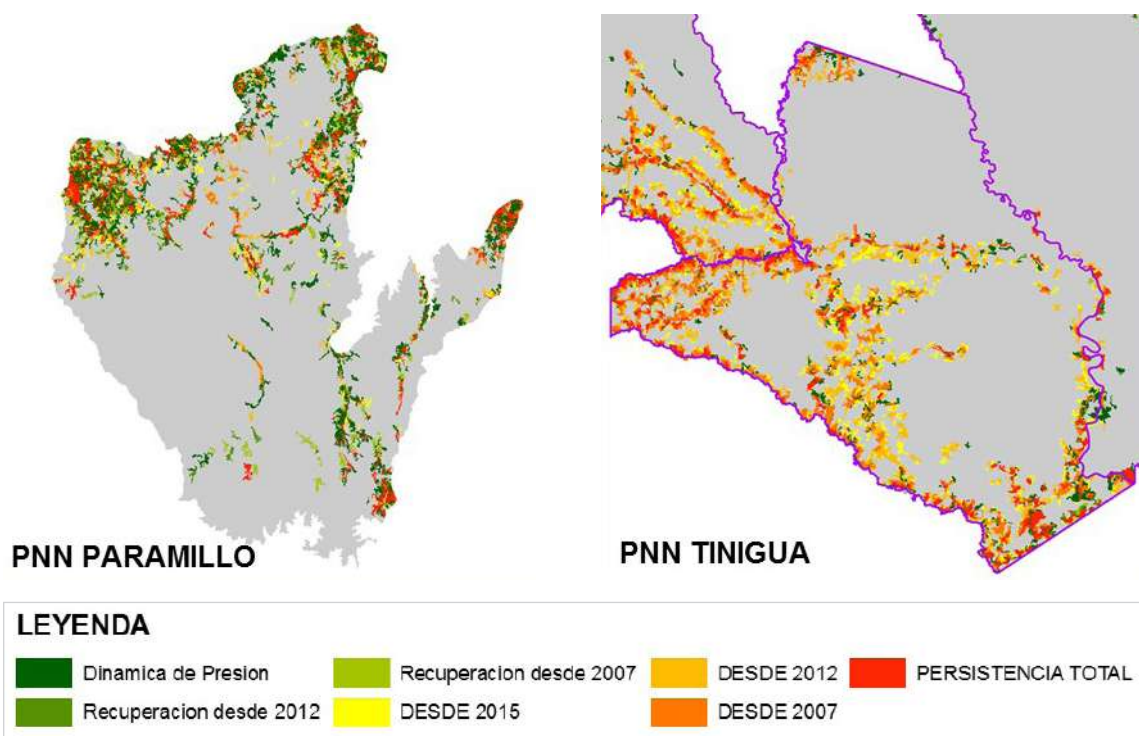


Figura 7. Dinámica de persistencia de presiones en los PNN Paramillo y Tinigua

Fuente: SPNN.

Detección de cambios

Los indicadores detallados de cambio se calculan a partir del análisis de cambio de coberturas de la tierra y buscan caracterizar con mayor detalle los índices de transformación, recuperación, estado estable y presión estable que se observan en los Parques Nacionales de un periodo de tiempo a otro (figura 8).

Estos indicadores caracterizan cambios de unidades de coberturas definidas dentro de la leyenda de coberturas de la tierra para la escala 1:100.000 a nivel 3 (IDEAM, 2010). Los resultados generales de la detección de cambios para el último periodo de análisis, de 2012 a 2015, se presentan en la tabla 4, y un ejemplo del parque Munchique en la figura 9.



Indicador Estado-Presión Periodo 1 (Línea de Referencia)	Indicador Estado-Presión Periodo 2	Indicador de Cambio (Periodos analizados)
Estado	Estado	Estado
Presión	Presión	Presión
Presión	Estado	Recuperación
Estado	Presión	Transformación

Figura 8. Indicadores generales de cambio
 Fuente: SPNN.

Tabla 4. Estadísticas totales de detección de cambios entre los periodos 2012 a 2015

Cambio	Área (ha)	%
Estado estable	12.763.002,66	96,96%
Presión estable	254.655,74	1,93%
Recuperación	52.179,83	0,40%
Transformación	92.461,91	0,70%
Total	13.162.915,73	100,00%

Fuente: SPNN.

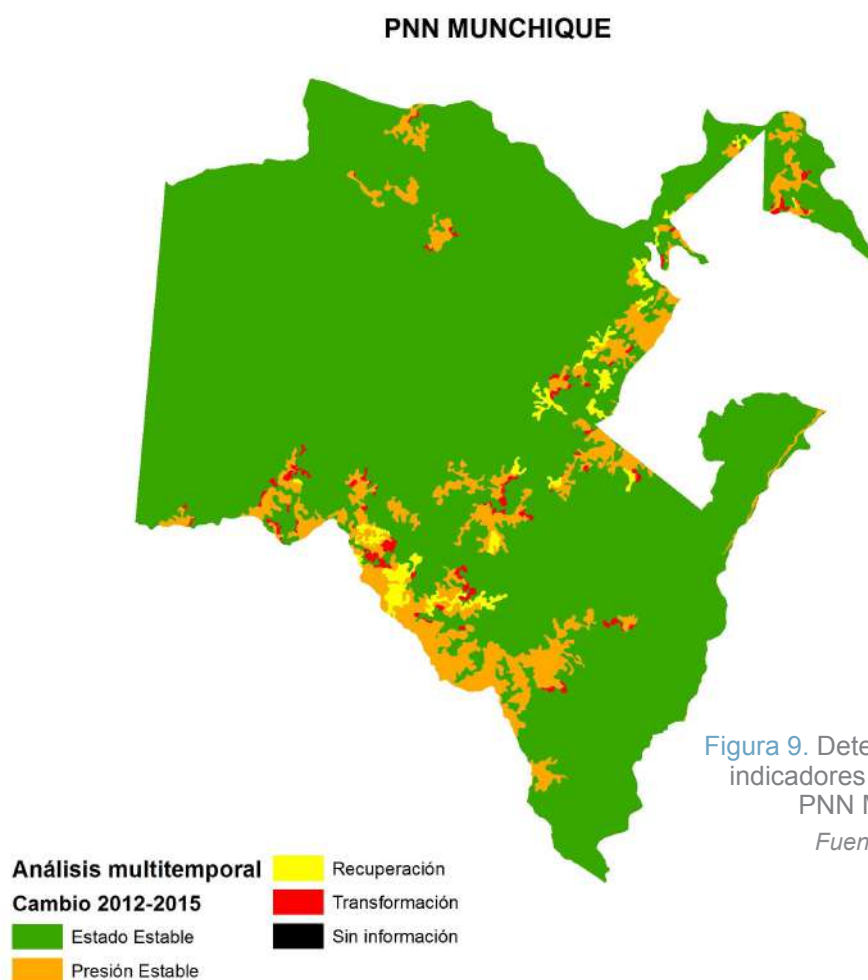


Figura 9. Detección de cambios:
 indicadores globales para el
 PNN Munchique
 Fuente: SPNN.



A partir de la comparación entre las coberturas de dos periodos de análisis se generan indicadores detallados que permiten caracterizar mejor los tipos de cambio ocu-

rridos en el territorio de un periodo a otro y brindar información más precisa para las acciones de manejo dentro de las áreas protegidas (tabla 5).

Tabla 5. Estadísticas de indicadores detallados de cambios entre los periodos 2012 a 2015

Cambio	Indicador detallado	Total	%
Estado estable	Fragmentación del bosque	19.186,04	0,15
	Otros cambios	55.542,99	0,44
	Alteración de estructura del bosque	13.645,57	0,11
	Sin cambio	12.674.628,07	99,31
Total estado estable		12.763.002,66	100,00
N/A	(en blanco)	615,59	
Total N/A		615,59	
Presión estable	Desintensificación de la cobertura agropecuaria	9.443,79	3,71
	Intensificación de la cobertura agropecuaria	12.055,50	4,73
	Otros cambios	34.789,71	13,66
	Sin cambio	198.366,74	77,90
Total presión estable		254.655,74	100,00
Recuperación	Ganancia de abustales	565,70	1,08
	Ganancia de bosques	15.458,48	29,63
	Ganancia de herbazales	3.954,77	7,58
	Otros cambios	349,36	0,67
	Regeneración de vegetación secundaria	31.851,51	61,04
Total recuperación		52.179,83	100,00
Transformación	Actividad agrícola	403,88	0,44
	Actividad agrícola mixta	23.433,16	25,34
	Degradación	960,90	1,04
	Dinámica agrícola en vegetación secundaria	23.760,17	25,70
	Minería	16,16	0,02
	Praderización	12.917,59	13,97
	Quemas	30.917,48	33,44
	Urbanización	52,56	0,06
Total transformación		92.461,91	100,00
Total general		13.162.915,73	

Fuente: SPNN.



Vectores de expansión de presiones

Con base en el ejercicio que viene realizando la Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito (UNODC, 2016) para calcular vectores de expansión como alertas de movilidad del fenómeno de explotación del oro de aluvión, se viene construyendo un modelo espacial para generar vectores de expansión de las presiones en los Parques Nacionales.

Los vectores son generados a partir de la capa de polígonos de presiones de un tiempo inicial, en comparación con la capa de polígonos de un tiempo final. Este modelo no tiene en cuenta los polígonos nuevos del segundo periodo ni los polígonos que desaparecen del primero (figura 10).

En este procedimiento se generan a los polígonos del T0 hacia los vértices de los polígonos del T2 a partir del centroide. De los posibles vectores, se filtra el mayor, que es considerado el vector predominante de expansión de presiones en el sistema de Parques Nacionales.

Con estos datos, se busca medir la magnitud y la dirección de desplazamiento de las presiones para dar alertas de movilidad del fenómeno y ejercer medidas de manejo que anticipen la situación.

De acuerdo con la figura 11, con los vectores principales de expansión se construyen vectores de tendencia, mostrados en color púrpura en el ejemplo del PNN Paramillo, para encontrar líneas generales de crecimiento en cada parque.

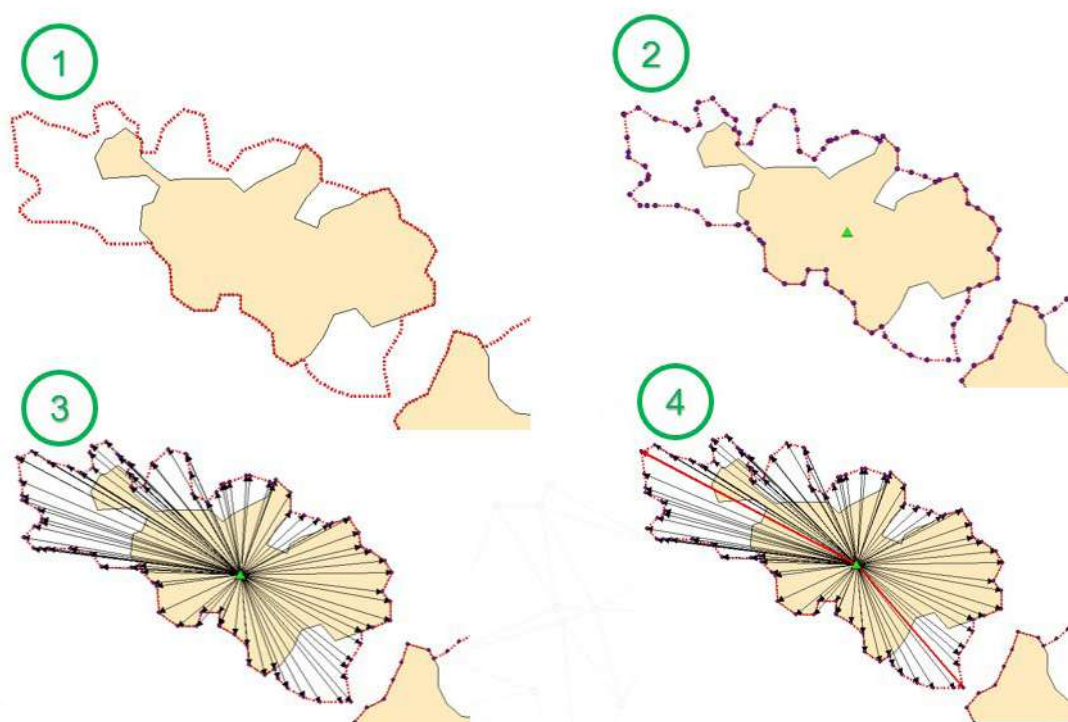


Figura 10. Esquema metodológico de vectores de expansión
 Fuente: SPNN; UNODC.

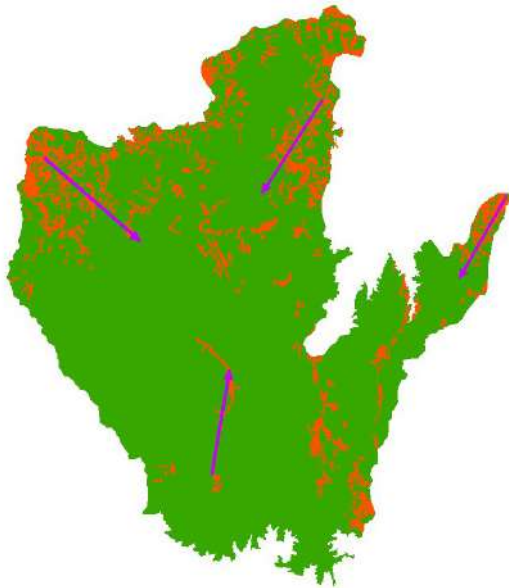


Figura 11. Vectores de tendencia de expansión en PNN Paramillo

Fuente: SPNN.

Alertas tempranas de transformación de coberturas

El proceso de alertas tempranas de transformación de coberturas tiene como objetivos:

- Realizar la vigilancia de la aparición de transformación de coberturas naturales cubriendo el 100% de las áreas terrestres del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

- Identificar y ubicar las zonas que están siendo sometidas a transformaciones de cobertura natural en un tiempo no superior a 6 meses.
- Detectar los puntos de transformación identificados con una unidad mínima de detección (UMD) de una hectárea.
- Emitir las alertas de forma oportuna para informar a los diferentes niveles de gestión acerca de las transformaciones en los parques a su cargo.

Para cumplir con el objetivo de revisar el 100% del área continental de los parques, el sistema de alertas tempranas de transformación de coberturas naturales se basa en el uso de tecnologías de percepción remota; por lo tanto, la metodología es dinámica, dado que depende de los sensores que se encuentren disponibles al momento de desarrollarla.

En este momento, la metodología considera únicamente el uso de imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 porque son los sensores libres disponibles a la fecha (figura 12). Parte de los resultados del proceso que se viene desarrollando desde el 2016 se presentan en la figura 13.



Figura 12. Esquema metodológico del proceso de alertas tempranas de transformación de coberturas

Fuente: SPNN.

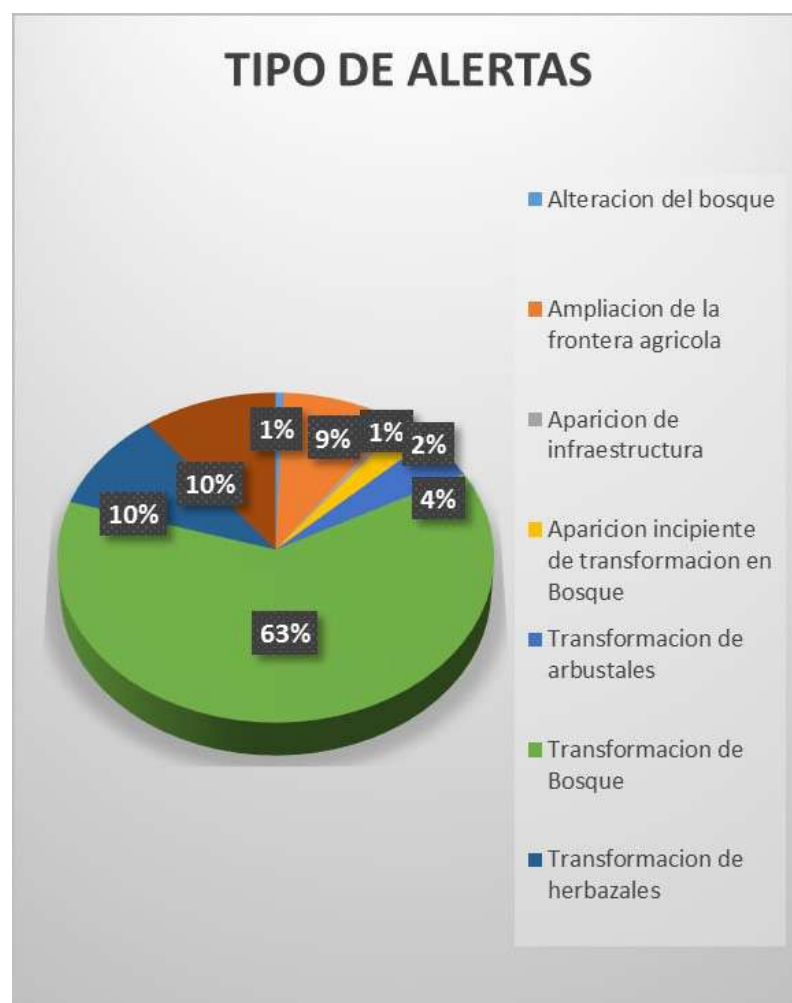




Figura 13. Resultados del proceso de alertas para 2016, primer semestre
Fuente: SPNN.

Parte importante en la detección de estos cambios es identificar cuál de las coberturas naturales está siendo afectada, y en la identificación visual se sistematiza cada hallazgo de acuerdo con las coberturas naturales afectadas (figura 14).

Figura 14. Tipo de cobertura afectada por intervención antrópica
Fuente: SPNN.





Las alertas tempranas buscan dar herramientas de manejo a las áreas protegidas. Estas se publican mediante canales internos de distribución, en un boletín, y también se tienen encuestas que realizan los jefes de las áreas, como un instrumento de retroalimentación importante. De esta forma se puede afinar el proceso desde el nivel central y conocer el estado de gobernabilidad y el acceso de los usuarios finales al boletín (figura 15).

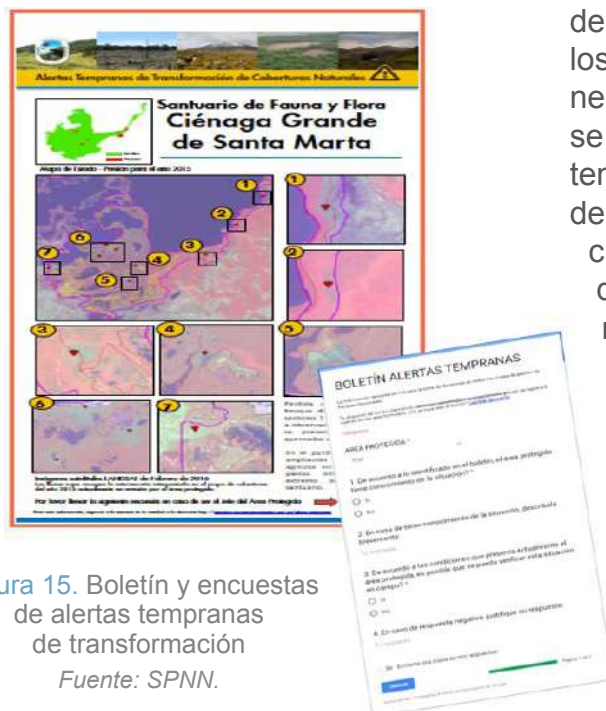


Figura 15. Boletín y encuestas de alertas tempranas de transformación
Fuente: SPNN.

Con el ánimo de mejorar el proceso realizado hasta el momento, se vienen desarrollando pruebas para automatizar la detección de las transformaciones, con el propósito de tener menor separación temporal entre periodos; sin embargo, es vital, en este punto, no sacrificar la precisión temática ni espacial alcanzada.

Las pruebas realizadas con el software especializado Claslite (figura 16) y el empleo de las alertas tempranas de deforestación del IDEAM (figura 17) aún no satisfacen los parámetros de calidad de información necesarios para las áreas. En su mayoría, se encuentran falencias en la precisión temática de estas alertas, identificaciones de transformaciones equivocadas y no detección de cambios reales. La imposibilidad de detectar cambios en coberturas naturales diferentes a los bosques es la dificultad más relevante.

La entidad sigue en la búsqueda de un método automatizado que mejore los tiempos de alerta y cumpla con la información que necesitan las áreas protegidas.

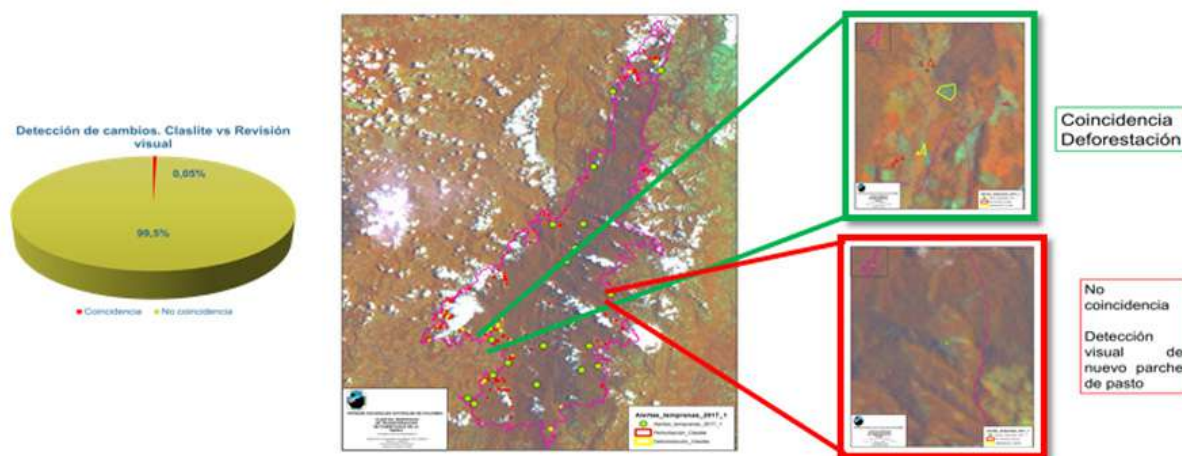


Figura 16. Análisis comparativo de detección de deforestación en el software Claslite frente a alertas de transformación con el método del SPNN en el PNN Yariguíes
Fuente: SPNN.



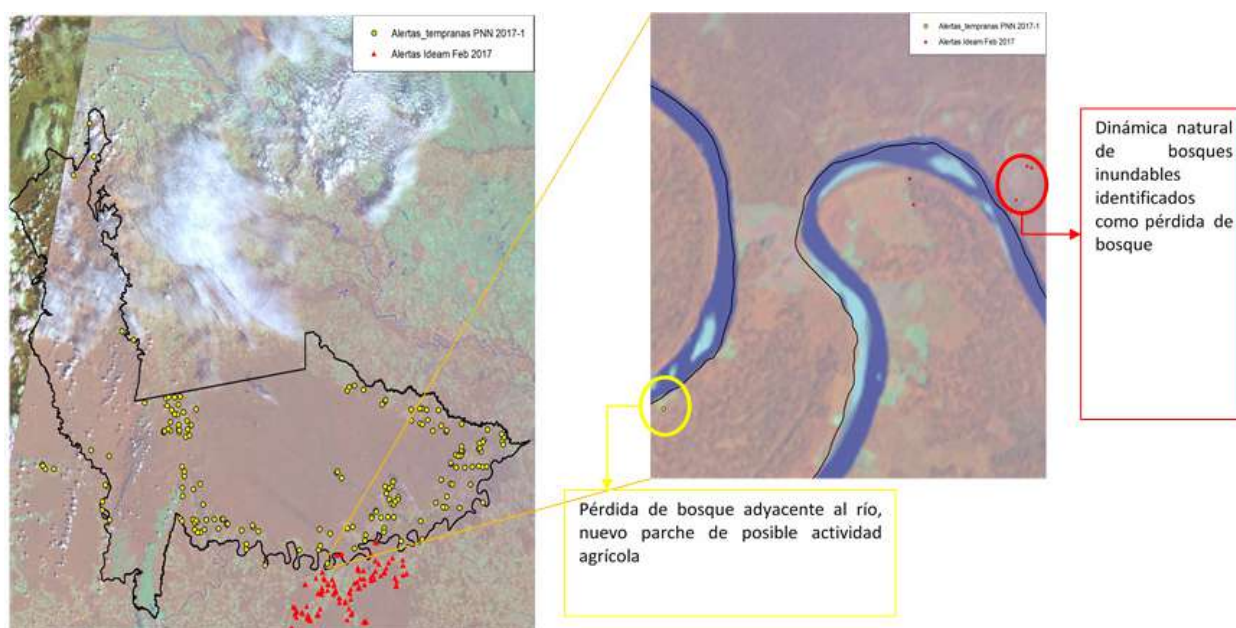


Figura 17. Análisis comparativo de alertas tempranas de deforestación IDEAM y detección de transformación de coberturas con el método del SPNN en el PNN Yariguies

Fuente: SPNN.

Conclusiones

Los cambios de coberturas naturales en los Parques Nacionales son las únicas presiones factibles de monitorear con el uso de la geomática.

Gracias al uso de la geomática, la entidad ha logrado aumentar el porcentaje

de territorio vigilado en las áreas de su jurisdicción.

Las principales causas de transformación de las coberturas naturales, a nivel general, son la instalación de pastos limpios para ganadería y la actividad agrícola mixta.



Bibliografía

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000*. Bogotá: IDEAM. Recuperado de http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762.



Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito (UNODC). (2016). *Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota*. Recuperado de https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion_de_Oro_de_Aluvion.pdf.





PROGRAMA NACIONAL DE **LEVANTAMIENTO** DE SUELOS

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

TIPOS DE MUESTREO
DE SUELOS



Barrenada



Cajuela



Calicata

¿QUÉ ES UN RECONOCIMIENTO SEMIDETALLADO DE SUELOS?

Es el proceso que permite presentar en un mapa, las clases de suelos e identificar las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos de una región, tiene por objeto determinar las potencialidades y limitantes de uso.

¿PARA QUÉ SIRVE EL RECONOCIMIENTO DE SUELOS?

- Para caracterizar los suelos de una región e identificar sus potencialidades y limitantes mediante un mapa.
- Para conocer las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos.

- Para realizar recomendaciones en cuanto al manejo de cultivos y aplicación de fertilizantes.
- Para conocer el estado de los suelos identificando problemas de erosión y áreas degradadas.
- Para definir los sistemas productivos agropecuarios y forestales, ayudando a la formulación de proyectos productivos.
- Para la planificación de los territorios de consejos comunitarios y resguardos indígenas.
- Para la elaboración y actualización de los planes y esquemas de ordenamiento territorial.
- Para la planificación y realización de planes de manejo y ordenación de cuencas, áreas de protección y proyectos ambientales en general.



Modelo de Almacenamiento Geográfico de la ANLA para la Gestión Espacial del Impacto Ambiental

ANLA's Geographic Data Store Model for Spatial Management of Environmental Impact

Jonathan Pinzón Hernández¹, Fader Eduardo Peña Martín²



Cómo citar este artículo: Pinzón Hernández, J. & Peña Martín, F. (2017). Modelo de Almacenamiento Geográfico de la ANLA para la Gestión Espacial del Impacto Ambiental. *Análisis Geográficos*, 53, 87-93.

Resumen

Con el fin de estandarizar la información presentada por las empresas que solicitan licencias ambientales ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), se creó un modelo de almacenamiento geográfico para todos los proyectos evaluados en los diferentes sectores de la entidad, teniendo como referencia los términos establecidos por la ANLA y por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Desde el 2010, la ANLA ha estado trabajando en la estandarización de la información geográfica, para lo cual se planteó un marco normativo que inició con la Resolución 1503 de 2010 (Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales), en la cual se estableció un diccionario de tablas geográficas. En el 2012, bajo la Resolución 1415, se estableció un modelo de datos de almacenamiento geográfico para los proyectos objeto de evaluación ambiental. En el 2013, con la Resolución 0188, se actualizó el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos, con el fin de adoptar el Modelo de Almacenamiento Geográfico a la etapa de seguimiento ambiental. Para el 2016, con la Resolución 2182, se modificó y consolidó un único Modelo de Almacenamiento Geográfico, que se actualizó acorde con las nuevas metodologías y términos de referencia existentes para la evaluación y el seguimiento ambiental.

En los últimos años, la ANLA ha implementado los sistemas de información como instrumento eficaz, eficiente y abierto para la toma de decisiones por parte de los profesionales y técnicos de esta entidad. El objeto de la estandarización de los datos geográficos es mejorar la calidad de los sistemas de información y aportar a la generación de conocimiento en los temas ambientales del país.

Palabras clave: estandarización, base de datos, sistema de información geográfica, medio ambiente, evaluación del impacto ambiental.

¹Especialista en SIG, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Correo: jopinzon@anla.gov.co.

²Especialista en SIG, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Correo: fpena@anla.gov.co.





Abstract

In order to standardize the information presented by the companies that need environmental licenses in the National Environmental Licensing Authority (ANLA), a geographical storage for all the evaluated projects model was created in different sectors of the entity, taking as a reference the terms established in ANLA and the Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Since 2010, ANLA has been working on the standardization of geographic information, where a regulatory framework was introduced that began with 1503 Resolution of 2010 (General Methodology for the Presentation of Environmental Studies), where it established itself a dictionary of geographical tables. In 2012 under the 1415 Resolution, ANLA established a model of geographical storage for project data object of environmental assessment. In 2013 with the 0188 Resolution, ANLA updated the Manual of Environmental Monitoring of projects, in order to adopt the geographical storage model to the stage of environmental monitoring. In 2016 with the 2182 Resolution, ANLA modified and strengthened a unique storage geographic model, which has been updated according to the new methodologies and existing terms of reference for the evaluation and environmental monitoring.

In the last years, ANLA has implemented information systems, such as effective instrument, efficient and open for decision-making by the professionals and technicians of this entity. Standardization of geographical data aims to improve the quality of the information systems and contribute to the generation of knowledge on environmental issues in the country.

Keywords: *standardization, database, geographic information system, environment, environmental impact assessment.*



Introducción

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) concibe el Sistema de Información Geográfica (SIG) como una herramienta que posibilitará satisfacer sus necesidades de información a nivel interno y externo, dando soporte a las diferentes instituciones nacionales que conforman el Sistema de Información Nacional Ambiental (SINA), bajo estándares establecidos por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE).

La implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) atiende al cumplimiento del Decreto 3573 del 27 de septiembre de 2011, numeral 8 del Art. 14, en el que se expresa la necesidad de diseñar e implementar un Sistema de Información Geográfica como herramienta informativa para la administración, el manejo y el uso de la información como un verdadero instrumento de gestión.

El SIG de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) se está alimentado con la información geográfica de los proyectos, obras y actividades que competen a la entidad, la cual es consolidada en una base de datos institucional. Nace entonces la necesidad de establecer un modelo de almacenamiento geográfico por parte de la ANLA. De esta manera, la información geográfica de los estudios de impacto ambiental (EIA), los diagnósticos ambientales de alternativas (DAA), los planes de manejo ambiental (PMA) y los informes de cumplimiento ambiental (ICA), así como todo tipo de datos que facilite la evaluación y el seguimiento de los proyectos, harán parte del SIG, integrando la información con los demás sistemas o aplicativos en uso por parte de la ANLA, tales como el Sistema de Información de Licencias Ambientales (SILA), la Ventanilla Integral de Trámites Ambientales en

Línea (VITAL) y el Registro Único Ambiental (RUA).

Esta meta de la Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales se cumple gracias a la conformación de un Equipo de Geomática integrado por profesionales que atienden la necesidad de creación, alimentación, actualización e implementación del SIG como un único sistema de información bajo criterios de integridad, uniformidad, eficiencia y eficacia, con la más moderna y avanzada tecnología disponible en el mercado, en armonía con los lineamientos establecidos por la ICDE.

Creación y evolución del Modelo de Almacenamiento Geográfico

Desde el 2010, la ANLA ha estado trabajando en la estandarización de la información geográfica, y para esto se planteó un marco normativo. Inició con la Resolución 1503 de 2010 (Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales), que estableció un diccionario de tablas geográficas; en el 2012, bajo la Resolución 1415, se instauró un modelo de datos de almacenamiento geográfico para los proyectos objeto de evaluación ambiental. En el 2013, con la Resolución 0188, se actualizó el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos, con el fin de adoptar el Modelo de Almacenamiento Geográfico a la etapa de seguimiento ambiental. Para el 2016, con la Resolución 2182, se modificó y consolidó un único Modelo de Almacenamiento Geográfico actualizado acorde con las nuevas metodologías y términos de referencia existentes para la evaluación y el seguimiento ambiental.

El Modelo de Almacenamiento Geográfico es el punto de partida para estandarizar la entrega de los productos geográficos





y cartográficos de los proyectos sujetos a permisos y licenciamiento por parte de esta entidad, de manera que servirán como insumos del Sistema de Información Geográfica de la ANLA, una herramienta para la administración y la gestión de la información georreferenciada que facilita y agiliza la toma de decisiones de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Resolución 1503 de 2010

Mediante la Resolución 1503 de 2010, se adoptó la Metodología de Presentación de Estudios Ambientales y se incluyó por primera vez la estructura o Modelo de Almacenamiento de la Información Geográfica como requerimiento de soporte de la información documental de los proyectos y trámites ambientales presentados ante la Autoridad Ambiental, entre los que se incluyen los estudios de impacto ambiental y los planes de manejo ambiental, entre otros.

Esta estructura fue el primer acercamiento con los temáticos esenciales dentro de los EIA, PMA y DAA, y contó con cinco grupos de datos: 1) medio abiótico, 2) medio biótico, 3) medio socioeconómico, 4) paisaje y 5) información básica. Dentro de estos grupos de datos se encontraban especificadas 53 capas vectoriales.

La información base fue retirada del modelo de datos geográfico y se solicita dicha información según el modelo de datos geográficos adoptado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Resolución 1415 de 2012

El 17 de agosto del 2012, a través de la Resolución 1415, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible actualizó y modificó el Modelo de Almacenamiento Geográfico

contenido en la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales adoptada mediante la Resolución 1503 del 4 de agosto del 2010.

Esta actualización amplió en gran medida este modelo, pues se establecieron diez grupos de datos: 1) compensaciones, 2) inversión y 1%, 3) medio abiótico, 4) medio biótico, 5) medio socioeconómico, 6) paisaje, 7) proyecto, 8) riesgo y amenaza, 9) suelo de protección y 10) zonificación.

Dentro de estos grupos de datos se especificaron 123 capas vectoriales geográficas y por primera vez se especifican 20 tablas alfanuméricas, que no tienen el componente geográfico, pero sí contienen relación con varias capas vectoriales especificadas. También se definieron, por primera vez, 26 capas ráster para establecer un orden en la entrega de este tipo de formato, ya que estas son de gran importancia espacial.

La gran novedad en esta actualización fue la accesibilidad de la información del Modelo de Almacenamiento Geográfico, pues en la página de la entidad se publica un diccionario de datos, el modelo físico estructurado en formato File Geodatabase (ESRI) y en formato Shapefile, y también se publica el lenguaje esquema XML del Modelo de Datos Geográfico. Esto se hizo para evitar errores en la especificación de los datos por parte de los usuarios de la ANLA.

Resolución 0188 de 2013

Dando continuidad al proceso de actualización que tuvo el Modelo de Almacenamiento en el 2012, a través de la Resolución 188 de 2013 se adoptó el Modelo de Almacenamiento Geográfico para la entrega de la información geográfica de los informes de cumplimiento ambiental (ICA), con el



objetivo de complementar y contrastar la Base de Datos Geográfica de Estudios Ambientales presentada a los usuarios mediante Resolución 1415 de 2012 (línea base) con la base de datos de permisos y licenciamiento (obligaciones y permisos otorgados), facilitando el seguimiento ambiental de los proyectos licenciados y el control y cumplimiento de las obligaciones contenidas en la licencia ambiental. Este modelo de almacenamiento estableció nueve grupo de datos, con 86 capas geográficas, 22 tablas alfanuméricas y 26 capas ráster.

Desde ese momento, la ANLA contó con dos modelos de almacenamiento geográfico: el modelo de la Resolución 1415 específico para la etapa de evaluación ambiental (diagnóstico ambiental de alternativa, estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental) y el modelo de la Resolución 0188, el cual es solo para la etapa de seguimiento ambiental (informe de cumplimiento ambiental).

Según el Decreto 3573 del 2011, una de las funciones de la Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales es “proponer los instrumentos para la evaluación y seguimiento de proyectos, obras o actividades sujetos a licencia ambiental”; por tal razón, desde el 2014 se empezaron a realizar grupos de trabajo que se encargaban de actualizar y organizar el Modelo de Datos de Almacenamiento Geográfico, de tal forma que cobijara los términos de referencia nuevos para los diferentes tipos de proyectos que solicitan licencias ambientales ante la entidad.

Resolución 2182 de 2016

A partir del 23 de diciembre del 2016, se formalizó el Modelo de Almacenamiento Geográfico mediante la Resolución 2182.

Este nuevo modelo consolidó los modelos de almacenamiento geográficos de las etapas de evaluación y seguimiento ambiental que se habían especificado en las dos resoluciones anteriores.

Adicional a la unificación, el modelo se ajustó a los términos de referencia vigentes y se estructuraron algunas tablas que serán utilizadas y solicitadas en la nueva Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales, que aún no se ha publicado.

En estos últimos años, se realizó un trabajo de normalización para ciertas tablas, al encontrar redundancia de geometría en las capas donde existía un seguimiento de las actividades (por ejemplo, el análisis periódico de aguas en un mismo punto).

Esta actualización atomizó los grupos de datos, ya que prácticamente se generó un grupo por eje temático. El modelo cuenta en estos momentos con 24 grupos de datos: 1) geología, 2) geomorfología, 3) paisaje, 4) suelos, 5) hidrología, 6) hidrogeología, 7) geotecnia, 8) atmósfera, 9) clima, 10) biótico continental y costero, 11) marino, 12) político administrativo, 13) económico, 14) sociocultural, 15) arqueología, 16) gestión del riesgo, 17) análisis del riesgo, 18) zonificación, 19) áreas de conservación y protección ambiental, 20) áreas de reglamentación especial, 21) proyecto, 22) compensación, 23) inversión y 1% y, por último, 24) contingencias.

Se especificaron en total 176 capas vectoriales dentro de los grupos de datos, 66 tablas alfanuméricas y veintisiete 27 capas ráster.



Conclusiones

La creación del Modelo de Almacenamiento Geográfico ha posibilitado que los usuarios de la ANLA entreguen su información estructurada, de tal forma que esta sea un importante insumo para el Sistema de Información Geográfica de la entidad.

En términos generales, el Modelo de Almacenamiento Geográfico ha crecido con cada nueva especificación (figura 1), y esto ha ido de la mano con las nuevas exigencias y especificaciones en los términos de referencia que ha publicado la entidad. El aumento de las tablas alfanuméricas se debe en gran medida al proceso de normalización en términos geométricos, pues se identificaron demasiados casos de redundancia en la geometría.

Se destaca que los cambios en los modelos han generado un trabajo interno muy grande en cuanto a la migración de datos, pues en muchos casos los cambios fueron de campos abiertos a campos con

dominios, lo que facilita su automatización; adicionalmente, en algunos casos, estos campos abiertos implicaban la pérdida de datos.

Ha sido satisfactorio para esta autoridad ver que el modelo ha sido aceptado por los usuarios de la ANLA de manera grata en la mayoría de las veces, muchos han notado la necesidad de la creación de las capas y se han ido acoplando poco a poco a los cambios. El grupo está constantemente contestando preguntas, resolviendo dudas y recibiendo retroalimentación por parte de los usuarios (tanto internos como externos), todo esto con el fin de realizar correcciones en versiones futuras del modelo.

El ejercicio del planteamiento de un Modelo de Almacenamiento Geográfico que abarque las etapas de evaluación y seguimiento ambiental en los diferentes sectores en los cuales están divididos los proyectos que ingresan a la entidad (infraestructura, hidrocarburos, minería, energía y agroquímicos) ha sido arduo y ha tenido un enfoque multidisciplinario que

ha facilitado que los expertos en cada temática analicen e indiquen cuáles datos son importantes y necesarios en el modelo.

El grupo de trabajo es consciente del gran esfuerzo que se ha realizado e invita a las demás entidades públicas que deseen basarse en este modelo y en las experiencias de la ANLA a que estandaricen la información que reciben de sus usuarios externos bajo este tipo de modelos, ya que una recepción de datos externos sin una estructura definida dificulta el análisis de los mismos.

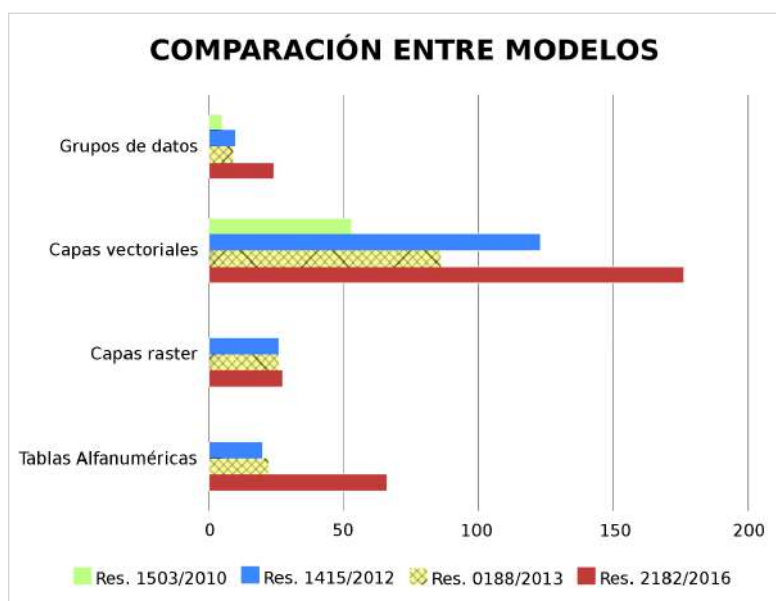


Figura. 1. Comparación en la cantidad de elementos según cada resolución

Fuente: elaboración de los autores.



Bibliografía



Resolución 1503 de 2010 (4 de agosto), por la cual se adopta la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones. *Diario Oficial* N° 47.792.

Decreto 3573 de 2011 (27 de septiembre), por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial* N° 48.205.

Resolución 1415 de 2012 (17 de agosto), por la cual se modifica y actualiza el modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) contenido en la metodología general para la presentación de estudios ambientales adoptada mediante la Resolución 1503 del 4 de agosto de 2010. *Diario Oficial* N° 48.555.

Resolución 0188 de 2013 (27 de febrero), por la cual se actualiza el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos adoptado mediante Resolución número 1552 del 20 de octubre de 2005. *Diario Oficial* N° 48.719.

Resolución 2182 de 2016 (23 de diciembre), Por la cual se modifica y consolida el Modelo de Almacenamiento Geográfico contenido en la Metodología General para la presentación de Estudios Ambientales y en el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos. *Diario Oficial* N° 50.100.



BIBLIOTECA IGAC

Toda la evidencia, los estudios, informes y los grandes aportes a la geografía, los suelos, el catastro y la ciencia geomática del país durante estos 82 años de existencia, la puede conocer a través de nuestra biblioteca

Más de
19.959 libros



Visítanos: Más de 19.959 libros entre los que se destacan:

El galardonado internacionalmente por la FAO: Suelos y Tierras de Colombia, Estudios General de Suelos y Zonificación de Tierras de los departamentos; Geografía y suelos para Niños, Geografía de Colombia, Estudio de los Conflictos de Uso del Territorio Colombiano, Manejo de Suelos Colombianos y Nariño: características geográficas, tesis de los programas de maestría del CIAF, Atlas de Colombia incluyendo la versión en Braille.

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



Transporte de sedimentos en el río La Plata, Mutiscua, Norte de Santander, zona de influencia de la cabecera municipal

Sediments transportation in the La Plata River, Mutiscua, Norte of Santander, municipality influence area

Nury Yadira Suárez¹, María Esther Rivera², Jesús Ramón Delgado³



Cómo citar este artículo: Suárez, N., Rivera, M. & Delgado, J. (2017). Transporte de sedimentos en el río La Plata, Mutiscua, Norte de Santander, zona de influencia de la cabecera municipal. *Análisis Geográficos*, 53, 95-101.

Resumen

En la investigación se identificaron y analizaron los principales factores que intervienen en el transporte de los sedimentos en el río La Plata, municipio de Mutiscua, Norte de Santander, en la zona de influencia de la cabecera municipal. Para esto, se recopiló información sobre: caracterización de la zona, levantamiento topográfico del cauce mediante secciones transversales, caracterización morfométrica, curvas IDF, hietograma e hidrogramas, identificación de puntos, muestreo de sedimentos (con equipos de fabricación manual) y clasificación del sedimento empleando granulométrica. Los datos compilados fueron modelados en HEC-RAS 5.0 y ArcGIS 10.2, y se obtuvieron los principales factores dominantes e influyentes sobre el cauce, el perfil del tramo evaluado, la curva IDF con indicaciones de que a menor tiempo de duración, mayor será la intensidad en función del tiempo de retorno, las variaciones de caudal debidas al comportamiento de la precipitación y los caudales captados por las estaciones piscícolas; la granulometría predominante son gravas arenosas y arenas. En conclusión, en el modelo de la cuenca se tienen zonas vulnerables que corresponden a: las vegas de las fincas en el tramo comprendido entre el puente Los Salados y el Molino Monarca; las zonas de riesgo de inundación, tales como: Molino Monarca, 4 estaciones piscícolas, la zona de la vía Sucre y Antigua Marmolería, el Hogar Juvenil Campesino y la zona del vertimiento municipal en su margen derecho. Se destacó que la zona de estudio presenta mayor tendencia a ser socavada o erosionada y que las estructuras hidráulicas serían las afectadas directamente; adicionalmente, se presentan zonas de sedimentación en menor proporción.

Palabras clave: erosión, modelación, sedimento, socavación, transporte.

¹Ingeniera Ambiental. Coordinadora Ambiental en Suministros, Consultorías y Asesorías Santa María. Correo: ingsuarez18@gmail.com.

²PhD Hidrología. Docente Universidad de Pamplona. Grupo de investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS). Correo: maes@unipamplona.edu.co.

³MSc Geotecnia. Docente Universidad de Pamplona. Grupo de investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS). Correo: jramondr@gmail.com.





Abstract

In the present investigation, the main factors that intervene in the sediment transport project in the La Plata River, Mutiscua municipality, Norte de Santander, in the area of influence of the municipal head were identified and analyzed. For this, information was collected on: characterization of the zone, topographic survey of the channel by means of cross sections, morphometric characterization, IDF curves, hygrogram and hydrographs, identification of points, sediment sampling (with manual equipment) and sediment classification using granulometric. The compiled data were modeled in HEC-RAS 5.0 and ArcGIS 10.2, and the main dominant and influential factors were obtained on the channel, the profile of the section evaluated, the IDF curve with indications that the shorter the duration, the greater the intensity as a function of the time of return, variations in flow rate due to the precipitation behavior and the flows collected by the fish seasons; the predominant granulometry is sand gravel and sand. In conclusion, in the model of the basin there are vulnerable zones that correspond to: las vegas of the farms in the section between the bridge Salts and the Mill Monarch; flood risk zones, such as: Monarca Mill, 4 fish stations, the area of the road Sucre and Antigua Marmolería, Hogar Juvenil Campesino and the area of the municipal shed on its right bank. It was emphasized that the study area presents a greater tendency to be undermined or eroded and that the hydraulic structures would be directly affected; in addition, sedimentation zones are present in a smaller proportion.

Keywords: modeling, sediment, transport, erosion, scouring.



Introducción

Hace siglos surgieron los primeros trabajos en pro de la hidráulica fluvial, pero esta disciplina no era reconocida como tal. De forma general, Giraldo (2009) indica que en Colombia, hacia el año 1600, nació la hidráulica fluvial, y para 1650 se iniciaron los estudios sobre la complejidad del transporte de sedimentos y la formación del delta, dado que para esa época se comenzó la construcción del Canal del Dique en el hoy departamento del Atlántico, en una zona caracterizada por pantanos debido a las periódicas inundaciones del río Magdalena. En 1697 la hidráulica fluvial es direccionada por la combinación de diferentes conceptos como hidrología, geomorfología y transporte de sedimentos para el estudio del comportamiento hidráulico de los ríos en lo referente a los caudales y los niveles medios y extremos, la velocidad de flujo, las variaciones de fondo por socavación, la sedimentación, la capacidad de transporte y la afectación contra las márgenes. En 1907 se emprendieron los estudios formales, con la asignación de los direccionamientos al encauce del río y la provocación de la ruptura de la barra en la zona del delta en Bocas de Ceniza; no obstante, varias investigaciones sobre los cauces no son presentadas formalmente, motivo por el cual gran cantidad de zonas carecen de información, como en el caso del río La Plata, sobre el que no se conocen estudios acerca de sedimentos.

Partiendo de la ausencia de información respecto a los sedimentos, se dio inicio a la investigación con la documentación general del municipio de Mutiscua respecto a los recursos hídricos, además de efectuar el levantamiento de información y la recolección de datos y muestras para el posterior análisis. El río La Plata se localiza en el municipio de Mutiscua, en la región

central, subregión occidental (figura 1); el municipio limita al norte con Pamplona y Cucutilla; al sur, con Silos; al oriente, con Cacota y Pamplona y al occidente, con el departamento de Santander. La información recolectada se constituye en una herramienta fundamental para los entes territoriales, puesto que permite el reconocimiento de las zonas vulnerables y de las que se encuentran en riesgo por inundación o por fallas en las estructuras hidráulicas. Lo anterior posibilita la planeación y ejecución de estrategias de prevención, cuidado y protección ambiental, social y económica del municipio.

En la figura 1 se presenta de la ubicación del municipio de Mutiscua y la delimitación de la microcuenca del río La Plata desde su origen en la laguna La Plata hasta la unión con la microcuenca del río Sulasquilla, que da origen a la cuenca del río El Zulia, así como la localización de la zona de influencia de la cabecera municipal.

Desarrollo teórico y metodológico

Dentro del proceso de investigación referente al transporte de sedimentos en el río La Plata en el municipio de Mutiscua se partió de la revisión teórica para el posterior planteamiento metodológico.

Desarrollo teórico

El transporte de sedimentos se encuentra enmarcado en la rama de la hidráulica denominada *hidráulica fluvial*, cuyo objetivo es la ejecución de estudios sobre los fenómenos a que da lugar el flujo del agua sobre un lecho que tiene la posibilidad de modificar sus características en función de los requerimientos dados por el flujo y que, finalmente, se traduce en modificaciones y alteraciones del lecho del cauce.



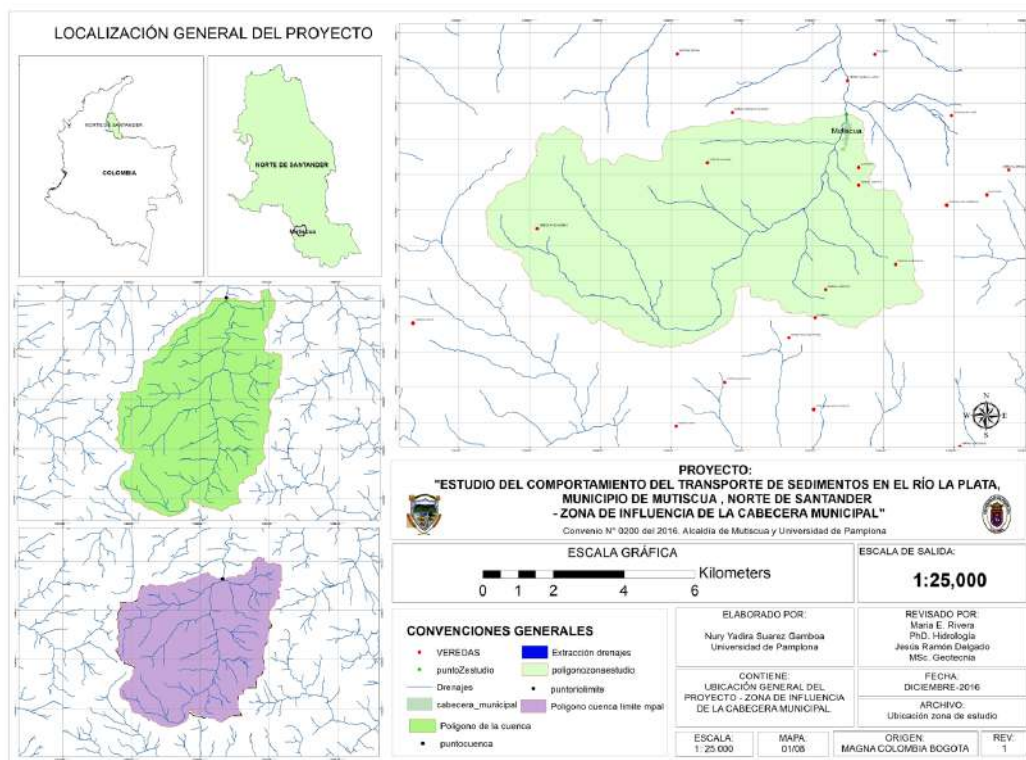


Figura 1. Ubicación general del proyecto río La Plata
Fuente: elaboración de los autores a partir de ArcGIS, 2016.

Así pues, como complemento, Londoño (2001) señala la necesidad de analizar la cuenca hidrográfica; de manera general, esta es una unidad morfológica integral, que se define en un territorio donde las aguas superficiales convergen hacia un cauce o unidad natural delimitada por una divisoria de agua. La caracterización morfométrica de dicha cuenca proporciona la descripción física y espacial para obtener las conclusiones sobre las características de la zona a partir de la geometría. Este análisis está enmarcado en una serie de parámetros, como área, longitud del cauce, tiempos de concentración, forma, relieve y red de drenaje, entre otros, que posteriormente permiten efectuar el análisis hipsométrico a partir de la curva hipsométrica definida por Strahler en 1952, que permite conocer la distribución de la masa de la cuenca desde arriba hacia abajo para determinar la fase en la cual se encuentra la cuenca en estudio (Racca, 2007).

De otra parte, la modelación numérica implica la revisión, la cuantificación y la evaluación de los factores naturales y antrópicos que se vinculan con la erosión, el transporte y el depósito de los sedimentos (Bolívar, Rivero, Urbina & Yepez, 2016): precipitación, evaporación, transpiración, escorrentía, infiltración, atmósfera, percolación, suelo, actividades humanas, erosión, transporte y depósito de sedimentos. Esto es analizado evaluando la forma del transporte que presentan las partículas (en suspensión o de fondo), el tipo de flujo (laminar o turbulento), la caracterización granulométrica del sedimento mediante el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials o AASTHO (forma, tamaño, densidad, peso específico, velocidad de caída del grano), los caudales, la topografía y los demás requerimientos que se enmarquen en HEC-RAS 5.0, un software que es un paquete integrado de análisis hidráulico, donde el



usuario actúa con el sistema a través del uso de una interfaz gráfica del usuario (GUI) mediante la definición de la serie de elementos que desee emplear y que, para el caso, implica las diferentes funciones de transporte de sedimentos y los parámetros adicionales para la simulación (Barbosa, 2013).

Metodología

De manera general, la metodología empleada para identificar y analizar los factores que intervienen en el transporte de sedimentos en el río La Plata, municipio de Mutiscua, norte de Santander, en la zona de influencia de la cabecera municipal, se presenta en la tabla 1.

Descripción metodológica

El estudio del transporte de sedimentos en el río La Plata parte del proceso de documentación, seguido de la determinación de la hidrología, que incluye: 1) caracterización morfométrica de la cuenca, 2) elaboración de las curvas IDF, 3) hietogramas e hidrogramas y 4) medición de caudales y nivel de la lámina. Posteriormente se realiza el levantamiento topográfico de las secciones transversales en la zona de influencia de la cabecera municipal y la identificación de los puntos de muestreo de sedimentos para la ubicación de los equipos de muestreo de fabricación artesanal que permiten la recolección de las muestras y la caracterización mediante la granulometría con el empleo del sistema AASTHO. Además, en la revisión se deben considerar la rugosidad de Manning del canal y los bancos. Finalmente se desarrolla el levantamiento a través de HEC-RAS 5.0, Hec-GeoRAS y ArcGIS 10.2 para efectuar el análisis correspondiente a la modelación

y la simulación de la microcuenca del río La Plata del municipio de Mutiscua.

Conclusiones

El material predominante en el lecho del río La Plata corresponde principalmente a gravas arenosas y arenas.

El transporte de los sedimentos está materializado por múltiples variables y parámetros (caudales, flujo, topografía, tamaño, forma, velocidad, densidad del grano y metodología, entre otros) que, a su vez, son modificados con el transcurso del tiempo.

Las variaciones de caudal están directamente relacionadas con los cambios en la precipitación y con la mayor o menor captación de caudales para el aprovechamiento de tipo económico.

En la época de estudio se referenciaron niveles de lámina de máximo 88, 82 y 104 cm para las 7 a. m., 12 m. y 6 p. m. respectivamente en la sección donde se ubicó el nivel.

Las secciones con mayor tendencia a ser socavadas o erosionadas son las estructuras hidráulicas ubicadas dentro o en el margen del cauce (puentes, molino, marmolera, captación de estaciones piscícolas y muros o pilas de soporte).

Los factores importantes a considerar antes, durante y posteriormente a una construcción hidráulica son: la revisión del comportamiento dado entre el material removido y el depositado, las fallas por sismos, los caudales máximos y mínimos, los fuertes, las avenidas, los posibles represamientos y los planteamientos de mantenimiento estructural.



Tabla 1. Metodología empleada para estudiar el transporte de sedimentos en el río La Plata

Actividad a realizar	Actividades soporte	Evidencia
Recopilación de la información del área de estudio	Revisión documental y en campo	
Topografía y caracterización morfométrica de la cuenca	Levantamiento de secciones	
	Caracterización con el modelo digital de terreno	
Criterios para la selección de los puntos de muestreo de sedimentos y aforo	Definición de puntos y ubicación de muestreadores	
	Definición de sección de aforo	
Obtención y procesamiento de insumos y elementos necesarios para la modelación	Solicitud y recopilación de información para su procesamiento	
Caracterización granulométrica de sedimentos en los puntos de muestreo	Secado y clasificación granulométrica en laboratorio	
Modelamiento en el software HEC-RAS 5.0	Inclusión de datos recopilados y corrida del software	

Fuente: elaboración de los autores (2017).



Bibliografía



- Barbosa Gil, S. (2013). *Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas)* (tesis de maestría). Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11674/1/1128416170.2013.pdf>.
- Bolívar, K., Rivero, C., Urbina, J. & Yopez, O. (30 de marzo de 2016). *Transporte de sedimentos*. Recuperado de <http://sedimentologiagrupo02.blogspot.com.co/2016/03/transporte-de-sedimentos.html>.
- Giraldo, C. (2009). *Hidráulica fluvial. Historia*. Mecánica de Fluidos y Recursos Hidráulicos, Escuela de Ingeniería de Antioquia. Recuperado de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/hfluvial/historia.htm>.
- Londoño Arango, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: bases conceptuales, caracterización, planificación, administración*. Ibagué: Universidad del Tolima. Recuperado de http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas%20hidrograficas%20bases%20conceptuales%20%20caracterizacion%20%20planificacion%20yorganizacion%20-%20CARLOS%20LONDOO.pdf.
- Racca, J. M. G. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 77(1-2), 31-38. Recuperado de http://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/volumen77/BIFG_77_31.pdf.



Sistema experto MAPA (SE-MAPA) para el soporte de decisiones en la gestión del riesgo agroclimático

Expert system MAPA as a decision support for agroclimatic risk management

Andrea Onelia Rodríguez R.¹, Douglas A. Gómez-Latorre², Juan Carlos Martínez Medrano³



Cómo citar este artículo: Rodríguez, A., Gómez-Latorre, D. & Martínez Medrano, J. (2017). Sistema experto MAPA (SE-MAPA) para el soporte de decisiones en la gestión del riesgo agroclimático. *Análisis Geográficos*, 53, 102-110.

Resumen

Con el objetivo de contribuir al cambio del conocimiento experto y al aumento de la capacidad local para la toma de decisiones encaminadas a mejorar la adaptación de los sistemas de cultivo al cambio climático y la variabilidad climática, se desarrolló una plataforma web denominada SE-MAPA en el marco del proyecto de Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA), que integra un módulo con información espacial enfocado al conocimiento del territorio en el contexto agroclimático. El sistema se construyó y organizó a través de una lógica que posibilite la gestión del riesgo agroclimático a diferentes escalas espaciales. La primera escala, a nivel de departamento, presenta el conocimiento general del entorno climático y biofísico, que incluye información de la caracterización de las amenazas climáticas y de la susceptibilidad territorial a eventos climáticos extremos como excesos y déficit hídricos. Luego se escala al municipio, en donde se identifican las zonas de aptitud agroclimática para un sistema de cultivo particular bajo eventos de variabilidad climática, identificando áreas de baja exposición espacial y temporal a los eventos climáticos extremos denominados “nichos productivos de bajo riesgo agroclimático”. Y, finalmente, una escala local enfocada a la estructuración de un sistema de alertas agroclimáticas que, para los casos piloto incluidos en la herramienta, proporciona la condición probable de humedad de la zona a partir de una predicción climática que se relaciona con los posibles efectos sobre el cultivo y un conjunto de opciones tecnológicas. La herramienta se puede consultar en <http://www.corpoica.org/>.

Palabras clave: caracterización climática, variabilidad climática, espacial, nichos productivos, herramienta web.

¹MSc Ciencias - Meteorología. Centro de Investigación Tibaitatá, Corpoica. Correo: arodriguezr@corpoica.org.co.

²MSc Ciencias - Meteorología. Centro de Investigación Tibaitatá, Corpoica. Correo: dagomez@corpoica.org.co.

³PhD Geografía. Departamento de Transferencia de Tecnología, Corpoica. Correo: jcmartinezm@corpoica.org.co.

Abstract

With the goal to contribute to change of knowledge expert and the increase of local capacity for decision making aimed at improving the adaptation of cropping systems to climate change and climate variability, a web platform was developed called SE-MAPA, it was developed in the framework of the project Models of Adaptation and Agroclimate Prevention (MAPA), which integrates a module with spatial information focused on the knowledge of the territory in the agroclimate context. The system was built and organized through a logic to allow the management of agroclimate risk at different spatial scales. The first scale at the departmental level presents the general knowledge of the climatic and biophysical environment, which includes information about the characterization of climate threats and territorial susceptibility to extreme events such as water deficits and excesses. After, it is scaled to the municipality, where agroclimate aptitude zones for a crop system are identified, therefore areas of low spatial and temporal exposure to extreme climatic events were identified called "productive niches of low agroclimate risk". Finally, a local scale focused on the structuring of an agroclimate warning system, which for the pilot cases included in the tool, provides the probable condition of humidity of the zone from a climate prediction, which is related to the possible effects on the crop and a set of technological options. The tool can be consulted at <http://www.corpoica.org/>.

Keywords: climate characterization, climate variability, spatial, productive niches, web tool.



Introducción

En el sector agropecuario, los productores deben tomar decisiones frente al manejo de sus sistemas de producción que pueden llegar a afectar aspectos económicos, sociales y ambientales. Generalmente no se conocen con certeza las consecuencias de las decisiones sino mucho tiempo después de que estas hayan ocurrido, y los resultados pueden ser mejores o peores de lo que se había esperado (Breuer, Fraisse & Zierden, 2010).

Una estrategia en el soporte de la elección de una “buena decisión” es la implementación de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (SATD), que son herramientas que se basan en un proceso de selección entre cursos alternativos de acción apoyados en un conjunto de criterios para alcanzar uno o más objetivos (Simon, 1960; Beynon, Rasmequan & Russ, 2002). Es así que los SATD facilitan que los asesores, los asistentes técnicos, los investigadores y los agricultores, entre otros, cuenten con recomendaciones técnicas y asistencia para la toma de decisiones. Los SATD, además, son un instrumento de comunicación para la transferencia y el uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación o TIC, que son el conjunto de tecnologías desarrolladas para gestionar información y enviarla a diferentes sitios o lugares.

Entre el 2013 y el 2017, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) desarrolló el proyecto Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático, denominado MAPA por la sigla de Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática, financiado por el Fon-

do Adaptación, cuyo propósito fue el de contribuir a la reactivación económica de las zonas afectadas por la ola invernal, empoderando a los servicios locales de extensión y asistencia técnica con información agroclimática y tecnologías de manejo. Como un producto del proyecto, se desarrolló un sistema experto MAPA (SE-MAPA) con el propósito de incluir gran parte de la información del proyecto y contar con una herramienta que conlleve a la lógica de pensamiento del enfoque de un sistema de apoyo a la toma de decisión agroclimáticamente inteligente.

El sistema está conformado por dos escalas: una regional, que incluye la información departamental y municipal, y una escala local a nivel de cultivo de la parcela vinculada al producto “Plan de manejo integrado de las cadenas productivas priorizadas en los proyectos de reactivación económica” de MAPA. En consecuencia, el SE-MAPA brinda apoyo a escala regional y local para la selección de opciones tecnológicas con base en la identificación del daño sobre el sistema de producción como consecuencia de la probabilidad de ocurrencia espacial y temporal de un fenómeno agroclimático adverso, específicamente, para excesos y déficits de agua en el suelo.

Desarrollo teórico y metodológico

El SE-MAPA se concibe como una herramienta tecnológica, con el enfoque de agricultura climáticamente inteligente (ACI)⁴ que contribuye con conocimiento experto al aumento de la capacidad local de tomar decisiones encaminadas a mejorar la adaptación de los sistemas de cultivo al cambio climático y la variabilidad climática.

⁴Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la agricultura climáticamente inteligente busca promover la seguridad alimentaria y aumentar la productividad de los sistemas agrícolas, permitiendo que los rendimientos sean más estables y que a largo plazo tengan mayor resiliencia a los riesgos, las crisis y la variabilidad climática (2013).

De esta manera, se puede contar con información agroclimática y de opciones tecnológicas basadas en tecnologías previamente seleccionadas a partir de información bibliográfica y conocimiento experto, bajo un enfoque de construcción participativa local.

El SE-MAPA se compone de tres módulos:

- El módulo A, denominado “SE-MAPA estudiemos el territorio”, tiene como objetivo fortalecer la capacidad técnica de los asistentes técnicos (AT) a través de la sistematización de los resultados más relevantes del proyecto MAPA, como la caracterización y el análisis de la variabilidad climática para precipitación y temperatura a escala departamental, la identificación de zonas de aptitud agroclimática para cultivos y una serie de opciones tecnológicas seleccionadas para ser implementadas, con el fin de mejorar la capacidad adaptativa frente a condiciones restrictivas por exceso o déficit de humedad del suelo.
- El módulo B, denominado “Agua-rendimiento”, posibilita de manera pedagógica la estimación de las tendencias de productividad-rendimiento, inicialmente en los cultivos de tomate, papa, plátano, maíz y frijol, a partir de la utilización de datos climáticos (precipitación, temperatura máxima y mínima a escala diaria) de algunas estaciones meteorológicas a lo largo del territorio nacional en años de clima contrastante (periodos El Niño, La Niña y de neutralidad) y de suelos, considerando sus propiedades físicas definidas en tres clases texturales (arena, arcilla y limo) para determinar los rangos de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da).

El modelo está basado en los documentos de la FAO *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos* (Doorenbos et al., 1979) y *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Allen, Pereira & Races, 2006).

- El módulo C o “Glosario” se concibe como un catálogo de términos que son utilizados o se han desarrollado bajo el enfoque metodológico del proyecto MAPA. Cada palabra está acompañada de una definición breve, una definición amplia y una fuente e información de apoyo. Los términos contenidos hacen factible la ampliación de los conceptos y relaciones, brindando al usuario claridad sobre la información, lo que hace que contribuya al entendimiento y apropiación teórica y técnica del enfoque temático de MAPA.

A continuación se presentan las fases metodológicas utilizadas para la construcción e implementación de los sistemas expertos ajustadas para el desarrollo del SE-MAPA: 1) diseño y formulación; 2) desarrollo y construcción del sistema; 3) verificación y validación participativa del sistema y 4) difusión y uso del sistema (figura 1).

El diseño y la formulación del proceso metodológico abarcan la definición de los objetivos y el propósito del sistema, donde se identifica el problema y se establecen los componentes y las medidas de efectividad que se usarán en la evaluación del modelo. Así mismo, se plantea un análisis del sistema con el fin de entender sus partes, sus relaciones y los factores relevantes que afectan el problema bajo estudio.

El desarrollo y la construcción del sistema es la fase de organización de los



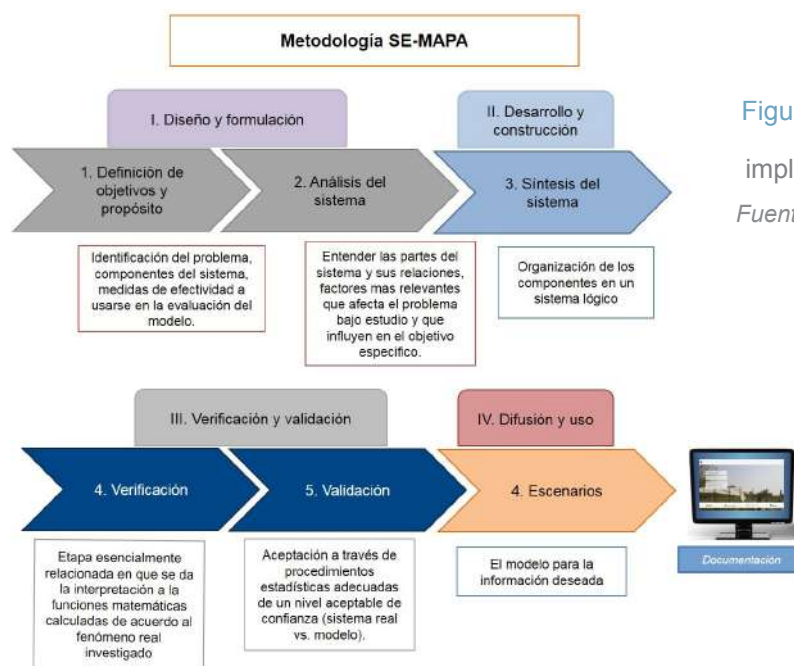


Figura 1. Fases metodológicas para la construcción e implementación del SE-MAPA

Fuente: elaboración de los autores.

componentes en un sistema lógico; esto se realizó a partir de en un conjunto de tareas agrupadas en pequeñas etapas repetitivas o iterativas que a la vez posibilitan el desarrollo de porciones más pequeñas, retroalimentando así lo aprendido en previas versiones. A partir de esta metodología, se integraron los diferentes departamentos con sus sistemas de cultivo, de acuerdo con la información disponible, por etapas repetitivas y realizando las respectivas verificaciones y ajustes por región y cultivo.

La verificación y la validación facilitan valorar algunas de estas características y mejorar la confianza en los resultados que genera el sistema. El proceso se da a través de ejercicios que incluyen personas con conocimiento sobre uno o más aspectos del sistema con el fin de aceptar un nivel de confianza del SE-MAPA (sistema real vs. el modelo).

La difusión es una de las etapas importantes en el desarrollo del SE-MAPA, como pieza formativa en el conocimiento de la herramienta que promueve los objetivos, los alcances, las disposiciones y los contenidos del sistema.

El módulo A: SE-MAPA estudiamos el territorio

Es el módulo que contiene la información espacial y está enfocado al conocimiento del territorio en el contexto agroclimático. La información cartográfica integrada en el SE-MAPA a escala de departamento incluye parte de los resultados generados en el análisis climático del proyecto. Esta información se integra de manera tal que guarda un orden lógico, describiendo, en principio, la caracterización climática, luego la variabilidad climática interanual relacionada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS, o ENSO en inglés) y, por último, las amenazas agroclimáticas. En la tabla 1 se muestra la estructura de la información cartográfica integrada en el SE-MAPA.

Entre los principales logros de la escala regional por departamento figuran la caracterización climática de 7 variables para 18 departamentos, la estimación de la tendencia histórica de las anomalías de las precipitaciones y las temperaturas (máxima media, media y mínima media) bajo condiciones de El Niño y La Niña, la identificación de la susceptibilidad territorial a excesos y



deficiencias, así como la susceptibilidad a las inundaciones e inundaciones presentadas en el periodo 2010-2011.

La información cartográfica integrada en el SE-MAPA a nivel municipal comprende parte de los resultados generados por el producto “Indicadores locales de vulnerabilidad de los sistemas productivos” del proyecto. Dicha información fue integrada de manera tal que guardara un orden lógico, describe algunas manifestaciones en el territorio de los excesos y las ausencias de lluvias (inundaciones y sequías), denominadas *amenazas agroclimáticas*, así como el impacto del déficit o del exceso de agua en el suelo, directamente sobre el sistema de cultivo priorizado en el municipio, que se denomina *riesgo agroclimático*. En la tabla 2 se muestra la estructura de la información cartográfica integrada en el SE.

Dentro de lo más destacado a nivel municipal está la elaboración de mapas de pérdida o estabilidad (anomalía) del índice de vegetación de diferencia normalizada o NDVI, por la sigla en inglés de *normalized difference vegetation index*, durante un fenómeno El Niño respecto a una condición normal. Se logró confeccionar escenarios de información mensual de las limitantes de suelo asociadas al grado de la amenaza en términos de probabilidad (baja, media o alta), se detectaron áreas con características agroclimáticas apropiadas para la producción agropecuaria, dada la baja exposición espacial y temporal a condiciones de humedad restrictivas a nivel municipal, y se seleccionaron opciones tecnológicas para cada sistema productivo frente a escenarios climáticos. También se generaron mapas de la distribución espacial que integran datos del mayor número posible

Tabla 1. Información cartográfica integrada en el SE-MAPA a escala de departamento

Tipo	Justificación
Caracterización climática	En la actividad agrícola es importante contar con información climática de las zonas de interés, por lo tanto, se presenta la distribución espacial anual promedio de las diferentes variables climáticas importantes para los cultivos y la ganadería. Esto como herramienta para hacer el mejor uso de los recursos y reducir los impactos ambientales.
Variabilidad climática interanual	La variabilidad climática tiene en cuenta las fluctuaciones en el clima durante ciertos periodos en los cuales se tienen valores por encima o por debajo de lo normal en las diferentes variables meteorológicas. Las distintas regiones del país son altamente influenciadas por los efectos de la variabilidad interanual relacionada con el fenómeno de El Niño y La Niña. En consecuencia, en la actividad agrícola es importante, además de contar con información climática, conocer su variabilidad.
Amenazas agroclimáticas	Además del conocimiento de las condiciones climáticas de una zona y su variabilidad, es importante estimar los análisis agroclimáticos; por consiguiente, en esta sección se presentan la frecuencia de excesos y déficits y la susceptibilidad a las inundaciones.

Fuente: elaboración de los autores.



Tabla 2. Información cartográfica integrada en el SE-MAPA a escala de municipio

<i>Tipo</i>	<i>Capa</i>	<i>Justificación</i>
Amenazas agroclimáticas	Análisis de contracción de cuerpos de agua	Las capas indican cuál ha sido el comportamiento de los cuerpos de agua bajo eventos El Niño, donde se presume contracción, y La Niña, donde se supone que pueda darse una expansión, en comparación con la línea base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:25.000 a través de la interpretación de imágenes de sensores con resolución espacial entre 5 y 10 m por pixel.
	Análisis de expansión de cuerpos de agua	
	Análisis de condiciones secas a través del cálculo de anomalía del NDVI	La capa indica la pérdida o estabilidad del NDVI, que no es más que un parámetro que se calcula a partir de la reflectancia de algunas coberturas en ciertos rangos del espectro electromagnético (rojo e infrarrojo) bajo periodos prolongados de ausencia de lluvias (ya sea por un evento El Niño u otras alteraciones océano-atmosféricas) que reflejan el estado de la vegetación en su capacidad fotosintética. Una condición severa considera un porcentaje de pérdida del NDVI mayor al 25%, lo que significa que en las plantas hay una alta disminución en su capacidad fotosintética que repercute en su desarrollo; no obstante, si el porcentaje es menor al 5% se considera estable.
Riesgos agroclimáticos	Aptitud agroclimática (excesos, normal y déficit)	El análisis consiste en la búsqueda de los nichos productivos óptimos por cada escenario (exceso, normal y déficit) por cultivo priorizado a través de la integración del análisis de aptitud de uso del suelo con el análisis de disponibilidad hídrica a partir del cálculo del índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI, por su sigla en inglés).
	Escenarios agroclimáticos (exceso, normal y déficit)	Si bien las capas que describen cada uno de los escenarios agroclimáticos son generadas a partir de la identificación del nicho productivo óptimo del análisis de aptitud agroclimática, este análisis es realizado para el ciclo productivo predominante en la zona, si es un cultivo transitorio o en ventanas de mayores y menores lluvias si es un cultivo permanente.

Fuente: elaboración de los autores.

de estaciones meteorológicas, así como el análisis de los patrones de variabilidad temporal a escala regional en los municipios priorizados. Otro logro relevante fue la

vinculación de los planes de manejo agroclimático integrado de los sistemas productivos priorizados.



La identificación de zonas de aptitud agroclimática, que son las áreas con menor riesgo agroclimático para un cultivo, se consideraran como un insumo de planificación a nivel regional para la toma de decisiones. Dada la escala general en que se trabajó, se realizaron revisiones y verificaciones participativas de la zonificación a escala municipal, a través de la cartografía social con productores de las zonas, verificando las áreas y delimitando la ubicación correcta de las zonas con mayor aptitud.

Conclusiones

El SE-MAPA es una plataforma de aprendizaje bajo un enfoque pedagógico de relación de conceptos de riesgos agroclimáticos, y es también la culminación de los diferentes planes de manejo de los sistemas de producción priorizados por el proyecto MAPA. El marco teórico del SE-MAPA facilita entender el concepto de jerarquía de la integración de la escala regional y local a través de sus tres módulos: el primero orienta el conocimiento, la comprensión del territorio y promueve una adecuada cultura territorial; un segundo módulo de produc-

tividad-rendimiento posibilita entender las tendencias del balance hídrico al ingresar datos reales y precisos, facilitando, a su vez, entender los conceptos de agroclimatología, desde la humedad del suelo hasta la eficiencia del uso de agua; y un tercer módulo, el glosario especializado, facilita el entendimiento de los términos usados en el sistema en forma jerárquica.

El SE-MAPA cuenta con información disponible para 18 departamentos a escala regional sobre cartografía de los patrones agroclimáticos mensuales por escenario de variabilidad climática, y de los riesgos agroclimáticos asociados al exceso y el déficit de agua. Esto representa la información base para iniciar los procesos de fortalecimiento de capacidades internas y externas para focalizar y priorizar las medidas tecnológicas de adaptación y mitigación por cultivo, crianza y territorio.

A escala de municipio se integró la información cartográfica de amenazas agroclimáticas y riesgos agroclimáticos de 54 municipios priorizados que relaciona 54 sistemas productivos y la información de opciones tecnológicas y planes de manejo.



Bibliografía



- Allen, R., Pereira L. & Races L. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudios FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Beynon, M., Rasmequan, S. & Russ, S. (2002). A new paradigm for computer-based decision support. *Decision Support Systems*, 33(2), 127-142.
- Breuer, N., Fraisse, C. & Zierden, D. (2010). *Los pronósticos climáticos y la toma de decisiones en agricultura*. IFAS Extension AE 463. Gainesville: Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias de la Universidad de la Florida.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., Bentvelsen, C.L.M., Branscheid, V., Plusje, J.M.G.A. (1979). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudios FAO Riego y Drenaje N° 33. Roma: FAO.
- Hurtado, G. & Cadena, M. (2002). Aplicación de índices de sequía en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 5, 131-137. Recuperado de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero05/05_15.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013). *¿Qué es la agricultura climáticamente inteligente?* FAO - economía e innovaciones políticas para una agricultura climáticamente inteligente (EPIC). Recuperado de <http://www.fao.org/climatechange/epic/que-hacemos/que-es-la-agricultura-climaticamente-inteligente/es/#.We9pNmjWzIV>.
- Simon, H. (1960). *The new science of management decision*. Nueva York: Harper & Row.



GEOGRÁFICO AGUSTÍN

PRODUCTOS Y SERVICIOS CON CALIDAD

Para conocer nuestros
productos y servicios consulte

www.igac.gov.co

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC
Oficina Sede Central en Bogotá
Carrera 30 N° 48-51

Oficinas de atención a nivel nacional
Conmutador: [571] 3694000 ó 3694100
Línea de atención al cliente: 018000 915570

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

Cartografía histórica y social para la apropiación y el empoderamiento del territorio y la construcción social del conocimiento en el barrio Santo Domingo Savio de Medellín

Historical and social cartography for the appropriation and the empowerment of the territory and the social construction of knowledge in the Barrio Santo Domingo Savio at Medellín

Johan Sebastián Ruiz Orozco¹, Catherine Osorio²,
Leidy Yulied Sepúlveda Goez³, Daniela Carvajal Mazo⁴



Cómo citar este artículo: Ruiz Orozco, J., Osorio, C., Sepúlveda Goez, L. & Carvajal Mazo, D. (2017). Cartografía histórica y social para la apropiación y el empoderamiento del territorio y la construcción social del conocimiento en el barrio Santo Domingo Savio de Medellín. *Análisis Geográficos*, 53, 112-120.

Resumen

El ejercicio investigativo se llevó a cabo en el barrio Santo Domingo Savio, en la ciudad de Medellín, y se planteó desde la cartografía social como marco teórico-metodológico cuya intención es resignificar las prácticas socioculturales e históricas, así como incidir en el reconocimiento de los sujetos en cuanto actores y gestores del proyecto barrial y en el empoderamiento del lugar habitado, desde las subjetividades al lenguaje informático cartográfico que, según esta perspectiva, debe plasmar no solo con exactitud las coordenadas y las líneas del mapa, sino que también deben dar cuenta del empoderamiento, la apropiación y las tensiones de identidad que se generan como fenómenos del vínculo sujeto-entorno. Esta propuesta se planteó desde la investigación acción participativa para recuperar saberes y experiencias que están implícitos en las interacciones sociales, y se fundamenta en la construcción colectiva del conocimiento, es decir que cuenta con la participación de la comunidad, que son quienes finalmente generan saberes acerca del lugar para transformar el territorio y posibilitar que este conocimiento entre en diálogo con el lenguaje hegemónico de las tecnologías y con los SIG como lenguaje estándar de la contemporaneidad.

El impacto, positivo o negativo, permitió la incorporación de la comuna al proyecto de ciudad, transformó las diferentes dinámicas sociales del barrio y la ciudad, creó otros espacios de recreación e identidad que revelaron fricciones y tensiones en el reconocimiento que hacen los habitantes de su territorio, su entorno y las representaciones gráficas que se pueden leer acerca de estas experiencias y transformaciones.

Palabras clave: mapa, cartografía histórica y social, representaciones del espacio, imaginarios, relaciones de poder, educación, empoderamiento, transformación, subjetividad, relaciones con el entorno, memorias, inclusión, exclusión, saberes.

¹Licenciado en Ciencias Sociales, Universidad Autónoma Latinoamericana. Correo: johan.ruizor@unaula.edu.co.

²Licenciada en Ciencias Sociales en formación, Universidad Autónoma Latinoamericana. Correo: Catherine.osorio3285@unaula.edu.co.

³Licenciada en Ciencias Sociales en formación, Universidad Autónoma Latinoamericana. Correo: leidy.sepulveda8319@unaula.edu.co.

⁴Licenciada en Ciencias Sociales en formación, Universidad Autónoma Latinoamericana. Correo: daniela.carvajal4310@unaula.edu.co.

Abstract

The investigative exercise was carried out in the neighborhood Santo Domingo Savio, in Medellín, and is based on social cartography as a theoretical-methodological framework, in the search to re-establish socio-cultural and historical practices, as well as the recognition of the subjects as actors and managers of the neighborhood project and the empowerment of the inhabited place, from the subjectivities to the cartographic computer language that from this perspective must not only accurately reflect the coordinates and the lines of the map but also must account for the empowerment, appropriation, and tensions that are generated as phenomena of the subject - environment link; This proposal arises from the research participatory action to recover knowledge and experiences that are implicit in social interactions and is based on the collective construction of knowledge, with the participation of the community, who finally generate knowledge of the place for transformation of the territory and the possibility that they enter into dialogue with the hegemonic language of technologies and GIS as the standard language of contemporaneity.

The positive or negative impact allowed the incorporation of the commune to the city project transforming the different social dynamics of the neighborhood and the city, creating other spaces of recreation and identity revealing frictions and tensions in the recognition that the inhabitants make of their territory and their Surroundings as well as the graphic representations that can be read from these experiences and transformations.

Key words: map, historic and social cartography, space representations, imaginaries, power relationship, education, empowerment, transformation, subjectivity, environmental relationships, memories, inclusion, exclusion, knowledge.

Introducción

El barrio Santo Domingo Savio, en la ciudad de Medellín, Colombia, es considerado un territorio en disputa, en el cual confluyen diversas y complejas dinámicas de tipo cultural, ambiental, económico, social, político y territorial que obstaculizan el pleno desarrollo del barrio para ser incorporado al modelo de ciudad. Esta incorporación y la visualización de las comunas víctimas de la violencia requieren, para ser reconocidas, de instalaciones e infraestructuras innovadoras, presupuesto de la transformación de territorios en conflicto a territorios de paz y convivencia. Como ejemplo de este intento de desarrollo hay varios procesos de planificación zonal, de los cuales algunos se quedaron en intentos, como lo fue en su momento el Plan de Desarrollo Local Comuna Uno Popular, iniciativa que surgió en 1994 pero, al no contar con los recursos de planificación municipal, la iniciativa fue desarrollada por los integrantes de la acción comunal, que proyectan sus resultados para el periodo 2005-2015 (Clavijo, 2009).

La lógica administrativa del modelo de ciudad implementado por el entonces alcalde Sergio Fajardo permitía la inversión en proyectos de alto impacto, magnitud barrial y educación (con el plan Medellín la más Educada), a diferencia de los planes zonales, que no contaban con los recursos necesarios por parte de la alcaldía de turno. Los planes zonales se vieron afectados por otro tipo de dinámicas urbanas locales de tipo invasivo por parte de población desplazada de zonas rurales que buscaba tener una mejor calidad de vida. Esta dinámica invasiva y sin planificación entra en tensión con el modelo de ciudad planteado desde la gobernanza. Una estructura barrial informal, que cuestiona el desarrollo local desde el perfil innovador y que excluye al barrio Santo Domingo. Excluido del

modelo de ciudad, el barrio se convierte en punto nodal de conflictos sociales causados por determinados grupos al margen de la ley que convierten la comuna en un foco de violencia urbana.

El recorrido histórico por el barrio permite develar diferentes problemáticas que son el punto coyuntural de las diversas propuestas que emergen como soluciones prácticas que las diferentes entidades estatales y la población han propuesto para el barrio. Las dinámicas urbanas impuestas terminan por desconocer los procesos históricos del barrio, y la Alcaldía decide asumir la responsabilidad de construir sobre un terreno inestable, y considerado de alto riesgo, el Parque Biblioteca España; sin embargo, al realizar la construcción de la misma, cambia la percepción de los planeadores (Departamento Administrativo de Planeación, Cultura Ciudadana, Obras Públicas, Gobierno, Desarrollo Social, Medio Ambiente, EDÚCAME) y los mismos sujetos sociales. Los servicios que presta esta biblioteca encadenaron, entre otros, la descentralizaron de las actividades, es decir, comunidades que empiezan a ver en el barrio Santo Domingo Savio un punto de entrada importante para el encuentro de nuevas formas y representaciones sociales; los invitados a formar parte del nuevo desarrollo de la ciudad ven su territorio dignificado con diferentes enfoques para convivencia. De esta manera, llegan e impactan a otros lugares que no son propiamente la biblioteca y que crean nuevas rutas de acceso para la comunidad.

Esta ponencia hace parte del proyecto de investigación “Apropiación y Construcción Social del Conocimiento a través de la Cartografía Comunitaria. Un acercamiento a Santo Domingo Savio como lugar”, adscrito al semillero de investigación Seguridad Humana de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma

Latinoamericana, liderado por la docente Dilia Carolina Peña Navarro, cuyas preguntas emergentes fueron: ¿cuál ha sido el proceso de descentralización del Parque Biblioteca? ¿Cuáles son las dinámicas y vínculos que genera la construcción de la Biblioteca España con la comunidad? ¿Cómo ha sido el proceso de apropiación del lugar por parte de los agentes sociales frente a la lógica del modelo de ciudad?

El concepto de apropiación del espacio relacionado con la vinculación entre las personas y los lugares es tomado Vidal Moranta y Pol Urrutia (Moranta & Urrutia, 2005).

Luego de algunas salidas de campo al barrio, en la fase de reconocimiento, la discusión se enfocó en otras problemáticas que parecen ser el centro de las transformaciones urbanas. Por ejemplo, uno de los miembros de la Mesa de Derechos Humanos, John Jairo Rincón, relató que la llegada del Metrocable parece ser el inicio de las problemáticas presentes, ya que el medio de transporte asegura la visita de transeúntes y extranjeros que le proporcionan a algunos sectores económicos del barrio ingresos necesarios para la reestructuración de negocios, mayor rentabilidad y estabilidad laboral que generan mayor atracción a la comuna, donde finalmente se construye el Parque Biblioteca España.

Si bien el Parque Biblioteca posibilitó formas de apropiación y empoderamiento del territorio y cambió la percepción del barrio Santo Domingo para sus habitantes y para los de la ciudad de Medellín, se definió que el objeto de estudio de esta investigación fueran las relaciones entre las transformaciones urbanas y las dinámicas socioeducativas; estas son las perspectivas que se tomaron en las instituciones educativas para mejorar el desarrollo social y de convivencia en el nuevo entorno incorporado a

la transformación. Para este proyecto, se considera que las dinámicas urbanas son el elemento fundamental que condiciona las relaciones que se construyen en la comuna.

La pregunta principal es: ¿cuál es el impacto de las transformaciones sociales del modelo de ciudad actual sobre las dinámicas de las relaciones socioeducativas y socioculturales y el empoderamiento del territorio de los habitantes de Santo Domingo?

El supuesto que se maneja es que reconocer a Santo Domingo y situarlo como territorio en constante actualización y transformación requiere de la cartografía como un marco teórico y metodológico. Así, el objetivo de esta propuesta fue reconstruir las relaciones urbanas a través de las dinámicas intersubjetivas de los habitantes del barrio Santo Domingo Savio en clave de las relaciones socioeducativas y culturales y de apropiación del espacio, por medio del mapeo del territorio desde dinámicas socioculturales generadoras de identidad en plataformas virtuales cartográficas.

La cartografía ha sido utilizada en diferentes tiempos, espacios e investigaciones como medio para develar características de poder, dominación, tierra, espacio y tiempo; estos mismos imaginarios y representaciones le han dado a este saber un lugar y estatus importante a la hora de recrear los conocimientos de diferentes áreas o disciplinas. Adicionalmente, es un referente en el saber específico de las ciencias sociales que contribuye al desarrollo técnico-científico al mostrar el espacio de diferentes formas y en diversos contextos que, a través de la historia, ha sido objeto de disputa en las relaciones de poder, tanto por parte de las colectividades como de los medios reproductores de poder y del llamado conocimiento científico-positivista.



Por ello, en la actualidad la forma estándar de hacer cartografía es a través de los sistemas de información geográfica (SIG), que permiten una visión rápida y objetiva de los espacios y las dinámicas culturales, sociales, políticas, religiosas, etc. Estos también son escenarios de disputas por la significación de la representación del espacio y, por tanto, del empoderamiento del territorio y del lugar habitado; este campo no se debe limitar a los tecnicismos que proponen las nuevas tecnologías con su lenguaje hegemónico estandarizado, sino que debe estar complementado y transversalizado por las experiencias, las vivencias y las narrativas de los sujetos que le dan valor y significación al espacio o territorio habitado, deshabitado y transitado.

Metodología

Este ejercicio investigativo se pensó desde la cartografía social como marco teórico-metodológico, en un proceso que busca resignificar las prácticas socioeducativas, culturales e históricas, así como el reconocimiento de los sujetos en cuanto actores y gestores del proyecto barrial y el empoderamiento del lugar habitado desde las vivencias a los lenguajes tecnológicos e informáticos que desde esta perspectiva deben plasmar con exactitud las coordenadas y la líneas del mapa, sino que también deben dar cuenta del empoderamiento, la apropiación, las tensiones e identidades que se generan como fenómenos de la relación sujeto-entorno.

La propuesta se planteó desde la investigación acción participativa (IAP) (Ortiz & Borjas, 2008), que busca recuperar saberes y experiencias que están implícitos en las interacciones sociales y se fundamenta en la construcción colectiva del conocimiento, es decir que cuenta con la participación de la comunidad, ya que son quienes finalmente generan saberes de empoderamiento

y apropiación para la transformación del territorio y posibilitan que estos entren en diálogo con el lenguaje hegemónico de las tecnologías de la información y los SIG como lenguajes estándar de la contemporaneidad.

Narrativas sobre mapas históricos

El objetivo de acercamiento a las fuentes de archivo fue reconocer el proceso histórico de las dinámicas de transformación que ha tenido el barrio Santo Domingo Savio; la técnica utilizada fue la deconstrucción de mapas históricos a través de la lectura de texto y contexto en perspectiva crítica (Harley, 2001).

En la generalidad de los mapas históricos del barrio Santo Domingo Savio de la Comuna 1 de Medellín, que se encuentran principalmente en el Archivo Histórico de Medellín (AHM), se logró evidenciar, en el rastreo cartográfico en una línea de tiempo entre 1970 y el 2007, el proceso de fundación, consolidación y reestructuración del lugar como núcleo barrial (AHM, 1973-2005). En los mapas y planos de proyectos de la Alcaldía y la Gobernación se encuentra una insistente referencia al Santo Domingo como barrio de invasión, barrio no planeado, área a intervenir, zona de alto riesgo y periferia. En el extremo nororiental de las comunas de Medellín, el barrio empieza a aparecer, inicialmente, como zona rural no planeada, como periferia que no se incluía en el modelo de ciudad proyectado por las aspiraciones de la gobernanza del momento.

La ciudad se ve obligada, cada vez con más persistencia, a prestar atención a estas periferias que, aunque no se incluían en el modelo urbano, seguían creciendo y haciendo más evidente el incremento po-



Tabla 1. Diseño metodológico

Actividad	Objetivos	Metodología	Técnica	Instrumentos	Materiales	Estimación de acuerdos y conclusiones
Narrativas sobre mapas históricos	Reconocer el proceso histórico de las dinámicas de transformación que ha tenido el barrio Santo Domingo Savio	Cartografía histórica	Texto y contexto en perspectiva crítica: deconstrucción de mapas históricos para develar las transformaciones urbanas y los asentamientos poblacionales	Mapas históricos	Libreta y lápiz	Establecer fecha, hora y lugar para los encuentros con los participantes del mapeo colectivo.
Creación cartográfica comunitaria	Identificar procesos de representaciones sociales a través de la percepción, apropiación y empoderamiento del territorio antes, durante y después de la construcción del Metrocable y del Parque Biblioteca España	Investigación acción participativa	Cartografías comunitarias	Creación cartográfica comunitaria	Pliegos de papel, lápices de colores y marcadores.	Sábado 17 de junio de 2017.
Apropiación del lugar y generación de datos JOSM	Interpretar las relaciones intersubjetivas por medio del mapeo del territorio desde dinámicas socioculturales generadoras de identidad	Investigación Acción Participativa	Mapeo comunitario participativo JOSM	Aplicaciones JOSM, Mapillary, OSMTracker	Celulares, cartografía colectiva en Field Papers	Sábado 24 de junio de 2017, previa reunión de participantes para el proceso formativo

Fuente: elaboración propia.

blacional de la ciudad que, en su momento, también respondía a las migraciones masivas de población de zonas rurales a zonas urbanas en pro de la modernización y la industrialización que prometía la ciudad a sus habitantes, con mejores oportunidades económicas y laborales. A este respecto, también es importante destacar la importancia del momento histórico por el que pasaba no solamente el país y Latinoamérica sino, en ese mismo contexto, la ciudad de Medellín, que crecía, se expandía y demandaba mano de obra.

En los mapas hallados, la Comuna 1 y el barrio Santo Domingo crecen, se expanden y son reconocidos en el mapa en la medida en que la población aumenta y la apropiación que los individuos van haciendo del lugar se materializa en construcciones, caminos, casas, ranchos, postes de luz y acueductos que las mismas personas que llegaban a los “barrios de invasión” iban gestionando, según sus necesidades y posibilidades, y en contraposición al abandono y el desconocimiento por parte del Estado, que paulatinamente tuvo que



incluir en su modelo urbano estas periferias no planeadas para, finalmente, intervenirlas, incluyendo al barrio y la comuna en las dinámicas de la ciudad y en las planeaciones urbanas.

El barrio Santo Domingo se encontraba en los límites entre lo urbano y lo rural. Era el límite de la ciudad y por las condiciones del terreno era difícil pronosticar que el cerro rojo, arenoso, frágil y rústico serviría de asiento y de hábitat a personas de escasos recursos que venían de zonas rurales alejadas a incluirse no solamente en un mapa, sino en un modelo de vida que los dignificara y los pusieran en igualdad de condiciones que otros ciudadanos o, al menos, que les permitiera entrar en la competencia por mejorar las condiciones económicas, que es uno de los principales móviles para pensar en migrar y buscar nuevas posibilidades de subsistencia. De la mano de estas necesidades y subjetividades que convergen en un mismo tiempo y espacio, aparece el empoderamiento del lugar habitado y transitado, la apropiación del lugar que se funda que entre varios sujetos para terminar construyendo comunidad y, en esa misma medida, luchar por ser reconocidos, incluidos y dignificados.

Delimitar y tener el control sobre la expansión de la ciudad era importante para la gobernanza, pues así se tiene el control sobre la población, sobre los recursos y el territorio en pos de la soberanía. Pero en el caso de Colombia, específicamente en Antioquia, el fenómeno de crecimiento poblacional y migraciones ha sido difícil de pronosticar, detectar y evitar, pues hay factores muy fuertes que sobrepasan la pretensión de soberanía estatal como la violencia, el narcotráfico, los desplazamientos, el mismo abandono del Estado, la difícil geografía del país, la multiculturalidad étnica y la tensión por los recursos económicos. Los conflictos que detecta-

mos en los mapas, como evidencia histórica y gráfica, y en las narrativas, como fuente de experiencias colectivas y subjetivas, dan testimonio de lo que es la apropiación y el empoderamiento territorial que genera identidades que no dependen del mapa, sino de la relación que los sujetos tienen con su entorno y su posición frente a las lógicas de poder.

Ahora el barrio Santo Domingo Savio es un barrio más de los que tiene Medellín. Un barrio incluido en el plan de ciudad, turístico y con medios de transporte masivos y sus propios medio económicos, que ahora se ofrece, entre muchas otras opciones, para visitar en la ciudad. Aun así, el barrio continúa con sus propios conflictos y sus necesidades y son los protagonistas quienes lo habitan, lo transitan y lo resignifican con sus experiencias, sus relaciones y sus quehaceres diarios. Las relaciones espaciales se transforman todo el tiempo y las dinámicas humanas, sus prioridades y conflictos de poder actualizan el mapa constantemente y la subjetividad indentitaria de los individuos, que no están separados de su entorno y sus vivencias que moldean lo que conocen como realidad.

Reflexiones

La interacción con los sujetos que habitan el barrio posibilitó el dialogo con su historia, su cultura y su territorio, generando la revitalización del lugar como vínculo común que permite la interacción a través de la palabra, el diálogo y el reconocimiento de identidades, así como de conflictos, tensiones, silencios y censuras para representar estos encuentros y desencuentro en el mapa. En este sentido, la cartografía se convierte en un medio para identificar conflictos y tensiones y abre la posibilidad de actuar sobre estas en pro de soluciones y transformaciones que benefician y

fortalezcan la relación sujeto-entorno más allá de las convenciones institucionales y técnicas.

Repensar y replantear las dimensiones históricas, políticas, culturales y sociales que le dan sentido y acción a las construcciones y transformaciones urbanas tiene como objetivo comprender la importancia de las estructuras barriales de Santo Domingo Savio, así como su impacto ambiental e identitario. Desde allí, las narrativas sobre el territorio permiten develar e interpretar los tránsitos hacia las realidades invisibilizadas y ocultas por el lenguaje hegemónico y que contienen todos los sentidos, buscando rescatar lenguajes e imágenes de los acontecimientos que permitieron la configuración de Santo Domingo como núcleo territorial.

En este sentido, es importante el hecho histórico del surgimiento y la consolidación del barrio, lugar que ha sido fuertemente golpeado y victimizado por la violencia generada por los grupos al margen de la ley, los desplazamientos forzados, las dificultades económicas, las necesidades básicas insatisfechas y el abandono del Estado, que se instalan en el territorio a través de las historias de vida y terminan configurando sus dinámicas culturales y su relación con el entorno.

El barrio Santo Domingo se mantuvo como núcleo territorial aislado, cuyas circunstancias de violencia armada y estructural


fueron bien reconocidas por la ciudad y la gobernanza. Era un barrio de periferia, de invasión, en el que inicialmente las familias desplazadas por la violencia y las carencias económicas desde otras regiones de Antioquia construían las casas o los “ranchos” en madera. Así empezó el poblamiento y se fundó el barrio Santo Domingo.

Este reconocimiento del barrio Santo Domingo como epicentro violento y periférico motivó proyectos que incluyeran al barrio en el plan de desarrollo urbano de la ciudad. Esto impulsó inversiones e intervenciones municipales y departamentales a partir de algunos proyectos innovadores de las diferentes alcaldías de la ciudad de Medellín de los años 2001 al 2007, que promovieron nuevas alternativas frente a las necesidades de la zona y de la ciudad, que ya mostraba preocupación por dinamizar las relaciones del barrio con el proyecto del modelo de ciudad que se había propuesto para Medellín.

El impacto (positivo o negativo) permitió la incorporación de la comuna al proyecto de ciudad, transformando las diferentes dinámicas sociales del barrio y la ciudad, creando otros espacios de esparcimiento e identidad de los habitantes y sus alrededores, cambios en la infraestructura y transformaciones en el paisaje como las representaciones gráficas y lingüísticas que de estas experiencias se pueden leer, proponiendo soluciones que se pueden aportar desde la comprensión cartográfica.



Bibliografía



Archivo Histórico de Medellín (AHM) (1973-2005). Consulta de mapas y planos del desarrollo urbanístico de Medellín en la comuna 1 Barrio Santo Domingo Savio. Proceso de fundación y consolidación del barrio. Folios 5, Documentos 2, 4, 5, 6. Folios 10 Documentos 2 y 7. Folios 33 Documentos 1, 2, 3 y 12. Folios 37 Documentos 4 y 5, Mapas y planos de los años 1973 a 2005. Medellín, Colombia.

Harley, J. B. (2001). *La nueva naturaleza de los mapas*. México: Fondo de Cultura Económica.

Moranta, V. & Urrutia, P. (2005). La apropiación del espacio: una propuesta teórica para reconocer la vinculación entre personas y lugares. *Anuario de Psicología*, 36(3), 281-297. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/AnuarioPsicologia/article/view/61819>.

Ortiz, M. & Borjas, B. (2008). La investigación-acción participativa: aportes de Fals Borda a la educación popular. *Espacio abierto. Cuaderno Venezolano de Sociología*, 17(4), 615-627.

Clavijo, J. (8 de junio de 2009). El día en que 'La Montaña' se derrumbó y ocultó la muerte [mensaje en un blog]. *Tercera Cara*. Recuperado de <http://terceracara.blogspot.com.co/2009/06/el-dia-en-que-la-montana-se-derrumbo-y.html>.





Análisis de contaminación de PM2.5 a través de herramientas geográficas en la ciudad de Bogotá

Pollution analysis of PM2.5 using geographic tools in the city of Bogotá

Diana Carolina Hurtado Pulido¹



Cómo citar este artículo: Hurtado Pulido, D. (2017). Análisis de contaminación de PM2.5 a través de herramientas geográficas en la ciudad de Bogotá. *Análisis Geográficos*, 53, 121-141.

Resumen

Las partículas en suspensión de tamaño inferior a 2,5 micras son generadas en su mayoría por actividades humanas como, por ejemplo, la combustión vehicular. Se ha comprobado que estas partículas pueden generar graves problemas pulmonares y cardiovasculares, por lo cual es de suma importancia mantener control sobre este tipo de contaminación.

En esta investigación se determinó qué sectores de la ciudad se ven más afectados por la concentración de partículas de PM2.5 y cómo influye el comportamiento del viento en su concentración, para lo cual se utilizó la información del Observatorio Ambiental de Bogotá a partir del 2014.

Se elaboró un SIG en el cual se evaluó el comportamiento anual y promedio mensual de índices de contaminación en Bogotá, y se obtuvo como resultado que el occidente de la ciudad, particularmente la localidad de Kennedy, es donde se encuentran las estaciones con mayor concentración de PM2.5. Los meses de febrero, marzo y noviembre son en los que se reporta mayor contaminación por este tipo de partículas a causa de la reducida velocidad del viento, lo cual prolonga su permanencia en la zona.

Palabras clave: contaminación, PM2.5, calidad ambiental, atmosfera, Bogotá.

¹Estudiante de Ingeniería Catastral y Geodesia. Correo: dchurtadop@correo.udistrital.edu.co.



Abstract

The particles in suspension with lower size than 2.5 microns are created mostly by human activities, for example, the vehicular combustion. It has been proved that these particles can generate serious pulmonary and cardiovascular problems therefore is of great importance the control this type of contamination.

It was determined which sectors of the city were the most affected by the concentration of particles PM2.5 and how the behavior of the wind influences this concentration. For this purpose, information of the environmental Observatory from Bogota was used dating from 2014.

A GIS was made to evaluate the annual and monthly average pollution index, getting as a result that the west area of the city, in particular the locality of Kennedy, is where higher concentration of PM2.5 was found. Even more, in Bogota city the months of February, March and November shows the higher contamination levels are reported by this kind of particles because the reduced wind speed prolongs its permanence in the zone.

Keywords: *pollution, PM2.5, environmental quality, atmosphere, Bogotá.*



Introducción

El material particulado del que trata el presente artículo tiene un diámetro inferior a 2,5 micras, por lo cual se clasifica como *partículas finas*, las cuales, en gran medida, son resultado de transformaciones químicas procedentes de actividades como la circulación de vehículos con funcionamiento a base de diésel (Sbarato et al., 2000). Dichas partículas pueden ser sólidas o líquidas y se encuentran en suspensión en la atmósfera. Debido a su pequeño tamaño, hacen parte de la fracción respirable del aire, es decir que pueden ser adsorbidas por el sistema respiratorio al 100%. Cabe destacar que en material particulado, en general, puede clasificarse de la siguiente manera según el grado de absorción de las vías respiratorias del ser humano (Franco, 2015):

- Las partículas inhalables inferiores a 100 nm son retenidas en la nariz y la boca.
- Las partículas torácicas inferiores a 10 nm penetran hasta la laringe.
- Las partículas respirables inferiores a 4 nm llegan hasta los alveolos pulmonares.

Las partículas analizadas (PM2.5), por lo general, poseen pH ácido y forman agrupaciones que, entre otros, contienen hollín y derivados de la combustión vehicular e industrial. Los compuestos químicos que más se encuentran en este tipo de partículas son: “sulfato, amonio, iones de hidrógeno, carbón elemental, componentes orgánicos secundarios, especies orgánicas primarias de quemaduras y combustión y ciertos metales de transición” (Quijano, Quijano & Henao, 2010, p. 3).

Esta composición depende de las fuentes contaminantes, la intensidad con que se generan las partículas y, finalmente, de la interacción molecular. Para el caso específico de Bogotá, se han realizado varios estudios para caracterizar la composición química de este contaminante, entre los cuales se destaca el de Arango, Bustos y Narváez (2007), en el cual se analizó el combustible diésel utilizado en el parque automotor del transporte público de la ciudad y sus alrededores y se concluyó que los vehículos que usaban diésel contenían fracciones de metales pesados como cobre, níquel, cromo y manganeso.

Los efectos producidos por el PM2.5 en la salud de los seres humanos, especialmente en las grandes urbes, son grandes y perjudiciales, lo cual se ha demostrado en múltiples estudios, como el de Linares y Díaz (2009), en el cual concluyen que este es el único contaminante primario relacionado con los ingresos hospitalarios y que causa mayor perjuicio en menores de 10 años, ya que esta población tiene mayor vulnerabilidad debido, entre otras cosas, a que su frecuencia respiratoria es mayor, respiran más cantidad de aire por kilogramo de peso y su exposición al contaminante es alta debido a su estatura y al tiempo en el cual frecuentan parques y espacios al aire libre.

Otros factores importantes a considerar para analizar los efectos que pueden provocar estos contaminantes y su comportamiento son la topografía y la meteorología, ya que existe correlación entre el aumento del contaminante y la disminución de temperatura (Zamorano, Márquez, Aránguiz, Bedregal & Sánchez, 2003), por lo cual en las temporadas frías y de precipitación alta se presenta más cantidad de casos hospitalarios por problemas respiratorios.



La Corporación Autónoma regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (2016) realizó un análisis de la dispersión de diferentes contaminantes atmosféricos, entre ellos el PM_{2.5}, en el cual consideró los diferentes tipos de fuentes de emisión (móviles, fijas y áreas); como era de esperarse, al unir diferentes tipos de fuentes aumenta el grado de contaminación existente. En la creación de este modelo se concluyó que el comportamiento del viento, es decir, la velocidad y la extensión de las corrientes de aire, determinan, en parte, la acumulación del contaminante, pero además se tiene que la topografía suave permite mayor dispersión y circulación de los vientos y de las partículas; por el contrario, la topografía variable hace que circulen más lentamente las partículas y, por lo tanto, que estén más tiempo en la zona.

Con respecto a la normatividad nacional, se reglamentó, en principio, la Resolución 601 de 2006 por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En este documento se estableció un valor máximo permisible para cada contaminante a excepción del PM_{2.5}, el cual debía empezar a medirse en caso de que se identificara que estas partículas estaban afectando la salud humana y, en tal caso, tenía el máximo permitido de la reglamentación de la Environmental Protection Agency (EPA). Posteriormente se crea la Resolución 610 de 2010, la cual modifica la resolución anterior puesto que ahora se indica un máximo permitido fijo por reglamentación propia; sin embargo, aún no es obligatoria su medición.

Desarrollo teórico y metodológico

Recolección y clasificación de la información

La información fue adquirida del Observatorio Ambiental de Bogotá, el cual recolecta datos de PM_{2.5} desde el 2013 aunque en este año no se consideró, puesto que muy pocas estaciones realizaron mediciones constantes de este contaminante.

En principio se observó que de las 11 estaciones instaladas en el territorio de la ciudad solo 10 de ellas contaban con mediciones del contaminante de estudio, por lo cual la estación del Tunal no se tuvo en cuenta. Para determinar el volumen de PM_{2.5} en el ambiente se obtuvieron los datos de PM_{2.5}, de la velocidad y la dirección del viento.

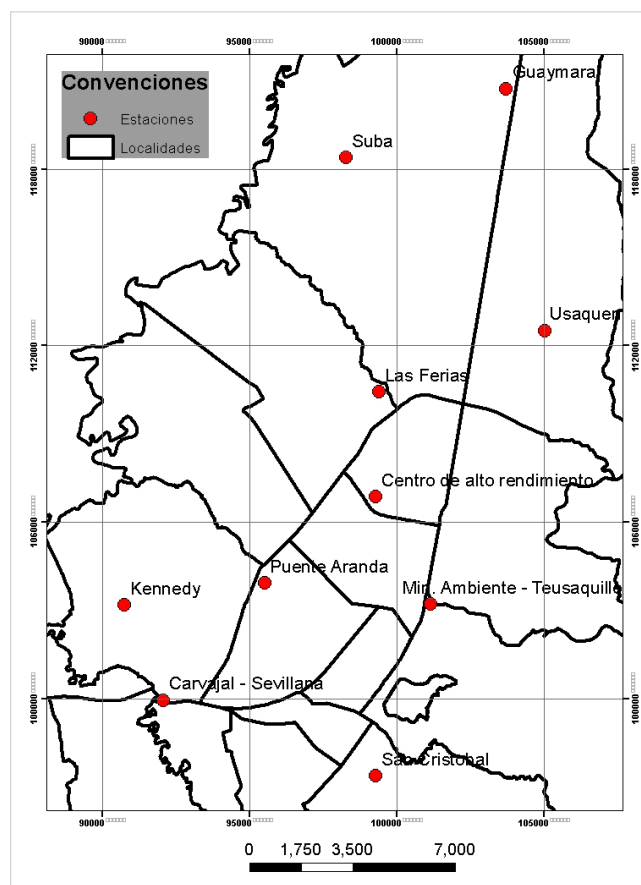


Figura 1. Ubicación de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de la Secretaría Distrital de Ambiente

Fuente: elaboración propia.



Posteriormente se separaron los datos por estación para poder determinar cuál era el comportamiento en cada ubicación en donde existían mediciones, considerando el viento en la zona y además la topografía característica del lugar, puesto que, como se indicó, este factor podía determinar en gran medida la conducta del contaminante (Zamorano et al., 2003).

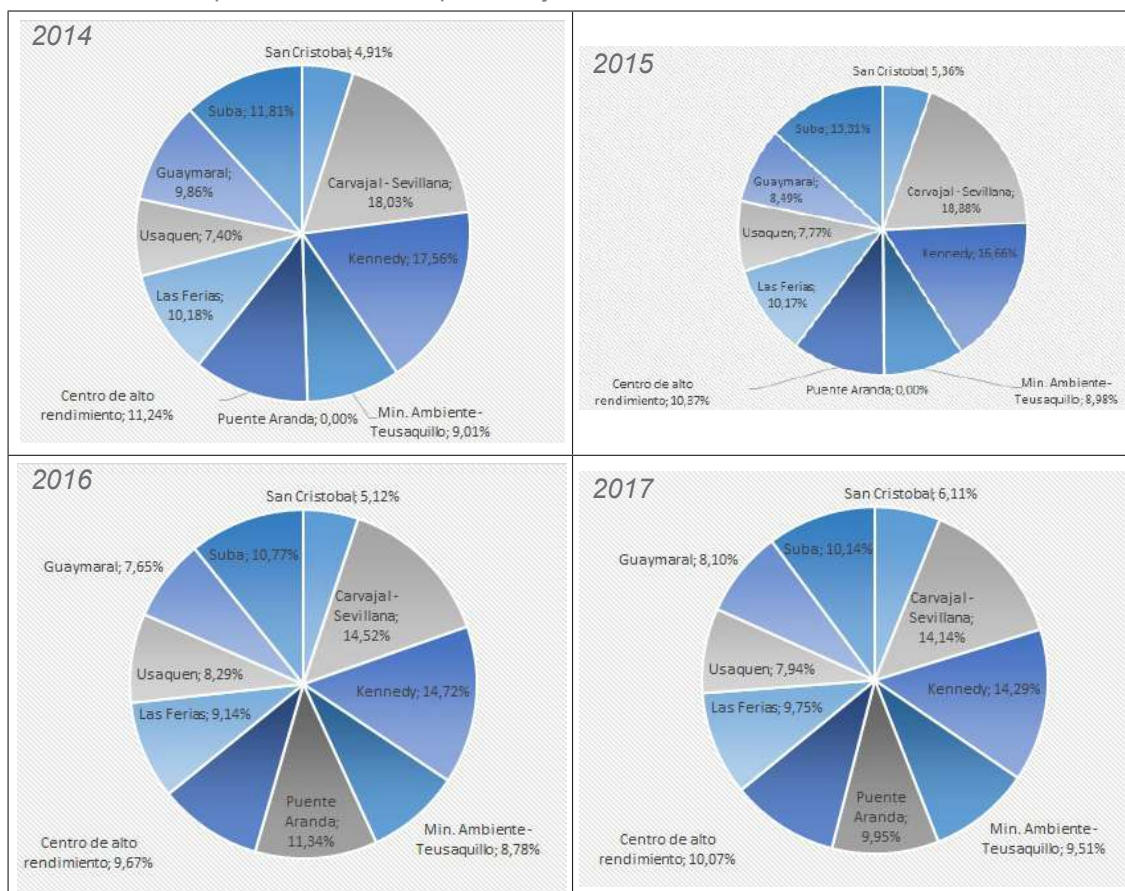
Interpretación estadística descriptiva

Con la información ordenada y clasificada de la manera requerida se realizó un análisis estadístico descriptivo por estación, considerando la información por año y por mes. Al realizar este proceso se obtuvo una visión de los datos más clara, pues permitió conocer el comportamiento

que estos tienen y además se consiguieron valores más apropiados para introducir más adelante en el sistema de información geográfica a trabajar. Las mediciones más relevantes fueron la media aritmética y la desviación estándar.

Para el 2014 se tiene que el valor medio más alto fue el de la estación de Carvajal-Sevillana, seguido de Kennedy, ambas en la localidad de Kennedy, pues entre las dos reportaron casi el 36% de la contaminación de la localidad, mientras que en las estaciones de San Cristóbal y Puente Aranda las mediciones fueron muy bajas. Posteriormente, para los años 2015, 2016 y 2017 se mantiene un comportamiento similar puesto que estas estaciones siguen siendo las que más reportan contaminación por PM_{2.5}, pero su participación sobre el total disminuye con el tiempo.

Tabla 1. Comparación anual del porcentaje de concentración de PM_{2.5} en cada estación



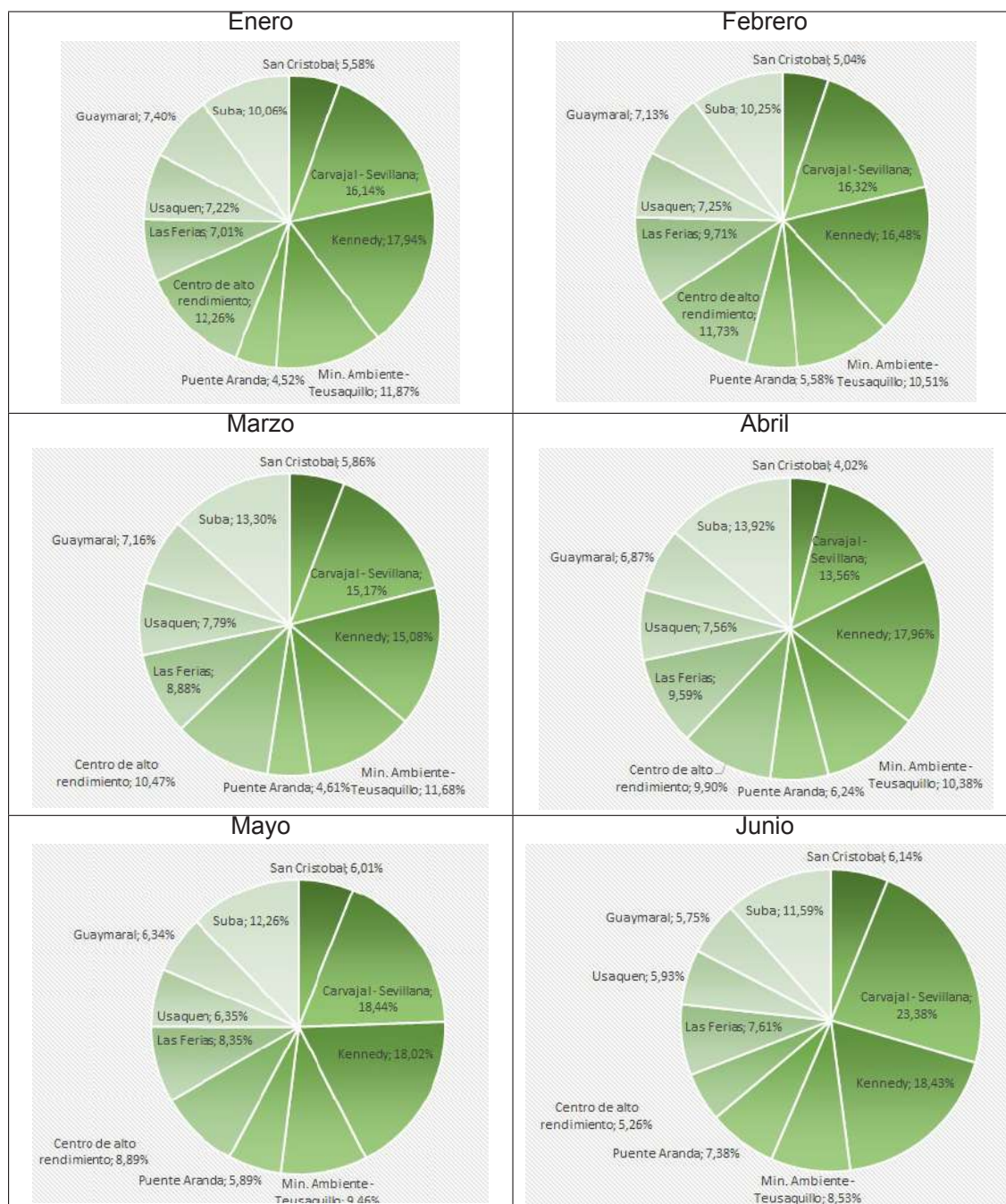
Fuente: elaboración propia.



Se realizó este mismo análisis por cada uno de los meses y se determinó que las estaciones más representativas poseen porcentajes más altos en la temporada de mayo a septiembre, pues alcanzan valores

casi del 20%, y el resto del año oscila en torno al 15%. Lógicamente la participación porcentual de las otras estaciones es menor en los meses más críticos.

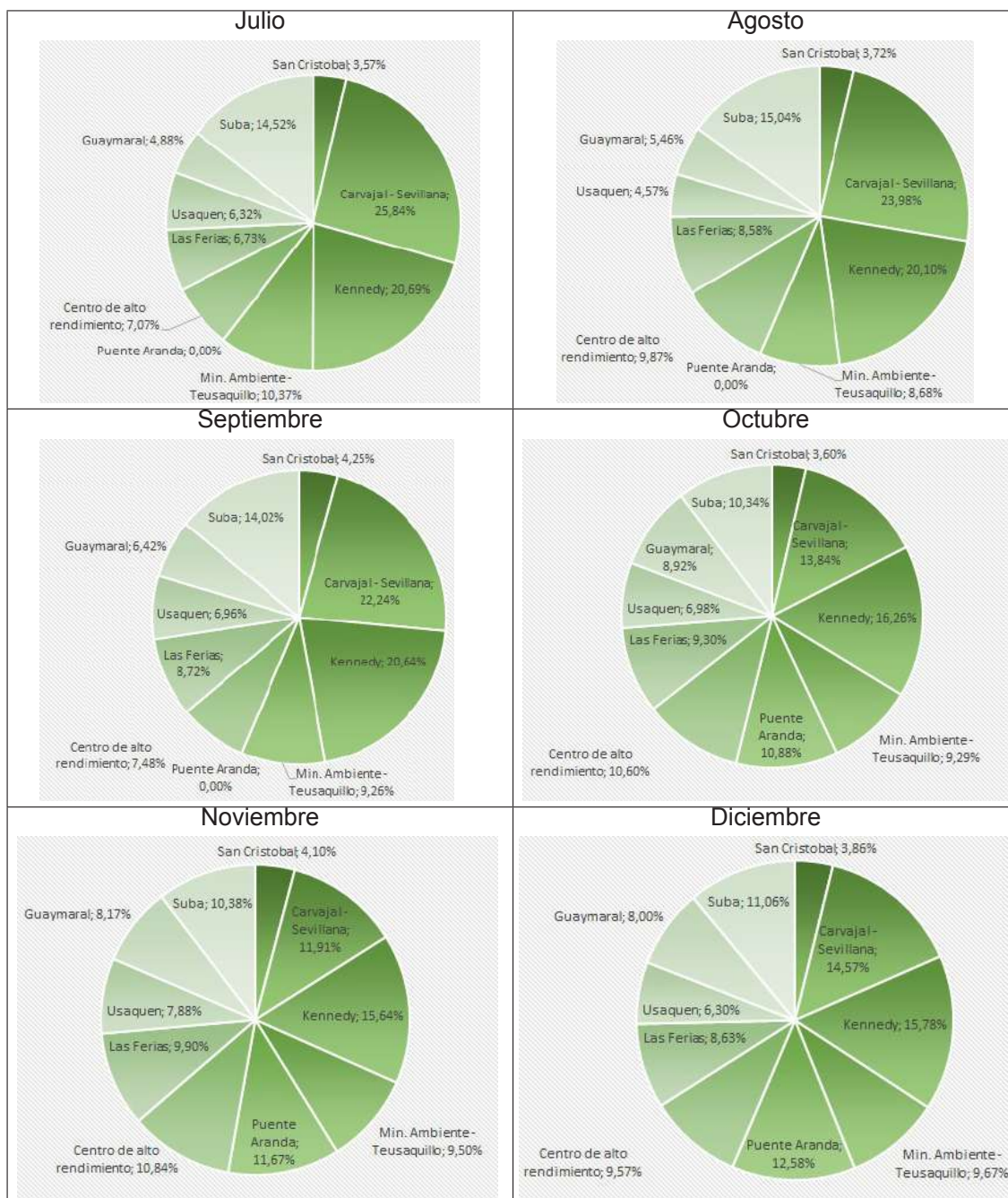
Tabla 2. Comparación mensual del porcentaje de concentración de PM2.5 en cada estación



Continúa >>



<< Continuación



Fuente: elaboración propia.



Ahora se puede ver cómo fue el comportamiento de cada una de las estaciones independientemente de las otras (figura 2): la estación de Puente Aranda tiene, los dos primeros años, valores mínimos porque durante ese periodo las mediciones fueron muy pocas o ninguna. También se concluye que las estaciones ubicadas en la localidad de Kennedy presentan las

mediciones más altas de toda la ciudad, sobrepasando la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010). Vale la pena destacar que el valor medido año a año ha venido disminuyendo. Por el contrario, los valores registrados por las demás estaciones han aumentado con el paso de los años, lo cual es sumamente preocupante para la ciudad.

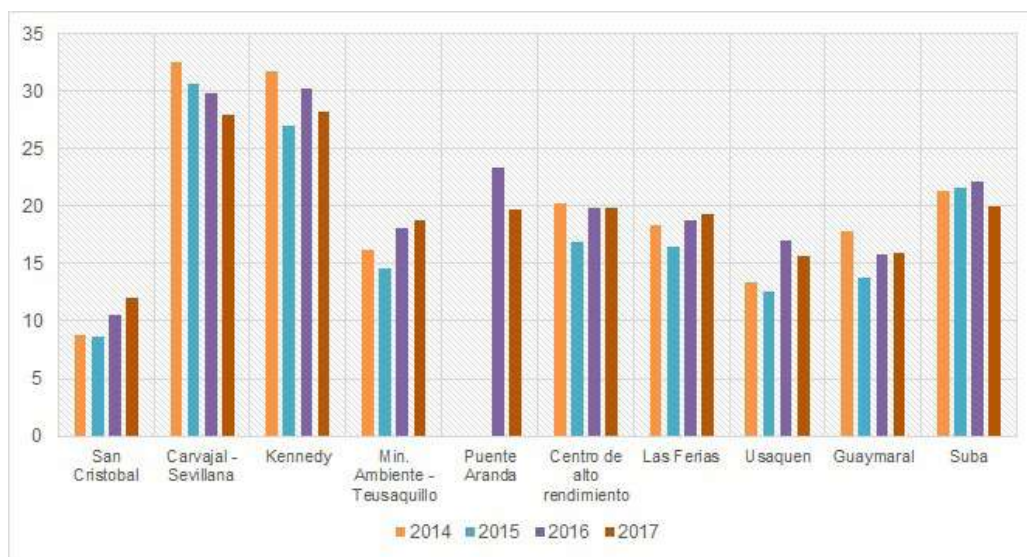


Figura 2. Comportamiento del PM2.5 en cada estación desde el 2014 al 2017

Fuente: elaboración propia.

Las gráficas anteriores se hicieron con base en el valor medio obtenido gracias al tratamiento estadístico realizado.

Desarrollo del sistema de información geográfica

Para elaborar el sistema de información geográfica (SIG) se tuvo en cuenta información clasificada y ordenada anteriormente, además de las bases cartográficas provenientes de la Infraestructura Integrada de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) (2004). Dentro de la base de datos creada se integró la información por año y por mes de todas las estaciones de interés.

Para el procesamiento de la información se integraron los datos de velocidad y dirección del viento para determinar cómo se comportaron las corrientes de aire en cada periodo de interés, por lo cual se crearon dos capas tipo ráster en donde se interpoló la información de velocidad y dirección. En ambos casos se utilizó el método de interpolación kriging ordinario.

A continuación se muestran las imágenes ráster generadas a través del método de interpolación kriging para el año 2015. Este proceso se hizo para cada año, desde el 2014 hasta el 2016 y para el intervalo de enero a julio del 2017, y posteriormente para cada mes.

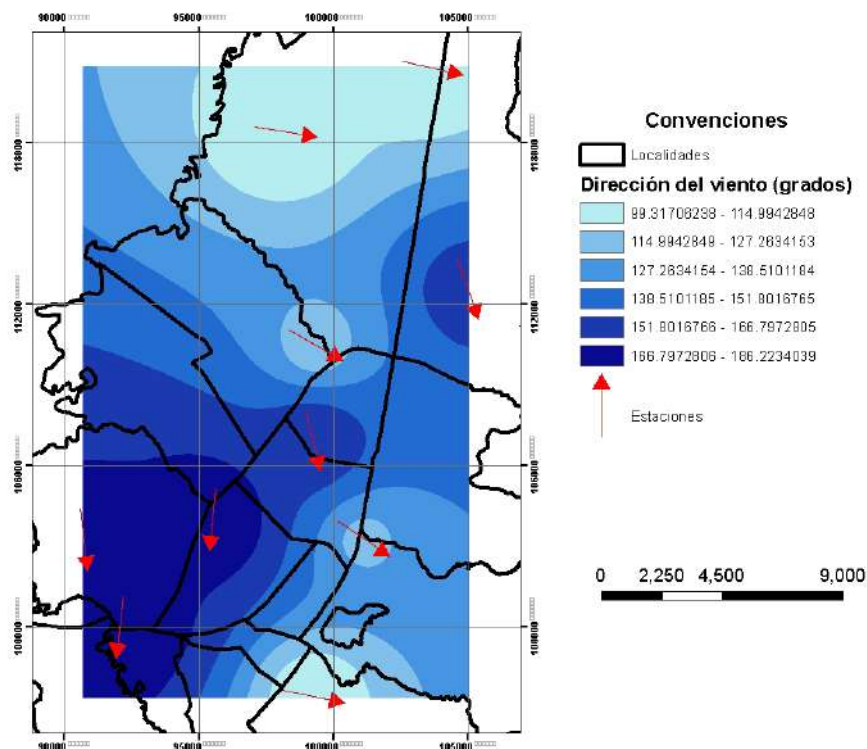


Figura 3.
Interpolación de la
dirección del viento
para el año 2015

*Fuente: elaboración
propia.*

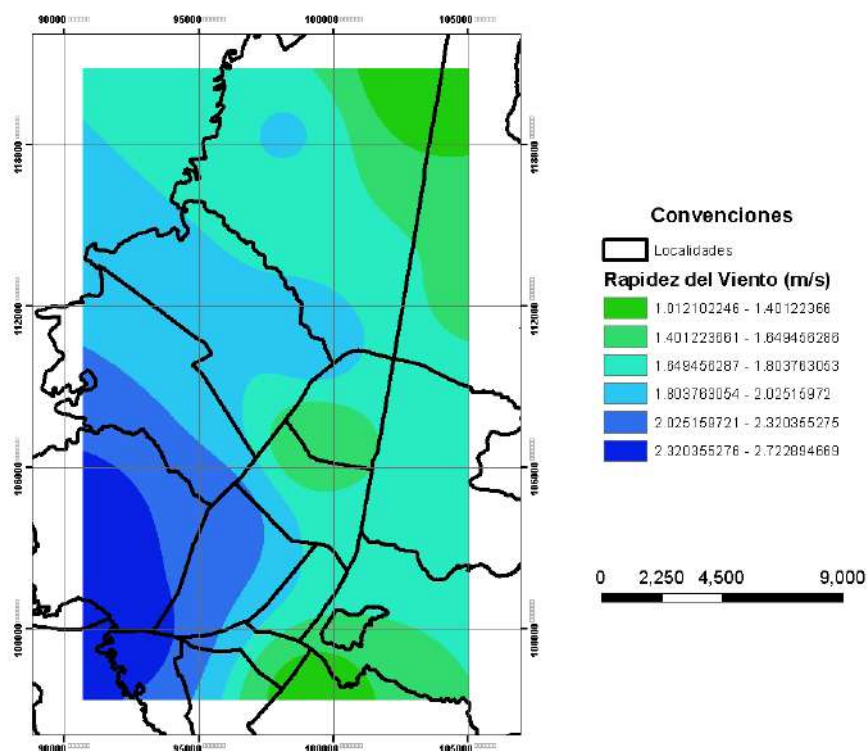


Figura 4.
Interpolación de la
rapidez del viento
para el año 2015

*Fuente: elaboración
propia.*

Con las interpolaciones anteriores se unió dicha información en formato vector, dando como resultado una capa o *feature class*

de fácil lectura que permitió identificar el comportamiento del viento más cómodamente.

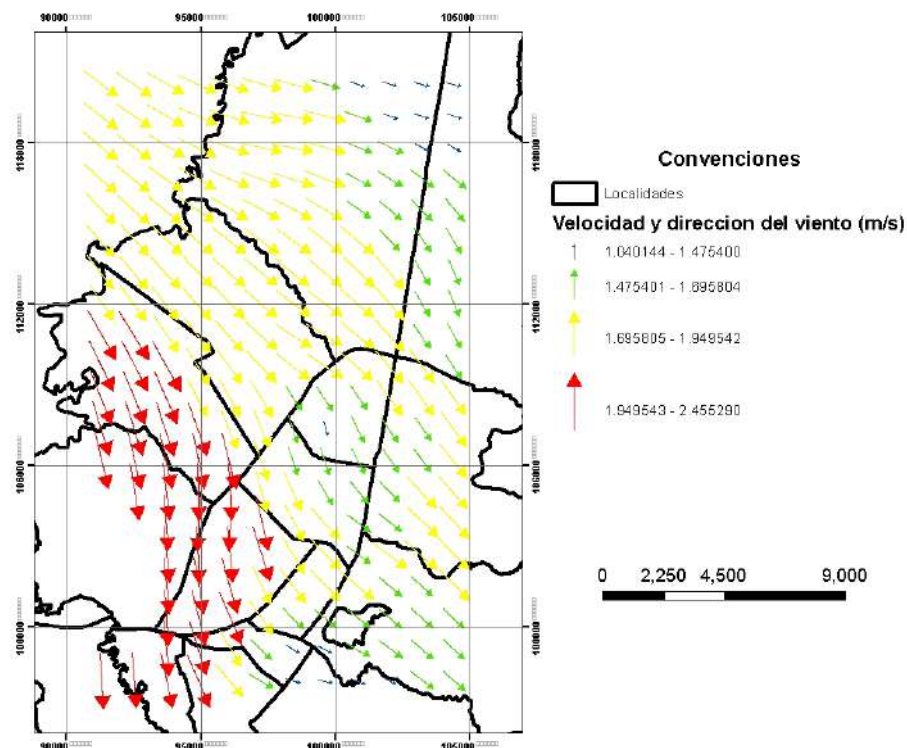


Figura 5.
 Velocidad y dirección del viento para el año 2015

Fuente: elaboración propia.

Los datos procesados de viento y la información del volumen de PM_{2.5} se incorporaron en la base de datos geográfica para completar el SIG y permitir la interpretación de la información procesada.

Interpretación y presentación de la información geográfica

Finalmente, luego de tener el procesamiento, se presentó la información a través de mapas que ilustran el comportamiento del viento y la concentración del contaminante para observar fácilmente el comportamiento en cada uno de los periodos analizados.

Análisis anual

En este estudio se evaluó el valor de la media en cada estación y cada año para

2014, 2015 y 2016. Se puede ver fácilmente que los vientos tienden a ser más fuertes al occidente de la ciudad y que gran parte de estos se depositan en la localidad de Kennedy; a su vez, en este sector se encuentran más partículas contaminantes en suspensión. Para lo que ha transcurrido del año 2017 los vientos conservan la dirección, pero la velocidad se ha reducido y el volumen contaminante medido en la zona es menor. En cambio en la estación de Puente Aranda y en la estación del Centro de Alto Rendimiento, en las localidades de Puente Aranda y Barrios Unidos respectivamente, aumentó en volumen de PM_{2.5}. Guaymaral y Usaquén, las estaciones más cercanas a los cerros, mantienen las mediciones del contaminante bajas.

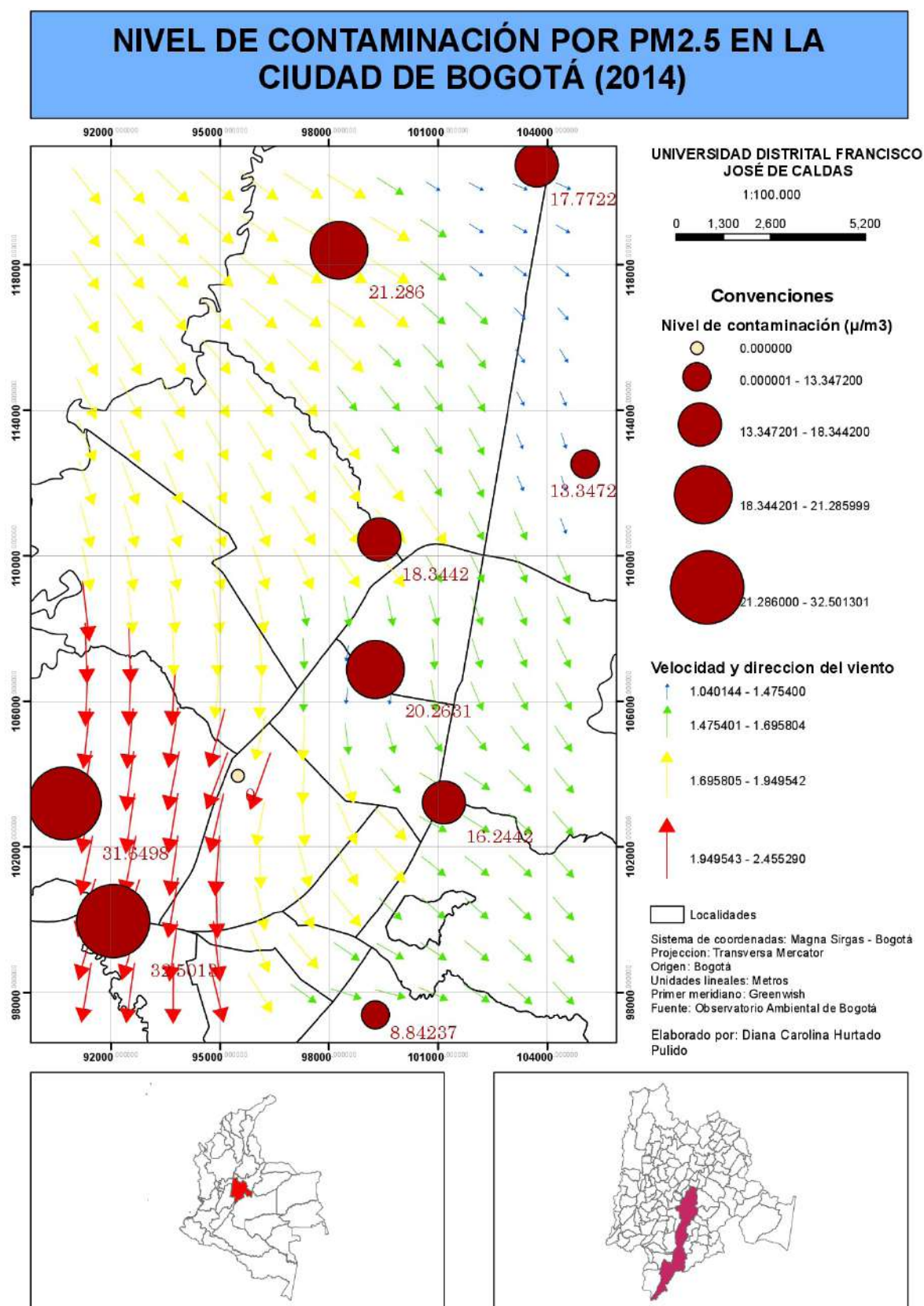


Figura 6. Contaminación por PM2.5 en 2014

Fuente: elaboración propia.



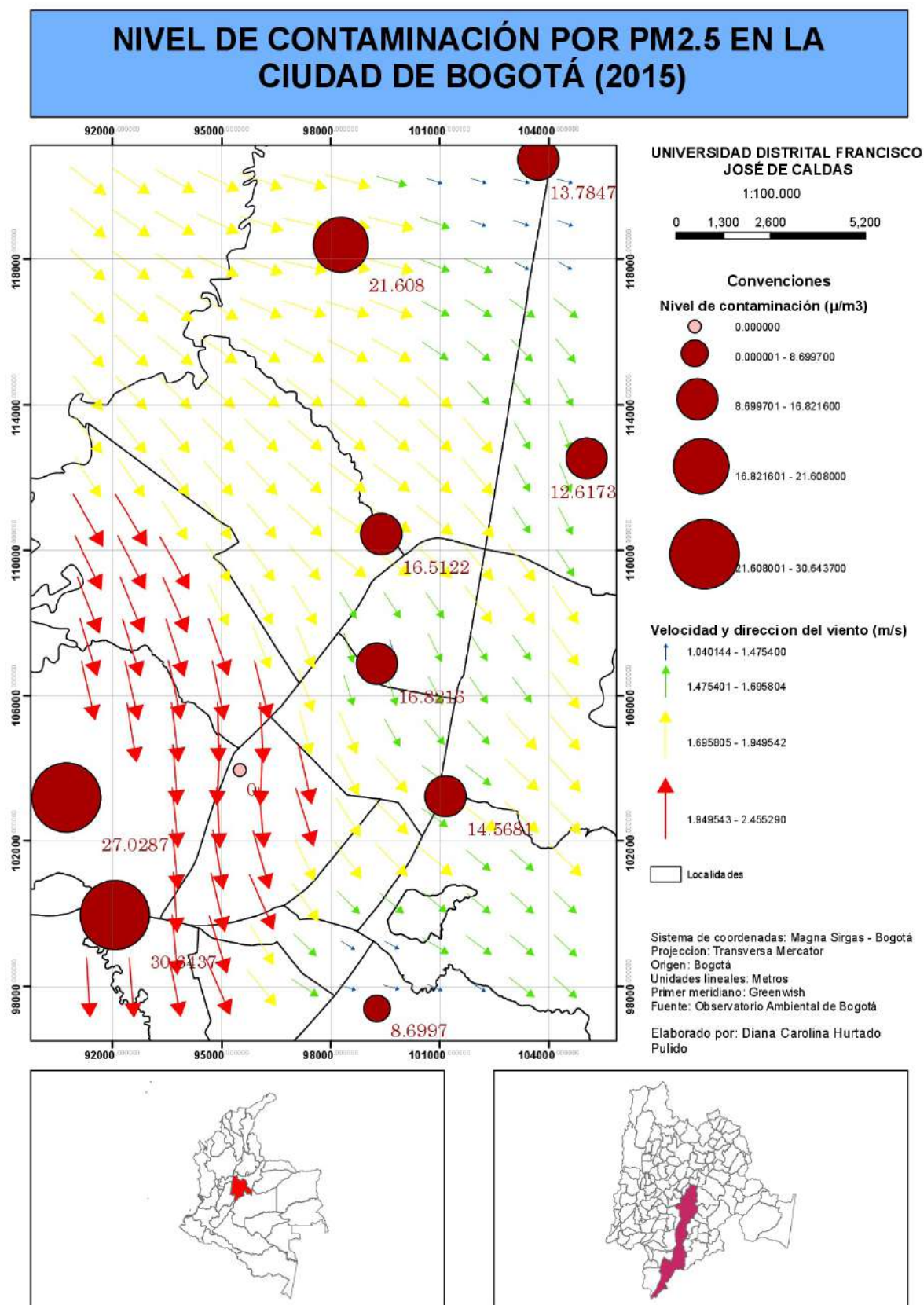


Figura 7. Contaminación por PM_{2.5} en 2015

Fuente: elaboración propia.

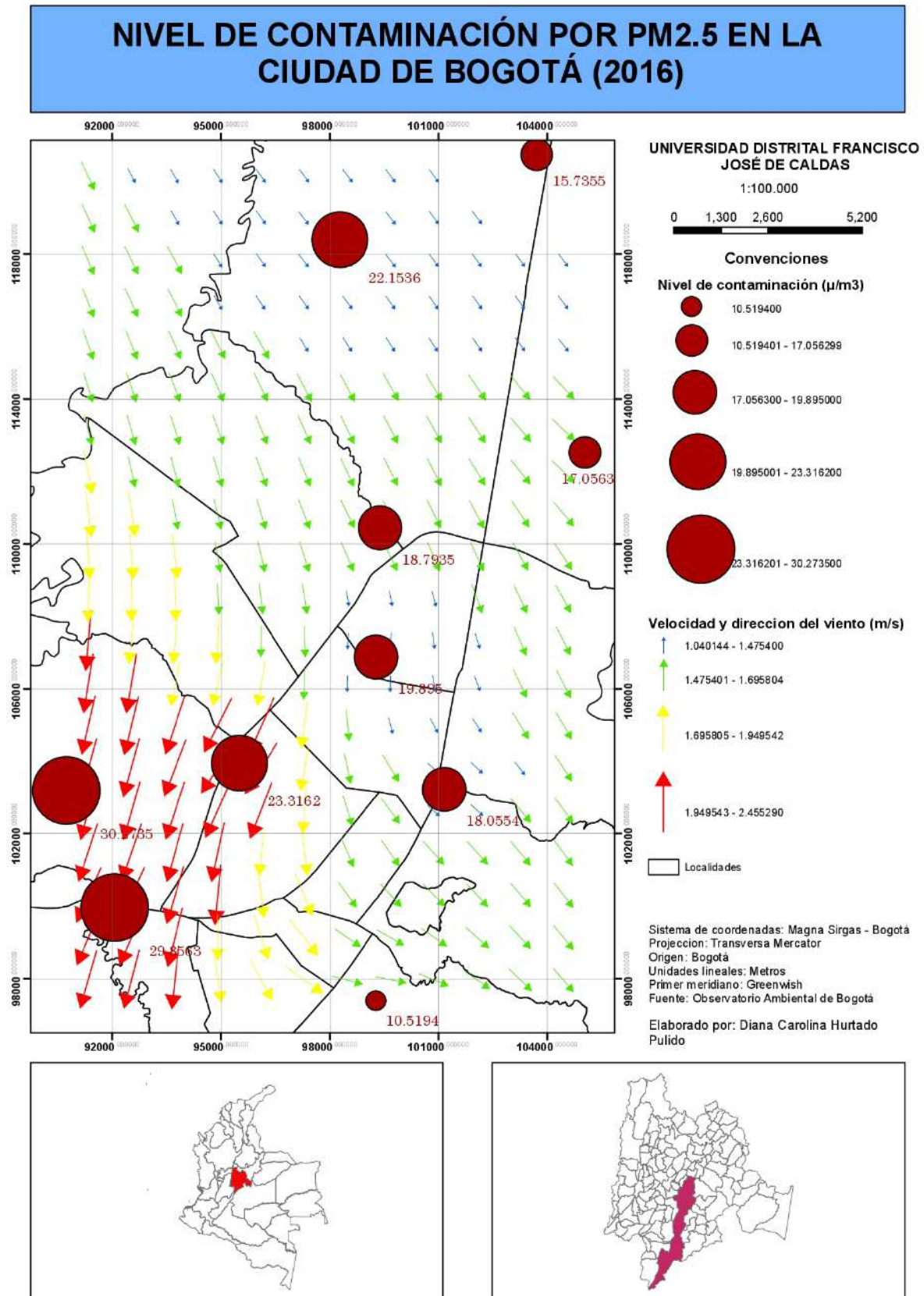


Figura 8. Contaminación por PM2.5 en 2016

Fuente: elaboración propia.



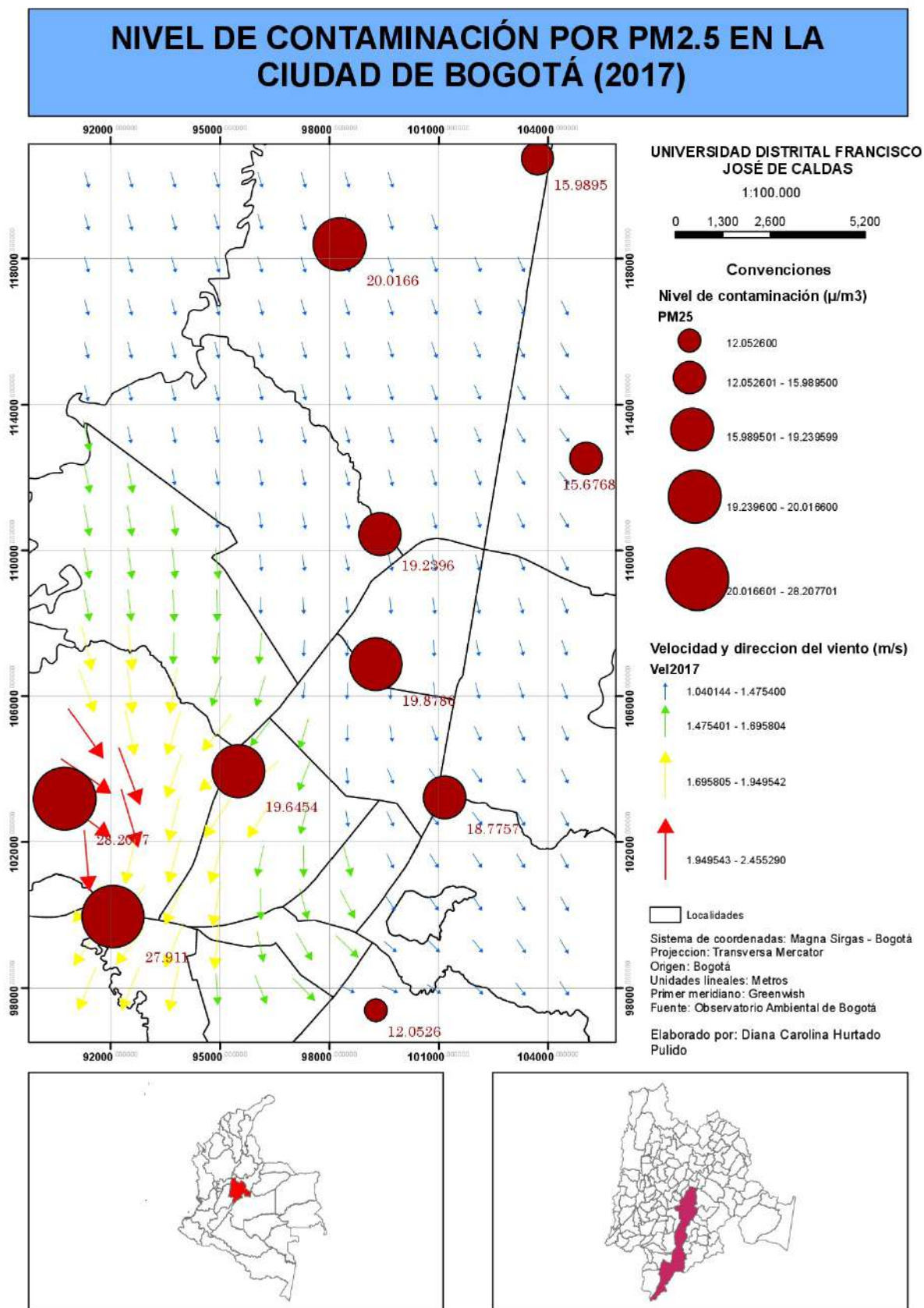


Figura 9. Contaminación por PM2.5 en 2017

Fuente: elaboración propia.



Análisis mensual

Para este caso se consideró el comportamiento que han tenido las partículas contaminantes de PM2.5 en cada mes desde el 2014, lo cual se podría relacionar con los ámbitos social, industrial y económico de la ciudad.

Se puede observar que en los tres primeros meses el viento tiene un comportamiento predominante suroccidental, a partir de abril hasta septiembre empieza a aumentar

la velocidad (alcanzando su máxima velocidad en julio y agosto) y su dirección cambia, pues va en dirección suroriental. En los últimos tres meses, es decir, en octubre, noviembre y diciembre recupera su dirección al occidente.

Los meses de febrero y marzo presentan mayor concentración del contaminante, mientras que a mitad de año disminuye el valor de las mediciones en casi todas las estaciones estudiadas.

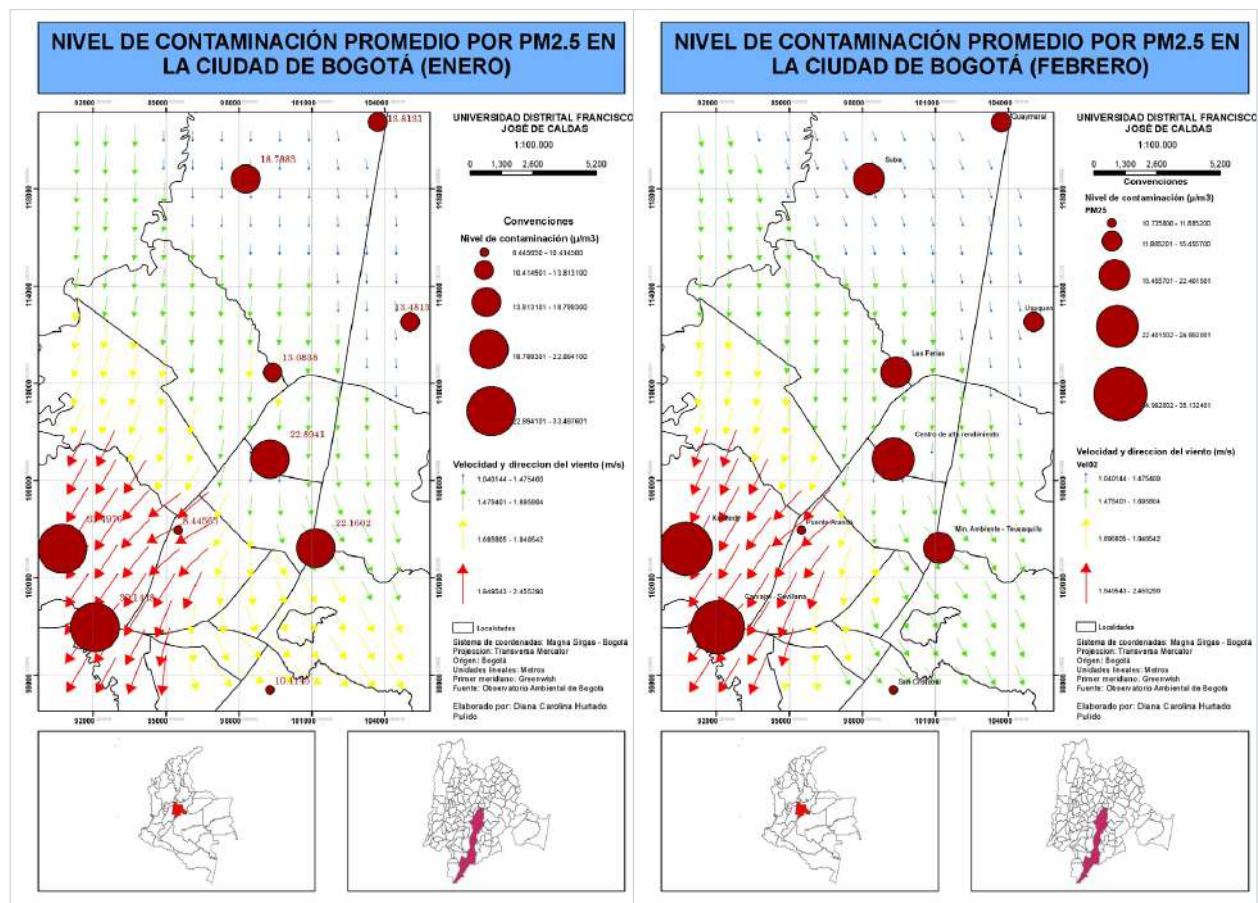
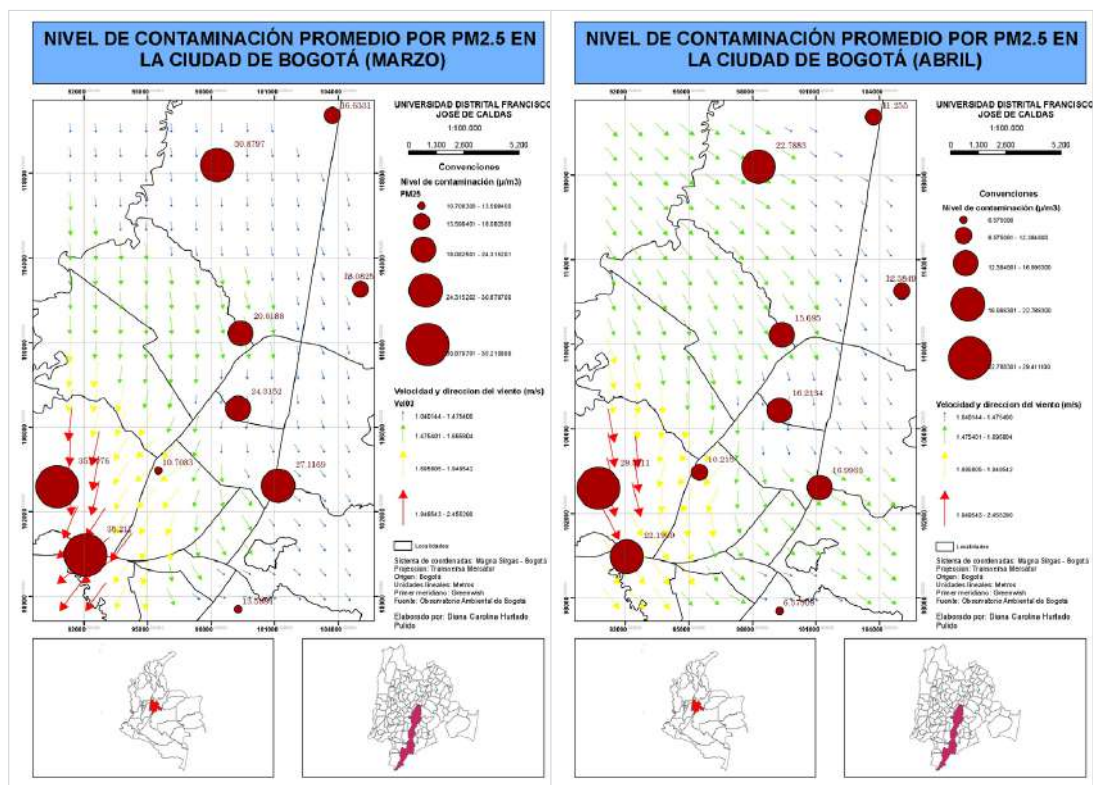


Figura 10. Contaminación promedio por PM2.5 en enero y febrero

Fuente: elaboración propia.







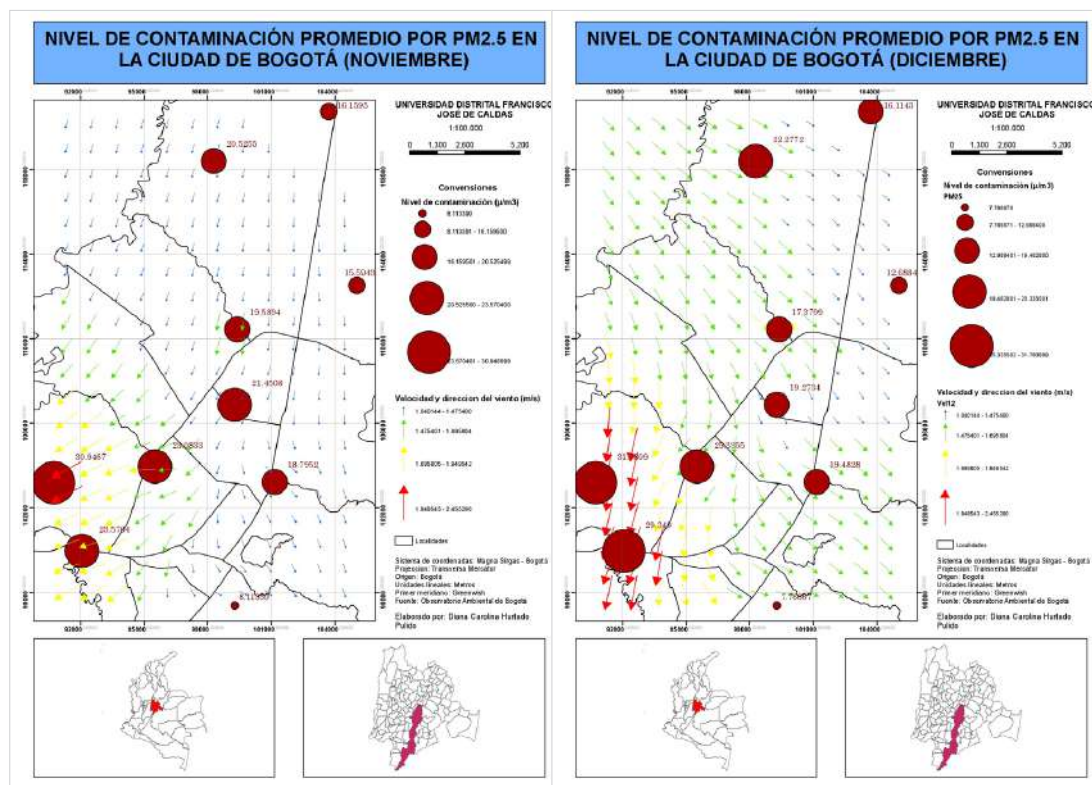


Figura 15. Contaminación promedio por PM2.5 en noviembre y diciembre
 Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Según la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el nivel máximo permisible anual es de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero se observa que en los 4 años de análisis las estaciones ubicadas en la localidad de Kennedy, es decir, las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, han reportado valores de concentración por encima del máximo permitido, aunque vale la pena destacar que los valores de concentración han disminuido un poco desde el año base, es decir, el 2014. La estación de Suba se encuentra muy cerca al límite, ya que el valor de concentración está por encima de los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los 4 años seguidos. Las estaciones de San Cristóbal, Puente Aranda y Guaymaral permanecen con valores bajos desde el 2014, pero van en aumento.

Se puede concluir que la velocidad del viento es mayor en las estaciones al occidente de Bogotá, es decir, en las localidades de Kennedy, Fontibón y Engativá, mientras que al oriente, especialmente en Usaquén, Chapinero y Santa Fe, las velocidades son menores, e incluso en algunos casos solamente alcanzan la mitad de la velocidad que se presenta al occidente. Lo anterior provoca que los vientos se aglomeren en Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito; además los contaminantes por PM2.5 registrados en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy también se originan por la contaminación que produce la misma la zona debido a los usos que están allí (comercio, industria y construcción de vivienda a diferentes escalas) y por el traslado de partículas de otras localidades.

Observando el contraste de los meses se puede concluir que el que presenta mayor



nivel de concentración de partículas en suspensión inferiores a 2,5 micras es marzo, ya que 5 de las 10 estaciones analizadas presentan sus mediciones máximas en este mes, seguido por febrero, en donde hay 3 estaciones con mediciones máximas. Del lado opuesto está el mes de julio, que presenta menor concentración de este contaminante ya que 5 de las estaciones presentan sus mediciones mínimas en esta época; en el mes de junio también hay 2 estaciones con mediciones mínimas. Las mediciones máximas en todos los meses se presentan en las estaciones ubicadas en la localidad de Kennedy.


De aquí se puede deducir que aunque la mayor acumulación de material particulado se da en la localidad de Kennedy, debido a los vientos veloces de mitad de año, a la

suave topografía y al cambio de dirección de los vientos los contaminantes se dispersan más rápidamente en este periodo que en los otros meses. Además también se debe considerar que en los meses de junio y julio parte de la población se encuentra en vacaciones, por lo cual es posible que disminuya el tráfico de vehículos automotores.

Si bien en parte de la ciudad ha disminuido un poco la contaminación por material particulado menor a 2.5 μ , va en aumento en otros sectores, por lo cual el gobierno distrital debe ser más estricto y precavido con respecto a los usos del suelo, el mantenimiento de las vías y la exigencia del mantenimiento técnico y mecánico de los vehículos que transitan por la ciudad.



Bibliografía



Arango, J., Bustos, M. & Narvaez, E. (2007). *Estudio exploratorio de metales pesados en material particulado de emisiones de exhosto de motores a diesel*. Ponencia presentada en el 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, Perú, 23-25 de octubre. Recuperado de <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/01/01-08.pdf>.

Corporación Autónoma regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (2016). *Estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la jurisdicción de Cornare: informe general*. Recuperado de: https://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD_DE_AIRE/CONTENIDO/INFORME-GENERAL_I.pdf.

Franco, A. (2015). *Análisis de la correlación entre las emisiones de PM10 y PM2.5 generadas por fuentes fijas, móviles y fugitivas y el ausentismo escolar de la población infantil en los jardines de la SDIS debido a enfermedades respiratorias dentro de la localidad de Kennedy para el año 2013* (tesis de pregrado). Facultad de ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás. <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/633/Analisis%20correlacion%20espacial%20PM%20y%20enfermedades%20respiratoria.pdf?sequence=1>.

Infraestructura Integrada de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) (2004). *Mapa de Referencia*. Recuperado de: <https://www.ideca.gov.co/es/servicios/mapa-de-referencia/tabla-mapa-referencia>.

Linares, C. & Díaz, J. (2009). Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM2,5) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gaceta Sanitaria*, 23(3), 192-197. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2008.04.006>.

Observatorio Ambiental de Bogotá (2011). *Concentración de Material Particulado Inferior a 2.5 Micrómetros {PM2.5} Promedio Mensual Por Estación-PM25PME*. Recuperado de: <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=753&v=I#>

Quijano, A., Quijano, M. & Henao, J. (Enero-junio de 2010). Caracterización físicoquímica del material particulado fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 1-20. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/903/90315226007.pdf>.

Resolución 601 de 2006 (4 de abril), por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. *Diario Oficial* N° 46.232.

Resolución 610 de 2010 (2 de noviembre), por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones. *Diario Oficial* N° 47.887.



Bibliografía



Sbarato, V., Sbarato, D., Basan, R., Manzo, P., Ortega, J., Campos, M. & Salort, M. (2000). *Análisis y caracterización del material particulado atmosférico* (tesis de maestría). Maestría en Gestión para la Integración Regional y Centro de Información y Documentación Regional. Universidad de Córdoba. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper24.pdf>.

Zamorano, A., Márquez, S., Aránguiz, J., Bedregal, P. & Sanchez, I. (2003). Relación entre bronquiolitis aguda con factores climáticos y contaminación ambiental. *Revista Médica de Chile*, 131, 1117-1122. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/rmc/v131n10/art03.pdf>.



Normas editoriales

La revista *Análisis Geográficos* es una publicación de carácter científico y divulgativo, con periodicidad semestral, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Desde su primer número, publicado en 1982, es uno de los canales institucionales para difundir los avances, los proyectos y las actividades de importancia para la comunidad científica, académica y demás lectores interesados en el análisis y los informes geográficos, cartográficos, de planificación territorial, tecnológicos y de infraestructura y catastro, entre otros. Los objetivos de la publicación son los siguientes:

1. Presentar los resultados de trabajos de investigación del IGAC y de diferentes entidades públicas, privadas, académicas y, en general, de aquellas relacionadas con el sector de la información básica, en su calidad de usuarias y productoras de los datos geoespaciales del país.
2. Difundir los avances en proyectos de innovación y transferencia tecnológica de impacto institucional, con el fin de compartir experiencias y promover la generación de nuevo conocimiento sobre la producción y el acceso a la información geográfica como soporte a la toma de decisiones y el desarrollo sostenible.

La revista *Análisis Geográficos* tratará temas relacionados con las siguientes disciplinas:

- Fotogrametría digital y producción de cartografía básica y temática
- Geodesia y posicionamiento satelital
- Agrología
- Catastro, planificación urbana y regional
- Geografía
- Ordenamiento territorial
- Restitución de tierras
- Aplicaciones de percepción remota
- Gestión de información geográfica
- Infraestructuras de datos espaciales
- Estándares de información geográfica
- Implementación de sistemas de información geográfica, análisis y modelamiento espacial



- Desarrollo de aplicaciones SIG y servicios web
- Gestión ambiental basada en el uso de tecnologías geoespaciales
- Cambio climático
- Nuevas tecnologías y nuevas aplicaciones

Para ser incluidos en la revista *Análisis Geográficos*, los artículos deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. El texto debe entregarse en formato digital, en letra Arial, 12 puntos, interlineado a espacio 1,5 y en papel tamaño carta.
2. El número máximo de páginas es 30 para investigaciones científicas y tecnológicas, y 20 para artículos de revisión, reflexión y avances de investigación, incluyendo tablas, figuras, fotografías y bibliografía.
3. El texto debe tener la siguiente estructura:

- **Título:** debe reflejar el contenido en forma clara y concisa y no exceder las 20 palabras.
- **Autor y coautores:** nombres completos, información académica (solo el título más alto obtenido), información laboral actual, institución y correo electrónico.

Si se trata de contenido relacionado con un proyecto, incluir la siguiente información: artículo proveniente del proyecto Título completo, ejecutado en el periodo fecha de inicio-fecha de terminación, inscrito en el grupo de investigación nombre del grupo de nombre de la institución. [Si es un trabajo de grado, se especifica el título obtenido y el director del trabajo].

- **Resumen:** presenta de forma clara los objetivos, los métodos, los resultados más relevantes y las conclusiones. No debe exceder las 250 palabras.
- **Palabras clave:** indican los temas más relevantes que son tratados en el artículo para facilitar su clasificación y divulgación. Para identificar las palabras clave relacionadas con la temática, se sugiere consultar un tesoro como el de la Unesco: <http://skos.um.es/unescothes/view.php?alf=A>.
- **Abstract:** el resumen traducido al inglés es copia fiel, idéntica del español, enunciado por enunciado.
- **Key words:** palabras clave en inglés.



- **Introducción:** debe contener la situación actual del problema, la revisión de los trabajos previos relacionados con este y los objetivos que orientan la investigación.
- **Contenido del artículo:** los artículos que son producto de investigaciones deben incluir en esta sección los siguientes elementos:
 - *Materiales y métodos:* Se deben describir de forma clara y concisa los materiales utilizados en el desarrollo del trabajo, además de las metodologías y procedimientos empleados en el tratamiento de los datos, de tal forma que otros investigadores puedan reproducir los resultados. Para clasificar los temas tratados se deben utilizar subtítulos para separar las secciones, así:

Título 1 (de la introducción en adelante)

Subtítulo 2

Subtítulo 3

Subtítulo 4

- *Resultados y discusión:* se presentan los resultados siguiendo una secuencia lógica, con el apoyo de tablas y figuras que deben ser fáciles de leer e interpretar y deben citarse siempre en el texto. Las fórmulas y tablas deben insertarse en un formato editable, no como imágenes.

La discusión de resultados debe destacar los aspectos nuevos e importantes del estudio, contrastándolos con los obtenidos en la literatura más actual correspondiente.

Los artículos que tratan sobre revisiones bibliográficas, ensayos, avances de investigación, etc., deben desarrollar los diferentes temas y utilizar subtítulos que permitan su clasificación e identificación.

- *Conclusiones:* en esta sección se mencionan los hallazgos más concluyentes de la investigación, además de un direccionamiento hacia futuras investigaciones.
- *Agradecimientos (opcional):* si se considera necesario, se agradecen aquellas contribuciones determinantes en la concepción, financiación o realización de la investigación.
- *Bibliografía:* listado de fuentes citadas en el texto, que deben ordenarse alfabéticamente. La cantidad mínima sugerida es de 15 referencias. Se

debe utilizar el estándar de normas APA para las citas y referencias bibliográficas:

<http://normasapa.com/como-hacer-referencias-bibliografia-en-normas-apa/>. Los modelos de citación son los siguientes:

Libros:

Tao, Y. & Dimitris, P. (2001). *The MV3-Tree: A Spatiotemporal access method for timestamp and interval queries*. New York: McGraw Hill.

Capítulos de libro:

Dimitris, P. (2001). The MV3-Tree. En: Tao, Y. (Ed.). *The MV3-Tree: A Spatiotemporal access method for timestamp and interval queries* (pp. 20-25). New York: McGraw Hill.

Libros electrónicos:

Tao, Y. & Dimitris, P. (2001). *The MV3-Tree: A Spatiotemporal access method for timestamp and interval queries*. New York: McGraw Hill. Recuperado de <http://www.xxxxxx.xxx>.

Artículos de revistas y publicaciones periódicas:

Viqueira, J. R. R., & Lorentzos, N. A. (2007). SQL extension for spatio-temporal data. *The VLDB Journal*, 16(2), 179-200. <https://doi.org/10.1007/s00778-005-0161-9>.

Ponencias:

Cook, C. & Thompson, B. (2000). *Nueva cultura de la evaluación: informe preliminar de la encuesta ARL SERVQUAL*. Ponencia presentada en el 66th IFLA Council and General Conference, Jerusalem, Israel, 13-18 de agosto.

Tesis:

González, D., Porras, M., Sánchez, L. y Vargas, A. (2000). *Propuesta para la planificación y diseño de bibliotecas infantiles del Sistema de Bibliotecas de la Municipalidad de San José* (tesis de doctorado). Escuela de Bibliotecología y Ciencias de la Información, Universidad de Costa Rica.



– *Bibliografía complementaria (opcional)*: listado de fuentes no citadas en el texto que sirvieron de apoyo documental para el desarrollo del trabajo. Debe cumplir con el estilo solicitado por la revista para la presentación de referencias bibliográficas.

1. Cuando se utilizan siglas o abreviaturas, deben escribirse completas la primera vez que se nombren en el texto. Ej.: Organización de las Naciones Unidas (ONU). Si una abreviatura o sigla no se utiliza más de dos veces, es preferible no incluirla en el texto.
2. Las fórmulas y ecuaciones deben insertarse en letra Cambria Math 11 (formato predeterminado en Word). La ecuación irá centrada respecto a la columna, con el número de ecuación alineado a la derecha.
3. Las figuras (diagramas, dibujos o mapas), las fotografías convencionales y las imágenes de sensores remotos se deben entregar en archivos separados, en formato JPG o TIFF. Deben ir numeradas de forma consecutiva e indicar el nombre y la fuente de la cual fueron tomadas. Si se trata de figuras elaboradas por los autores, indicar que son de “elaboración propia”. La resolución mínima es de 120 dpi y la máxima es de 300 dpi.
4. Las tablas se entregarán en formato digital y editable.

Se recomienda a los autores prestar especial atención a la revisión gramatical y ortográfica, así como a la presentación de los artículos.

Otras consideraciones

- El idioma oficial de la revista es el español.
- Únicamente serán aceptados para su publicación los artículos originales que no hayan sido o estén en proceso de publicarse en otros órganos divulgativos, sin importar cuál sea su idioma.
- Es responsabilidad del autor obtener el permiso escrito para reproducir material que haya aparecido en otras publicaciones o que considere información restringida.
- Las opiniones expresadas en los artículos son responsabilidad exclusiva de los respectivos autores.
- La Oficina Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF) es la dependencia del IGAC encargada de realizar las convocatorias de artículos



- para la revista *Análisis Geográficos*, lo cual no limita la iniciativa de otras áreas e instituciones interesadas en formular sugerencias y propuestas sobre temas relacionados con los objetivos de la misma.
- Cada artículo será sometido a un proceso de evaluación. El Comité Editorial se reserva el derecho de sugerir modificaciones a los artículos y de establecer cuáles serán publicados.
- El Comité Editorial de la revista *Análisis Geográficos* acusará recibo de los originales e informará al autor sobre su aceptación y gestiones para la publicación.

De los artículos aceptados en la revista *Análisis Geográficos*, se entenderá que su autor o autores le ceden a esta los derechos patrimoniales para su publicación en cualquier formato (análogo o digital).



Para conocer otros **productos y publicaciones** del **Instituto Geográfico Agustín Codazzi** consulta nuestro

CATÁLOGO Digital



Te invitamos a consultar en nuestra página
<http://semanageomatica.igac.gov.co>
las memorias, conferencias y demás
vivencias de la 7ª versión de la
Semana Geomática Internacional 2017.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi
Dirección Oficina Sede Central
Bogotá: carrera 30 N° 48-51

Línea de servicio al ciudadano
Conmutador: 57-1-3694000 o 57-1-3694100
Extensión 91616 o #367 desde el celular

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN