

Análisis Geográficos

REVISTA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI



COMISIÓN
COLOMBIANA
DEL ESPACIO

Número 47 pp. 1-176 2010. Bogotá, Colombia. ISSN. 0120-8551

semana **GEOMÁTICA** 2009



Acceso al Conocimiento Geoespacial

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI





JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN

Presidente de la República de Colombia

ANGELINO GARZÓN

Vicepresidente de la República de Colombia
Presidente Comisión Colombiana del Espacio, CCE

IVÁN DARÍO GÓMEZ GUZMÁN

Director General Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC
Secretario Ejecutivo Comisión Colombiana del Espacio, CCE

Consejo Directivo

JORGE BUSTAMENTE ROLDÁN

Director General
Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE

HERNANDO JOSÉ GÓMEZ RESTREPO

Director General
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, DNP

BEATRIZ URIBE BOTERO

Ministra de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

RODRIGO RIVERA SALAZAR

Ministro de Defensa Nacional

JUAN CAMILO RESTREPO

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

ALEJANDRO GAVIRIA URIBE

Representante de la Presidencia de la República

ALBERTO MENDOZA MORALES

Representante de la Presidencia de la República
Presidente de la Sociedad Geográfica de Colombia

MERCEDES VÁSQUEZ DE GÓMEZ

Secretaria del Consejo Directivo
Secretaría General del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC



Comité Editorial

Iván Darío Gómez Guzmán	<i>Director General</i>
Mercedes Vásquez de Gómez	<i>Secretaria General</i>
Miguel Ángel Cárdenas Contreras	<i>Subdirector de Geografía y Cartografía</i>
Julián Serna Giraldo	<i>Subdirector de Agrología</i>
Gladys Pinzón Daza	<i>Subdirectora de Catastro</i>
Dora Inés Rey Martínez	<i>Jefe Oficina Asesora de Planeación</i>
Lilia Patricia Arias Duarte	<i>Jefe Oficina del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica - CIAF</i>
Ivanna Nussika Agudelo Padilla	<i>Jefe Oficina de Difusión y Mercadeo de Información</i>
Johana Trujillo Moya	<i>Asesora Dirección General</i>

Editores

Iván Darío Gómez Guzmán
Lilia Patricia Arias Duarte

Diseño y Diagramación

Lorena Maryeth Rodríguez Martínez, Oficina Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica - CIAF
Alba Giraldo, Oficina Centro de Difusión y Mercadeo de Información

Revisión y Corrección de Estilo

Juan David Mosquera, Lina Rojas Camargo, Jonás Cirilo León, Johana Trujillo Moya, Felipe Fonseca Fino, Andrés Herrera Pérez, Leonardo Cano

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi
Análisis Geográficos: Semana Geomática 2009, acceso al conocimiento geoespacial
El Instituto. - Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, No. 47, 2010
ils. Mapas a colores, cuadr.
Incluye Referencias Bibliográficas
Texto bilingüe español-inglés
ISSN 0120-8551

1. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) - Cuba 2. Sistemas de Información Geográfica (SIG) - Santiago de Cali 3. Old Point Regional Mangrove Park - San Andrés 4. Ecosistemas Marinos 5. Sistema de Información Geográfico y Cartográfico (GEOCARTO) 6. Parque Nacional Natural Isla de Salamanca- Atlántico 7. Deserción - Valle del Cauca 8. Regresión Ponderada Geográfica 9. Incendios Forestales 10. Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonia Colombiana (SIAT-AC) 11. Gestión Integral de Información 12. Gestión de Información Geográfica

ES PROPIEDAD DEL ESTADO

Los trabajos presentados se han preparado respetando los originales enviados por los autores, salvo algunas correcciones relacionadas con la ortografía. En consecuencia, la responsabilidad de los contenidos y la calidad de las imágenes son exclusivamente de los autores y no comprometen al Comité Editorial ni al Editor de la Revista.

Comité Organizador

Iván Darío Gómez Guzmán	<i>Director General</i>
Mercedes Vásquez de Gómez	<i>Secretaria General</i>
Miguel Ángel Cárdenas Contreras	<i>Subdirector de Geografía y Cartografía</i>
Julián Serna Giraldo	<i>Subdirector de Agrología</i>
Gladys Pinzón Daza	<i>Subdirectora de Catastro</i>
Dora Inés Rey Martínez	<i>Jefe Oficina Asesora de Planeación</i>
Lilia Patricia Arias Duarte	<i>Jefe Oficina del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica - CIAF</i>
Ivanna Nussika Agudelo Padilla	<i>Jefe Oficina de Difusión y Mercadeo de Información</i>
Johana Trujillo Moya	<i>Asesora de Comunicaciones – Dirección General IGAC</i>

Comité Técnico

Lilia Patricia Arias Duarte	<i>Jefe Oficina del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica - CIAF</i>
Elena Posada	<i>Jefe (e) CIAF - Coordinadora del Grupo Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas</i>
Alberto Boada Rodríguez	<i>Coordinador del Grupo de Gestión del Conocimiento en Tecnologías Geoespaciales - CIAF</i>

Comité de Difusión y Logística

Johanna Trujillo Moya	<i>Asesora de Comunicaciones - Dirección General IGAC</i>
Elena Posada	<i>Jefe (e) CIAF - Coordinadora del Grupo Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas</i>
Alberto Boada Rodríguez	<i>Coordinador del Grupo de Gestión del Conocimiento en Tecnologías Geoespaciales - CIAF</i>
Luz Mery Gómez Contreras	<i>Coordinadora del Grupo de Sistemas de Información Geográficas y Modelamiento Espacial</i>
Nyrian Ubaque Ubaque	<i>Coordinadora Grupo Infraestructura de Datos Espaciales y Gestión de la Información Geográfica</i>
Juan Camilo Urbina Higuera	<i>Líder Grupo Gestión de Tecnologías de la Información y la Comunicación</i>
Gina Marcela Popayán	<i>Grupo Gestión Administrativa y Talento Humano</i>
Jonás Cirilo León Pérez	<i>Coordinador Técnico</i>

Contenido

Presentación	8
Presentation	10
Análisis espacial mediante SIG, modelos geoestadísticos y econométricos del fenómeno de deserción en la Universidad del Valle	12
Introducción	14
Materiales y métodos	15
Resultados	21
Geoestadística	22
Conclusiones	26
Bibliografía	27
Análisis multitemporal de coberturas costeras y marinas utilizando imágenes Ultracam e Ikonos, para planes de manejo ambiental. Caso de estudio Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés, Caribe colombiano	28
Introducción	31
Localización del área de estudio	31
Materiales	32
Procesamiento de imágenes	34
Corrección geométrica	35
Corrección atmosférica	35
Máscara para áreas emergidas y sumergidas	36
Corrección de la columna de agua	36
Componentes principales	37
Clasificación no supervisada	39
Vectorización y clasificación de la imagen	40
Estructuración de la información en el SIG	41
Resultados	42
Conclusiones	42
Agradecimientos	43
Bibliografía	44

Cartografía tridimensional de precisión de las zonas costeras, insumo básico para cuantificar impactos locales por ascenso del nivel del mar en el contexto del cambio climático	46
Introducción	49
Materiales y métodos	49
Resultados y discusión	51
Conclusiones	53
Referencias Bibliográficas	53
Evolución de médanos costeros del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, Caribe colombiano	54
Introducción	56
Área de Estudio	56
Metodología	57
Resultados y discusión	60
Conclusiones	63
Bibliografía	66
Potencialidades de las cámaras digitales para la fotogrametría aérea y sus múltiples aplicaciones (con una corta presentación de los primeros resultados de la evaluación de las más importantes cámaras del mercado mundial, por parte de la DGPF en Alemania)	68
Introducción y una breve historia de la fotogrametría digital	70
Aspectos teóricos y prácticos del uso de la fotografía aérea digital	72
Conclusiones	84
Recomendaciones	85
Bibliografía	86
Fuego y patrones de paisaje, un acercamiento a la gestión geomática en incendios forestales	88
Introducción	91
Materiales y métodos	92
Resultados y discusión	96
Referencias Bibliográficas	101

Sistema de Información Geográfico y Cartográfico - GEOCARTO	104
Introducción	106
Metodología	107
Arquitectura	108
Resultados	110
Conclusiones	112
La Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, avances y perspectivas	114
Introducción	116
Estado de la IDERC	117
Hacia una IDERC "desplegada" en territorios y sectores	123
Conclusiones	123
Agradecimientos	124
Referencias Bibliográficas	124
Integración cartográfica para la mejorade la operación y administración de una empresade servicios públicos	126
Introducción	129
Materiales y métodos	131
Resultados y discusión	139
Conclusiones	141
Integración de información geográfica medianteel uso de técnicas de alineamiento de ontologías	142
Introducción	145
Aproximación al problema de heterogeneidad de la información geográfica	145
Ontologías en el dominio geográfico – Geontologías	147
Técnicas de alineamiento de ontologías	148
Trabajos destacados en la integración de información geográfica desde una perspectiva de alineamiento de ontologías	150
Escenarios de integración de datos geográficos a nivel semántico	153
Modelo de comparación semántica propuesto	155
Conclusiones y trabajo futuro	158
Bibliografía	159

Presentación

La Geomática es reconocida como una disciplina integradora de los conocimientos técnicos y científicos que hacen referencia a la captura, manipulación, análisis y difusión de la información geográfica para que los tomadores de decisiones seleccionen las mejores alternativas en función de los objetivos de sus empresas, organizaciones y, principalmente, que apunten al desarrollo del país.

Más específicamente, la Geomática incluye las más modernas herramientas y técnicas interrelacionadas, tales como los sistemas satelitales de posicionamiento global (GPS, GLONASS, GALILEO, etc.), fotogrametría digital, cartografía digital, percepción remota, sistemas de información geográfica, sistemas de toma de decisiones, geoestadística, SIG bajo web, etc., que están en constante desarrollo, lo que a su vez genera importantes avances en el conocimiento de sus campos de aplicación.

Este continuo avance de la Geomática y sus aplicaciones hace que sea necesaria una continua actualización y formación de los técnicos, científicos y planificadores. Es en este contexto que se desarrolló la Semana Geomática en su tercera edición, entre el 26 y el 30 de octubre de 2009, con el objetivo general de "Ofrecer un espacio de intercambio de experiencias relacionadas con la investigación en ciencias espaciales y la geomática, tanto a nivel nacional como internacional, que permita fortalecer la capacidad de Colombia para avanzar en el desarrollo de Sistemas de Observación de la Tierra y de información geográfica, en el marco de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)". Este certamen consolidó la iniciativa nacida en 2005 bajo el liderazgo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, con la colaboración de organismos internacionales como la Comisión de la Unión Europea, las entidades que hacen parte de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE); la Sociedad Colombiana de Ingenieros, entre otras, y con el decidido apoyo del Gobierno Nacional.

El éxito rotundo alcanzado en este evento se refleja en la realización de 22 talleres teórico-prácticos, bajo la dirección de profesores nacionales e internacionales; 5 conferencias magistrales; 76 conferencias dictadas por profesionales de alto nivel académico, que abordaron 23 temas, incluyen-

do aquellos como análisis y modelamiento espacial, planificación y desarrollo territorial, gestión ambiental, catastro, astronomía y astronáutica, geología y gestión de riesgos, educación virtual, ingeniería mecatrónica e inteligencia artificial. También se realizaron dos paneles titulados "Educación en Tecnologías Espaciales" y "Agencias de Industria Espacial en Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra". Además, luego de las conferencias, y en horario nocturno, se implementaron talleres de observación astronómica, algunos de ellos orientados a los niños, bajo la dirección y coordinación de profesionales de la Universidad Sergio Arboleda, la Asociación de Astrónomos Autodidactas de Colombia (ASASAC), Parque Explora, Club de Astronomía de Maloka, el Planetario de Bogotá, entre otros. Asistieron más de 750 personas interesadas en el tema.

Cabe destacar la participación activa tanto en los talleres como en las conferencias, de profesionales de reconocido prestigio internacional de países como Estados Unidos de Norteamérica, Francia, España, Brasil, México, Cuba, Australia, Bélgica, Corea del Sur, Reino Unido, Alemania, Canadá, entre los que se mencionan a: César Ocampo (Texas University - USA), Jaime Ocampo (Purdue University - USA), Mauricio Hoyos (Centre National de la Recherche Scientifique - Francia), Alexander Ariza (Universidad Alcalá de Henares - España), Sergio Soares (Orbisat - Brasil), Francis Billon (SPOT - Image - Francia), José Vicente Higón (España), José Vicente Capote (CYTED - Cuba) y Jorge Lira (UNAM - México).

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), considera necesario divulgar los trabajos presentados en este evento, a través del No. 47 de su Revista *Análisis Geográficos*, con la finalidad de favorecer el diálogo constructivo y la estrecha colaboración entre científicos, gobiernos, sectores públicos y privados, organizaciones no gubernamentales y asociaciones e instituciones internacionales, buscando siempre que la Geomática, con su alto potencial, nos ayude a construir una sociedad de la información enfocada hacia las personas y orientada al desarrollo integral de la comunidad.



Iván Darío Gómez Guzmán

Director General del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC
Secretario Ejecutivo Comisión Colombiana del Espacio - CCE

Presentation

Geomatics is recognized as an integrative discipline of the scientific and technique knowledge which makes reference to the capture, processing, analysis and distribution of the geographic information, so the decision makers can select the best alternatives in function of both the objectives of their companies and organizations, and the development of the country.

More precisely, Geomatics includes the most modern tools and techniques interrelated, such as: the GPS systems (GPS, GLONASS, GALILEO), digital photogrammetry, digital cartography, remote sensing, geographic information systems (GIS), systems for decision making, geostatistics, online GIS, among others, which are in constant development, and that at the same time generate important progresses in the knowledge of its application fields.

This continuous progress of the Geomatics and its applications makes absolutely necessary a constant update and formation of technicians, scientists and planners. In this context the Geomatics Week was developed, between October 26th-30th 2009, with the general objective of "Offering a space for the exchange of experiences related to the investigation of spatial sciences and geomatics, in national and international levels, that allows to strengthen the capacity of Colombia to progress in the development of Earth Observation Systems and geographic information, in the framework of Spatial Data Infrastructures (SDI).

This event consolidated the initiative born in 2005 under the leadership of the Instituto Geográfico Agustín Codazzi, with the collaboration of international organisms such as the European Commission, the entities that make part of the Colombian Space Commission (CCE); the Colombian Society of Engineers, among others, and with the decided support of the Colombian Government.

The success of this event is clearly reflected in the making of the 22 theoretical-practical workshops, under the direction of national and international experts; 5 outstanding conferences; 76 conferences given by high level academic professionals, covering 23 topics, including spatial analysis and modeling,

territorial planification and development, environmental management, cadastre, astronomy and astronautics, geology and risk management, virtual education, mecatronic engineering and artificial intelligence. Also there were two panels named "Education in Spatial Technologies" and "Agencies of Spatial Industries in Satellite Technologies for Earth Observation". Also, after the conferences, some workshops about astronomic observation were made at night; some of them were oriented to kids, under the direction and coordination of professionals of the Sergio Arboleda University, the Association of Self-Taught Astronomers of Colombia-ASASAC, the Explora Park, the Club of Astronomy of Maloka, and the Planetarium of Bogotá, among others. 750 people, who were interested in these topics, participated.

It is important to emphasize the active participation in the workshops and conferences, of important and distinguished international professionals from countries like United States, France, Spain, Brazil, Mexico, Cuba, Australia, Belgium, South Korea, United Kingdom, Germany, and Canada, such as: Cesar Ocampo (Texas University - USA), Jaime Ocampo (Purdue University - USA), Mauricio Hoyos (Centre National de la Recherche Scientifique - Francia), Alexander Ariza (Universidad Alcalá de Henares - España), Sergio Soares (Orbisat - Brasil), Francis Billon (SPOT - Image - France), José Vicente Higón (Spain), José Vicente Capote (CYTED - Cuba) y Jorge Lira (UNAM - Mexico).

For the Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, it is very important the disclosure of the papers presented in this event, through the edition N° 47 of its Geographic Analysis Journal, with the objective of favoring the constructive dialogue and the close collaboration between scientists, governments, public and private sectors, non governmental organizations and international associations and institutions, searching always that Geomatics, with its highest potential, can help us to build an information society focused to the people and oriented to a integral development of the community.



Iván Darío Gómez Guzmán

General Director of Geographic Institute Agustín Codazzi - IGAC
Executive Secretary of Colombian Space Commission - CCE

Análisis espacial mediante SIG, modelos geoestadísticos y econométricos del fenómeno de deserción en la Universidad del Valle

Caso: Estudiantes de la segunda cohorte de 2001 residentes en el área urbana de Santiago de Cali

Alexánder Quevedo Chacón¹

Resumen

La deserción es un fenómeno que afecta a todas las instituciones de educación superior y sobre el cual se han realizado estudios por parte de diferentes universidades, entre ellas la Universidad del Valle. Para reforzar el estudio de la deserción en la Universidad del Valle se hace necesario el análisis espacial del fenómeno. En este documento se presenta el desarrollo de una aplicación SIG que permita espacializar el fenómeno; sin embargo, esta aplicación no permite conocer si el fenómeno realmente presenta una asociación con el espacio geográfico. Por tanto, se hace necesaria la implementación de técnicas geoestadísticas las cuales permiten conocer la estructura espacial del fenómeno. Al ser la deserción un fenómeno de características sociales no basta con determinar su estructura espacial, se hace necesario conocer cómo es la interacción con otros fenómenos socioeconómicos y la distribución en el espacio de esta relación. Para ello, se involucró a la econometría espacial, con modelos de regresión ponderados geográficamente.

Palabras clave:

Deserción, SIG, Geoestadística, Regresión ponderada geográficamente

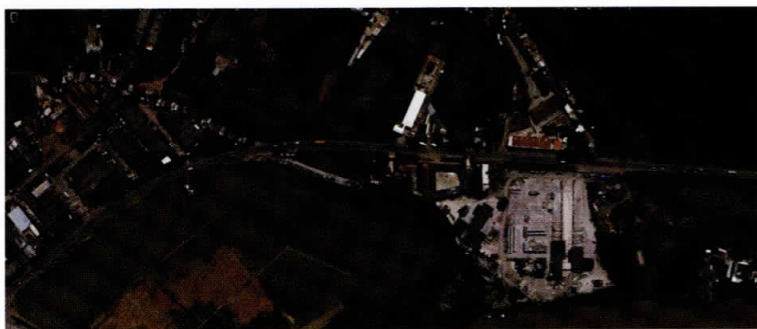
Abstract:

Desertion is a phenomenon that affects every institution of higher education and in which studies have been conducted by various universities including the Universidad del Valle. To reinforce the study of desertion in the Universidad del Valle is necessary the spatial analysis of the phenomenon. This document presents the development of a GIS application that allows spatializing the phenomenon; however this application does not reveal whether the phenomenon really provides an association with geographical space. For that reason it is necessary to implement geostatistical techniques which provide knowledge about the spatial structure of the phenomenon. Desertion as a phenomenon of social characteristics is not sufficient for determining the spatial structure of itself, it is necessary to know how the interaction is with other socio-economic phenomena and the spatial distribution of this relationship. Therefore, spatial econometrics was involved with geographically weighted regression models.

Keywords:

Desertion, GIS, Geostatistics, Geographically Weighted Regression.

Análisis espacial mediante SIG, modelos geoestadísticos y econométricos del fenómeno de deserción en la Universidad del Valle



Introducción

En Colombia, se está estudiando el fenómeno deserción en la educación superior desde el año 2002 con la publicación de la Universidad Nacional de Colombia en conjunto con el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES) titulada "Estudio de la deserción estudiantil en la educación superior en Colombia". En este documento se presenta el estado del arte sobre la educación superior en Colombia. Después de la publicación de este estudio diferentes universidades iniciaron sus propios estudios es el caso de la Universidad de Antioquia, Universidad de los Llanos, Universidad Pedagógica de Colombia, entre otras.

En el año 2006 el Centro de Investigaciones y Documentación en Ciencias Socioeconómicas (CIDSE) presenta un informe detallado sobre la deserción en la Universidad del Valle², encontrando que durante el periodo 1994-2006, de los 16.328 estudiantes matriculados hasta el primer periodo del año 2006, 2.347 correspondientes al 14.4% de los estudiantes se había graduado, mientras que el restante 85.6% aún continuaban en la universidad o había desertado de la misma. Se encontró también que el porcentaje de deserción en la Universidad del Valle llega a un 42.8% presenta

las cifras más elevadas en las facultades de Ciencias e Ingeniería.

Durante el desarrollo del estudio de deserción no se había involucrado ningún componente espacial de tal forma que no se conocía la distribución espacial del fenómeno, para corregir esto se plantearon los siguientes objetivos:

El diseño y construcción de un Sistema de Información Geográfica piloto para el estudio de deserción en la Universidad del Valle (SIGDUV), el cual permitirá conocer la distribución espacial del fenómeno.

Analizar la estructura espacial de la distribución de la deserción al nivel geográfico de barrios para el periodo 2001-2007.

Proponer el primer modelo multivariado, explicativo del fenómeno de deserción estudiantil, a partir de variables socioeconómicas y su correlación con la localización geográfica de las mismas.

Para conocer la estructura espacial del fenómeno se aplicaron técnicas geoestadísticas³, las cuales buscaban demostrar la existencia de autocorrelación espacial⁴ en el fenómeno de deserción para los estudiantes de la segunda cohorte del año 2001, al tra-

tarse de un fenómeno de características sociales es importante conocer la relación que tiene este fenómeno con otros fenómenos sociales en el espacio geográfico donde el individuo se desenvuelve para esto y se involucra a la econometría^{5,6} espacial a través de un modelo ponderado geográficamente.

Para este proyecto se cuenta únicamente con información de la segunda cohorte del año 2001 (agosto-diciembre), con un período de seguimiento de 13 semestres. La población de estudio está conformada por 1.967 estudiantes los cuales viven en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, estos estudiantes se encuentran distribuidos en 265 barrios que corresponden al 78% de los barrios de la ciudad como se puede observar en la figura#1 se presentan discontinuidades.

Materiales y métodos

Datos

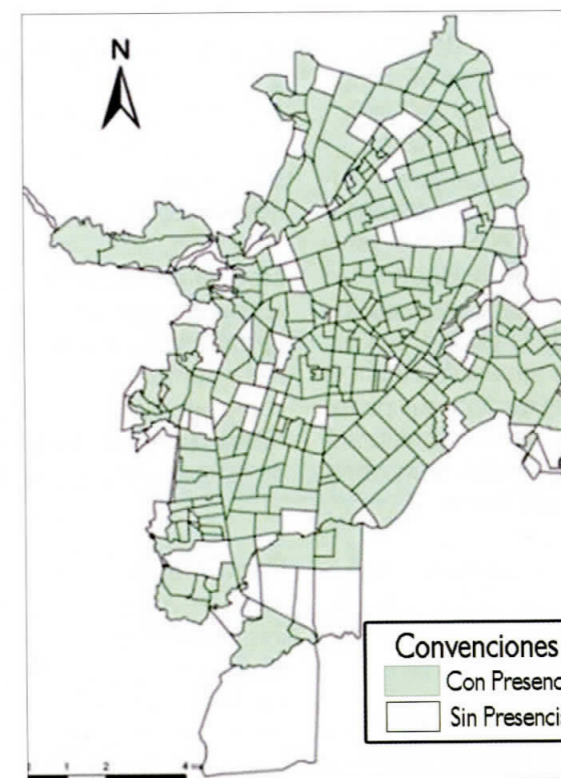


Figura 1.
Mapa. Barrios en Cali con presencia de estudiantes de la segunda cohorte de 2001 en la Universidad del Valle
Fuente:
Elaboración propia.

2 Jaime H. Escobar, Edwin Largo C. Carlos Andrés Pérez (octubre 2006).

3 Geoestadística: Estudio de las variables numéricas que se encuentran distribuidas de manera dependiente en una determinada porción del espacio

4 Autocorrelación Espacial: Relación que existe entre un fenómeno y su localización en un espacio geográfico.

5 Econometría: Aplicación de teorías económicas, modelos matemáticos y estadísticos para conocer el comportamiento de un fenómeno determinado.

6 Econometría espacial: Disciplina de la econometría que proporciona las técnicas necesarias para trabajar con datos georreferenciados.

Se define como desertor al estudiante que deja de matricularse durante dos semestres o más en un mismo programa académico y la deserción definitiva ocurre cuando un estudiante al final del período de estudio nunca se vuelve a matricular. El 47% de la población de estudio presenta al final del periodo de deserción definitiva.

SIGDUV

Para la construcción del SIG piloto del fenómeno de deserción se contó con la información previamente mencionada, para futuros desarrollos se espera poder alimentar el sistema directamente de la base de datos de registro académico de la Universidad, en cuanto a la información cartográfica, esta fue proporcionada por la oficina de Planeación Municipal del Municipio de Santiago de Cali.

Objetivo del sistema

Brindar una herramienta de consulta que permita conocer la distribución geográfica del fenómeno de deserción estudiantil en la Universidad del Valle.

Alcances y limitaciones del sistema

En esta primera etapa el SIG del estudio de la deserción en la Universidad del Valle, se tomaron como unidades de análisis los barrios de la ciudad de Cali, ofreciendo consultas temáticas, según el estado del estudiante durante sus periodos de estudio. El sistema no realizará consultas en un nivel de detalle mayor a la unidad geográfica de barrio.

Cabe anotar que los posibles estados en que se encuentra un estudiante corresponden a las categorías de matriculados, no matriculados y desertores.

Es necesario que el sistema funcione en la web, debido a que de esta forma permitirá las consultas multiusuario

desde diferentes terminales, las cuales requerirán tan sólo un navegador web.

En cuanto al ingreso de la información, debe estar correctamente codificada con el código que Planeación Municipal designa para cada uno de los barrios, ya que el sistema no realizará funciones de geocodificación⁷.

Para brindar seguridad al sistema, se manejarán dos tipos de usuarios: El primer grupo de usuarios tendrá la jerarquía más baja ya que solamente se les permitirá realizar consultas; el segundo grupo corresponde al grupo de administradores del sistema los cuales tendrán la facultad de registrar nuevos usuarios y realizar cambios sobre la base de datos.

Este sistema estará compuesto de dos módulos, los cuales se describen a continuación:

Módulo de consultas generales: Este módulo presenta la información de la distribución de los valores absolutos y de las tasas de deserción total y semestral discriminados por una sola variable como sexo, color de piel, estrato socioeconómico, facultad y programa académico.

Módulo de consultas cruzadas: A diferencia del módulo anterior este módulo permite visualizar el resultado mediante la combinación de variables, es así como un usuario puede visualizar, por ejemplo, la distribución de las mujeres de estrato uno, en un semestre x.

Herramientas:

Para la construcción del sistema de información geográfica se contó con herramientas de libre distribución, a continuación se presentan las herramientas empleadas acompañada de una breve descripción.

Tabla 1.
Lista de herramientas empleadas

Herramienta	Descripción
PostgreSQL versión 8.3	Es un sistema de manejo de bases de datos de código abierto
Potgis	Es un módulo que añade soporte de objetos geográficos a la base de datos objeto-relacional PostgreSQL
Qgis	Pretende ofrecer a usuarios SIG con necesidades básicas un entorno sencillo y agradable
Apache	Es un servidor web http.
MapServer	Es un ambiente de desarrollo de código abierto para desarrollar aplicaciones web espaciales construidas sobre otros sistemas de código abierto.
PHP	Es un lenguaje interpretado, ampliamente usado y que está diseñado especialmente para desarrollo web.
Php- Mapsript	Es un módulo para PHP que permite acceder a la API de MapServer y que adiciona al lenguaje PHP herramientas que permiten programar de forma dinámica la presentación de cartografía.

Implementación:

En cuanto a la implementación de la aplicación esta debe cumplir con una serie de requerimientos funcionales los cuales se presentan en las tablas a continuación:

Tabla 2.
Requerimientos de la aplicación global.

Id	Nombre	Descripción
1	Datos	Debe recuperar datos alfanuméricos y cartográficos de una base de datos.
2	Representación	Debe representar datos numéricos mediante cartografía.
3	Registro	Debe ofrecer la posibilidad de adicionar nuevos usuarios.
4	Identificación	Debe identificar usuarios.
5	Consulta	Debe consultar las variables a nivel de barrios.
6	Variabes	Debe realizar consultas en función de n variables diferentes.
7	Fuentes	El administrador debe estar en capacidad de consultar la base de datos alfanumérica.
8	Logout	El usuario debe poder cerrar su sesión en cualquier momento
9	Interfaz	La interfaz web debe ser sencilla e intuitiva, independiente del diseño.
10	Créditos	El usuario debe poder ver los créditos del proyecto

Tabla 3.
Requerimientos de la aplicación cartográfica.

Id	Nombre	Descripción
11	Zoom	Debe hacerse zoom sobre la cartografía, de diferentes tipos (in, out, extent) y a diversas escalas
12	Pan	Debe ofrecer una herramienta de pan (desplazamiento)
13	Imprimir	Debe poder imprimir los mapas temáticos resultado de la consultas en formato PDF
14	Leyenda	Debe tener la leyenda del mapa resultado de la consulta
15	Mapa de referencia	Debe ofrecer a los usuarios un mapa de referencia
16	Escala gráfica	Debe mostrar siempre la escala gráfica actual y sus respectivas unidades
18	Capa	Siempre mostrará la capa tipo polígono de los barrios de Cali. Esta aplicación tendrá una segunda capa la cual contiene la etiqueta de los labels (etiquetas)
19	Estado	En este primer módulo solo se podrá cambiar el estado (prender/apagar) de la capa de etiquetas de los barrios.

⁷ El proceso de geocodificación consiste básicamente en asignar coordenadas a elementos de los cuales sólo se conocen topónimos

Construcción

Como primera medida se debe crear una base de datos relacional que tenga incluido el soporte para el almacenamiento y manipulación de información geográfica. Para permitir la visualización de la cartografía temática, una vez definida la base de datos, se procede a la construcción de la aplicación. Mapserver cuenta con diversas herramientas, entre ellas el Mapfile, archivo

básico de configuración del trabajo, en el cual se consignan los parámetros del mapa que se desea mostrar (número de capas, color, escala, proyección, etc.). Este archivo es estático y para la ejecución de consultas dinámicas requiere de una reestructuración construida a través de php mapscript. A continuación se muestra la estructura de construcción del objeto mapa. Esta estructura se debe respetar en el archivo mapfile y en el código php mapscript.

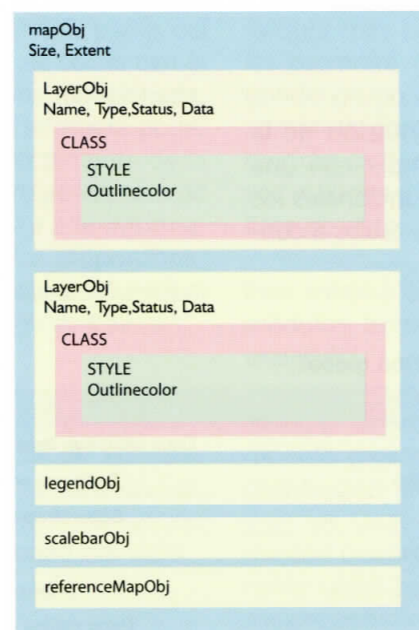


Figura 2.
Estructura del archivo mapfile.

Fuente:
Beginning Map
Server open source
GIS development

Debido a que esta aplicación requiere de consultas temáticas dinámicas en las cuales no siempre la distribución geográfica va cumplir con los mismos intervalos de distribución se optó por usar el lenguaje php mapscript, el cual construye siempre 5 intervalos diferentes dependiendo del valor máximo y mínimo de los datos. Esto se logra recuperando los valores máximo y mínimo de cada consulta mediante SQL.

Geoestadística

Al ingresar a las técnicas de modelación espacial es importante aclarar el concepto de autocorrelación espacial. En

términos prácticos la autocorrelación espacial mide el grado de similitud para una variable (Z), entre puntos vecinos sobre el área muestral, usando para ello diferentes métodos que dependen de la naturaleza del estudio.

Uno de estos métodos es el semivariograma, el cual mide el grado de correlación que existe entre los valores de una variable, cuantificando la semivarianza que existe en una distribución⁸. Esta herramienta es usada para ir más allá de la determinación de la autocorrelación espacial, ya que mediante la cuantificación de una relación de variables medida en una serie de puntos, se puede conocer o predecir el valor de esta va-

riable para puntos situados a distancias conocidas, pero que no han sido muestreados.

El semivariograma se define como la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados una distancia h^9 o lo que es lo mismo, la varianza de los incrementos de la variable regionalizada separadas por una distancia h .

Herramientas

R-project: R es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico. Se trata de un proyecto de software libre, resultado de la implementación GNU del premiado lenguaje S. R.

Tasas de deserción

Para realizar el cálculo de la tasa total de estudiantes se tomó la sumatoria de todos los desertores durante el período de análisis, sobre el total de matriculados para los cuales fue posible encontrar su localización espacial (1.967). A continuación se presenta la fórmula mediante la cual se obtuvo la tasa de deserción.

$$TD = \frac{\sum_{i=0}^I D}{1967}$$

En cuanto al cálculo semestral de las tasas de deserción se tomó el número desertores en el semestre, sobre el número de estudiantes que debieron matricularse, menos el número de estudiantes graduados en el correspondiente semestre. Es importante resaltar que el número de estudiantes graduados tomará el valor de 0 hasta el séptimo semestre. A continuación se presentan los cálculos para los semestres 2º a 4º:

$$TD_{s2} = \frac{Ds_2}{M_{s2} - g_{s2}} \quad TD_{s3} = \frac{Ds_3}{M_{s3} - g_{s3}} \quad TD_{s4} = \frac{Ds_4}{M_{s4} - g_{s4}}$$

Realizando el cálculo de las tasas de deserción se procede a asociarle esta información a los centroides de los barrios¹⁰, y a calcular la nube del semivariograma la cual muestra la magnitud entre el vector separación y entre pares de puntos. La interpretación de este gráfico brindará orientación en cuanto a la definición de algunos parámetros, como la distancia máxima del semivariograma.

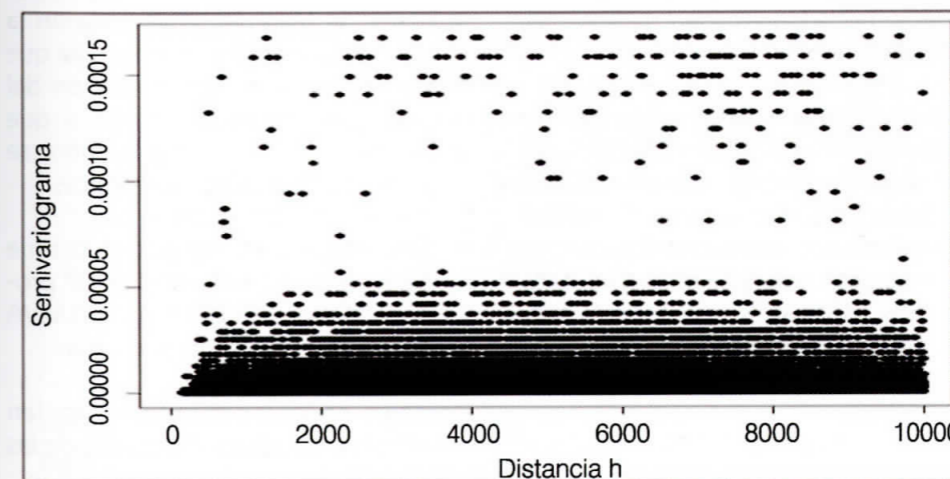


Gráfico 1.
Nube del semivariograma.

⁹ Journel y Huijbregts, 1998

¹⁰ También se conoce como centro de gravedad y se utilizan puesto que el semivariograma realiza su análisis a partir de la construcción de parejas de puntos y, por tanto, se toma el centroide geométrico de los polígonos barriales.

Al observar la nube del semivariograma se procedió al cálculo del semivariograma experimental para los diez semestres sobre los cuales se realizó el seguimiento (entre 3^{er} y 12 semestre) y para la tasa total deserción en condiciones de isotropía¹¹, si se comprueba autocorrelación espacial en condiciones de isotropía se procede a calcular el semivariograma en condiciones de anisotropía.

Enconometría Espacial-Regresión ponderada geográficamente

El objetivo de los modelos econométricos es el de explicar una variable mediante un conjunto de variables, que se identifican como aquellas que explican a la variable objeto de estudio. En este estudio se propone un modelo lineal multivariado ponderado geográficamente con la finalidad de conocer qué factores del entorno en los barrios influyen sobre el fenómeno de deserción.

Herramientas

Geoda: Es un software libre que lleva a cabo análisis de datos espaciales, geovisualización, autocorrelación espacial y modelado espacial. El paquete fue desarrollado por el Laboratorio de Análisis Espacial de la Universidad de Illinois en cabeza de profesor Luc Anselin.

La econometría espacial se fundamenta en la presencia de autocorrelación espacial, para determinar la presencia o no de autocorrelación espacial. El método utilizado en la econometría espacial para determinar la presencia o no de autocorrelación espacial es I de Moran, debido a que la matriz de pesos empleada permite recoger el término de retardo espacial¹².

Para entender esto se aclarará el cálculo de la matriz de pesos para el índice de Moran. Esta es una matriz cuadrada, exógena en la mayoría de los casos no estocástica cuyos elementos muestran la interdependencia entre cada par de regiones i y j .

$$W = \begin{bmatrix} 0 & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & 0 & \dots & W_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{n1} & W_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Con respecto a cómo definir los pesos mencionados no existe una única definición de W aceptada, siempre que se cumpla que dichos pesos no sean negativos o infinitos. Esta matriz de adyacencia que en su forma básica es igual a 1 si las regiones i y j presentan adyacencia o a 0 en el caso contrario.

En este estudio se construyó la matriz de pesos en su forma más simple y se procedió a calcular el índice de Moran. Este índice varía entre -1 y 1, el valor positivo indica la presencia de conglomerados espaciales. El paso a seguir es el de la escogencia de las variables que buscan explicar el fenómeno de deserción en la Universidad del Valle, para este estudio se tomaron las siguientes variables: Se tomó en consideración la variable estrato socioeconómico ya que esta da una buena caracterización del entorno del individuo, debido a que puede tomar seis valores diferentes, se crearon cinco variables dicotómicas¹³:

- Porcentaje de homicidios de la serie de tiempo del año 2002-2007 proporcionada por el instituto CISALVA debidamente georreferenciada.

Promedio de los ingresos familiares (en millones de pesos) por barrio de las

familias de los estudiantes admitidos.

- Promedio de los ingresos por barrio de la persona de la cual depende el estudiante durante su permanencia en la universidad, en millones de pesos.
- Porcentaje de los estudiantes que egresaron de planteles educativos públicos en cada barrio.
- Porcentaje de los estudiantes que egresaron de planteles educativos privados en cada barrio.

Habiendo definido las variables que se considera explican el fenómeno, se construye la aproximación al modelo ponderado geográficamente, esta aproximación consiste en un modelo de regresión multivariado, teniendo el modelo se procede a incorporar el

término de retardo espacial, con estos resultados se procede al análisis del modelo.

Resultados

SIGDUV

Como resultado del diseño e implementación del SIGDUV (piloto), se obtuvo una herramienta que permite realizar un seguimiento de los estudiantes en las unidades geográficas en las que ellos se desenvuelven y establecer comparativos que permitan adecuar las políticas de admisiones a la Universidad del Valle. Como se mencionó anteriormente el sistema se diseñó para ser lo más intuitivo posible en su manejo. En la siguiente gráfica se puede observar una cartografía temática resultado de una de las consultas.

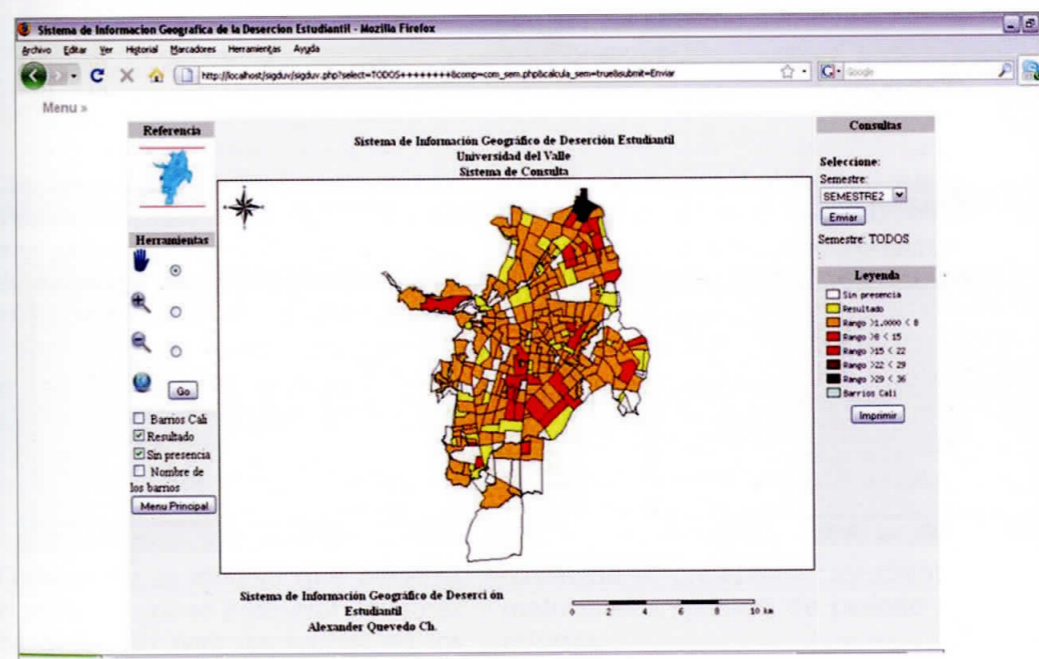


Figura 3.
SIGDUV

Fuente:
Elaboración propia

11 Isotropía: Indica que el análisis no cambia según la dirección en la que se analicen los datos.

12 R. Moreno Serran, E. Vaya. Técnicas Econométricas para el tratamiento de datos espaciales.

13 Se denomina dicotómica a una variable cuando solo puede tomar dos valores 0 o 1.

Geoestadística

Al analizar los semestres solo se encuentra autocorrelación espacial en el cuarto semestre, motivo por el cual se descarta la posibilidad de realizar un análisis espacio temporal del fenómeno para esta cohorte, se concentra el análisis entonces sobre las tasas totales de deserción encontran-

do mediante el semivariograma experimental autocorrelación espacial.

Los semivariogramas presentados tienen una distancia máxima de 10.000 metros, escogiendo 10 rezagos o intervalos de distancia necesarios para el cálculo del semivariograma; la distancia entre rezagos es de 1.000 metros.

Gráfico 4. Semivariograma experimental de la tasa total de deserción en condiciones de isotropía.

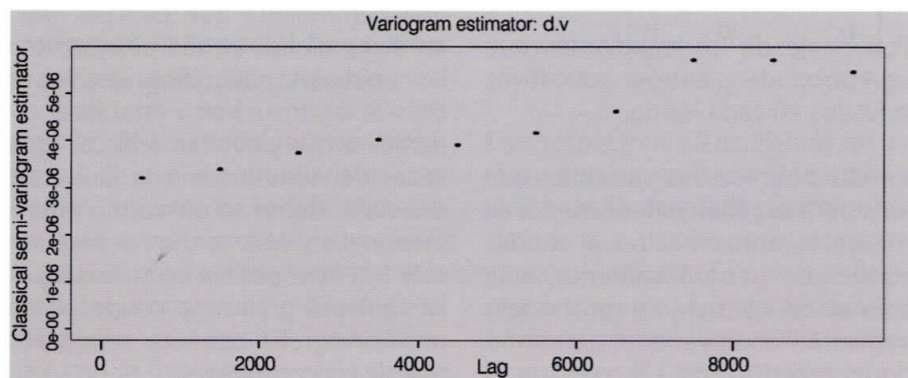
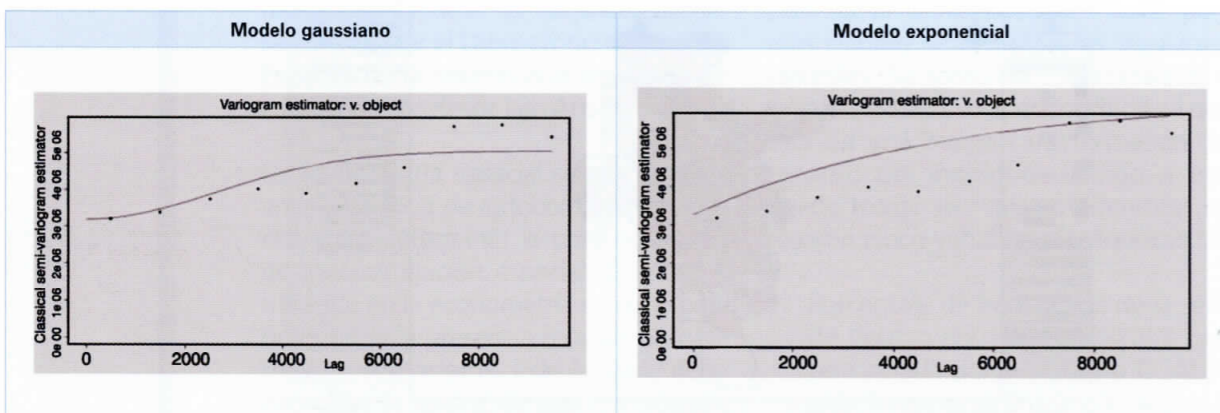


Gráfico 5. Ajuste del Semivariograma de la tasa total de deserción en condiciones de isotropía al modelo Gaussiano y Exponencial.

Teniendo el semivariograma experimental este se ajusta a un modelo teórico encontrando que presenta los mejores ajustes a los modelos Gaussiano y Exponencial.



Habiendo encontrado que en condiciones de isotropía el semivariograma no presentaba discontinuidades o un efecto pepita puro, que puedan llevar a pensar que no existe una autocorre-

lación espacial, se procedió a calcular el semivariograma en condiciones de anisotropía encontrando que el fenómeno presenta una dirección de 90° (Este).

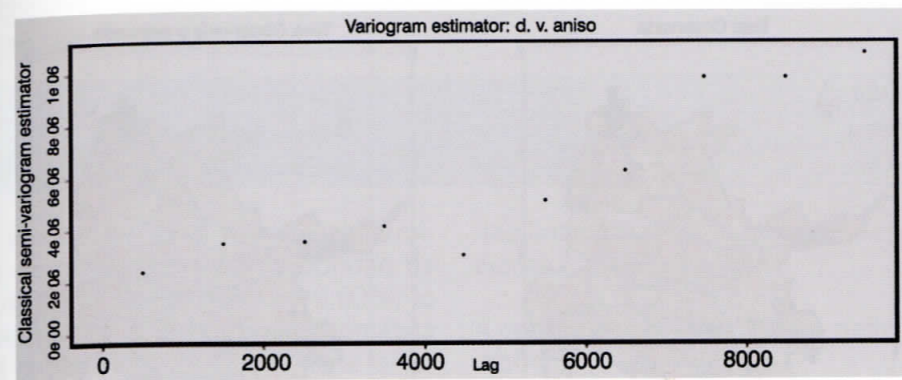
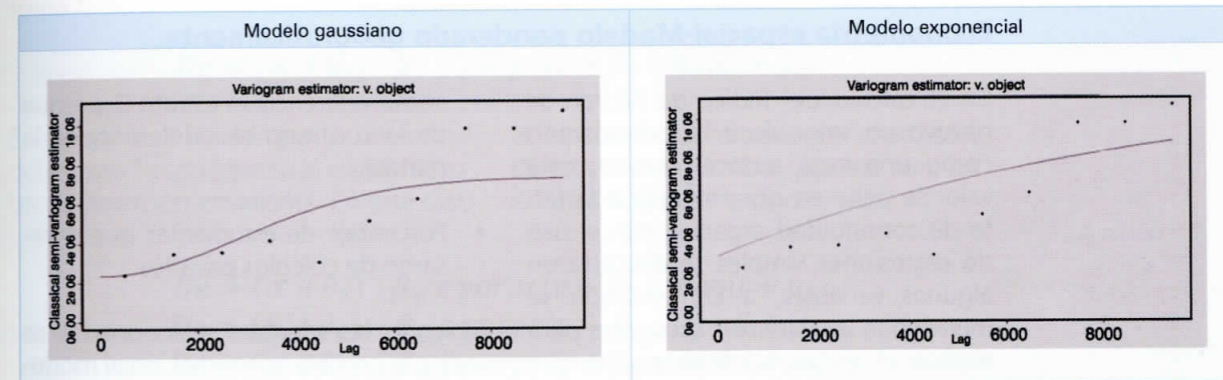


Gráfico 6. Semivariograma experimental de la tasa total de deserción en condiciones de anisotropía.

Se encontró que en condiciones de anisotropía los modelos que gráficamente presentan un mejor ajuste son el Gaussiano

y Exponencial. A continuación se presentan las gráficas de estos modelos.

Gráfico 7. Ajuste del Semivariograma en condiciones de anisotropía a los modelos Gaussiano y Exponencial.



Con los modelos definidos se procedió a estimar las tasas deserción en los barrios para los cuales se conocen las tasas de deserción, esto se realizó mediante interpolación usando el método de in-

terpolación Kriging¹⁴ obtenido que el modelo que presenta el menor error medio cuadrado es el modelo exponencial en condiciones de anisotropía.

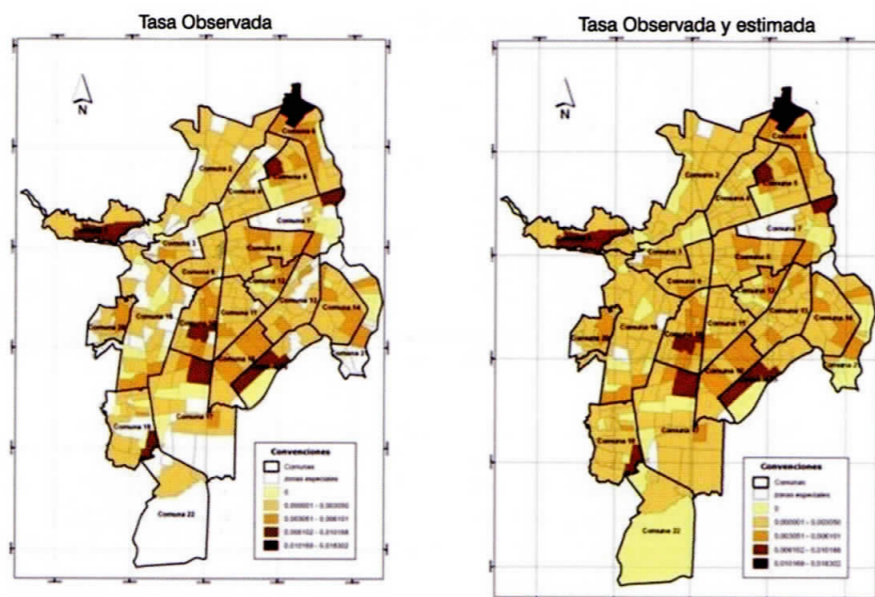
	Exponencial Isotropía	Exponencia Anisotropía	Gaussiano Isotropía	Gaussiano Anisotropía
EMC	0.001467	0.001428	0.5094	0.155359

Conociendo el modelo que presenta el menor error se predijeron las tasas de deserción para los barrios en los

cuales no se presentaron estudiantes matriculados al inicio de período de estudio.

14 Kriging: Técnica de interpolación en la que los valores medidos para áreas circundantes son pesados para derivar valores predictivos para valores no medidos sobre la misma superficie.

Figura 4.
Tasas observadas y estimadas
Fuente:
Elaboración propia



Econometría espacial-Modelo ponderado geográficamente

En el cálculo del índice de Moran se obtuvo un valor de 0.14 considerado como una baja autocorrelación, este valor se debe en gran medida a la falta de continuidad espacial, con el uso de regresiones simples se descartaron algunas variables, a continuación se mencionan las variables escogidas para explicar el fenómeno de deserción.

- Porcentaje de homicidios 2002-2007.
- Estrato socioeconómico (Para evitar problemas de singularidad se tomó

como referencia el estrato 3 porque de lo contrario se indeterminaría la matriz).

- Porcentaje de estudiantes que egresaron de colegios privados.

Teniendo las variables seleccionadas se realiza la primera aproximación al modelo obteniendo un R cuadrado de 0.226. Conociendo la bondad de ajuste del modelo, se procede a calcular el modelo ponderado geográficamente obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.
Resultados de la regresión ponderada geográficamente

Variable	Coefficiente	Std.Error	Estadístico T	Probabilidad	
Constante	1.65695	0.5505203	3.00979	0.0026144	**
Estrato 1	-3,064883	0,8181895	-3,745933	0,0001798	*
Estrato 2	-1,2663322	0,5506705	-2,299619	0,0214698	**
Estrato 4	-0,8090499	0,95138636	-0,850393	0,3951065	ns
Estrato 5	-2,272851	0,7895882	-2,878527	0,0039955	**
Estrato 6	-2,105167	1,542015	-1,3665205	0,1721887	ns
% Col privados	1,802749	0,5938028	3,035939	0,002398	**
% Homicidios	4.357507	6,116816	7,123816	0	

*Significativa al 5%
**Significativa al 1%

ns no significativo

R-cuadrado	0.24718
Ajuste R cuadrado	0,226356
Sigma Cuadrado	13.218

Al incorporar en el modelo el término de retardo espacial la bondad de ajuste del modelo sube en 0.02%, lo que implica que la parte sistemática del modelo explica el 24.7% de la va-

riabilidad total de la variable dependiente.

A continuación se procede a definir el modelo:

$$De = \alpha + \beta_1 \varepsilon \text{estra1} + \beta_2 \varepsilon \text{estra2} + \beta_4 \varepsilon \text{estra4} + \beta_5 \varepsilon \text{estra5} + \beta_6 \varepsilon \text{estra6} + \beta_6 \varepsilon \text{porpriv} + \beta_7 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

$$De = 1.656 - 3.064 \text{estra1} - 1.266 \text{estra2} - 0.809 \text{estra4} - 2.272 \text{estra5} - 2.105 \text{estra6} + 1.802 \text{porpriv} + 4.357 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

Cuando se tiene estrato 1 el modelo toma la forma

$$De = (\alpha + \theta_1) \beta_1 \varepsilon \text{porpriv} + \beta_7 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

En donde θ_1 es el impacto diferencial del estrato 1 con respecto al estrato 3, sobre la deserción estudiantil. En este caso

el impacto se captura sobre el intercepto, de esta misma forma se plantea para los estratos dos, cuatro, cinco y seis:

$$De = (\alpha + \theta_2) \beta_6 \varepsilon \text{porpriv} + \beta_7 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

$$De = (\alpha + \theta_4) \beta_6 \varepsilon \text{porpriv} + \beta_7 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

$$De = (\alpha + \theta_5) \beta_6 \varepsilon \text{porpriv} + \beta_7 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

$$De = (\alpha + \theta_6) \beta_6 \varepsilon \text{porpriv} + \beta_7 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

Es importante recordar que como se puede observar en la tabla de resultados anteriormente presentada, los estratos 4 y 6 no resultan estadísticamente significativos en este modelo, en cuanto a los estratos 1, 2 y 5 los resultados de los coeficientes al ser negativos están confirmando que el pertenecer a un estrato 3 aumenta la posibilidades de desertar.

puede decir que el incremento en un punto porcentual bajo este modelo incrementaría el número de desertores en 3 individuos.

Nuevamente, para realizar el análisis de la variable porcentaje de homicidios se consideraron las demás variables como constantes.

Para analizar la variable porcentaje de estudiantes que egresaron de planteles educativos privados se evaluarán las variables restantes en 0, teniendo entonces

$$De = \alpha + \beta_7 \varepsilon \text{homi} + \mu_1$$

$$De = \alpha + \beta_6 \varepsilon \text{porpriv} + \mu_1$$

De la variable porcentaje de los estudiantes que egresaron de planteles educativos privados en cada barrio se

Con respecto a la variable porcentaje de homicidios, es importante resaltar que esta variable presenta la significancia estadística más alta, el incremento porcentual en un punto de esta variable se ve reflejado en un incremento de 6 individuos que desertarían para la segunda cohorte del año 2001. Este resultado

indica que la violencia en el entorno geográfico en el que se desenvuelve el individuo tiene una incidencia directa en la deserción.

Conclusiones

El desarrollo del SIG piloto, proporciona una herramienta que puede permitir el seguimiento en el espacio y el tiempo del fenómeno de deserción y permanencia en la Universidad del Valle de los estudiantes.

Para la cohorte de estudiantes objeto de análisis en este estudio no se encuentra autocorrelación espacial semestral, debido a la variabilidad en la distribución geográfica del fenómeno de deserción en cada semestre.

La deserción para la segunda cohorte del año 2001 no presenta una distribu-

ción espacial aleatoria; por el contrario, presenta una distribución definida con una dirección hacia el Este. Esta dirección definida se debe a que en las comunas 10, 11, 12, 13 y 14 se presenta una presencia espacial continua de estudiantes desertores, coincidiendo con zonas, en donde se encuentra población socioeconómicamente vulnerable.

Con una sola cohorte no es posible precisar el comportamiento espacial del fenómeno deserción estudiantil en la Universidad del Valle.

Quedó demostrado mediante el planteamiento y los resultados obtenidos del modelo de regresión ponderado geográficamente que existe un efecto directo entre el entorno socioeconómico en el cual los estudiantes se desenvuelven y el fenómeno de deserción estudiantil en la Universidad del Valle para segunda cohorte del año 2001.

Bibliografía

- ANSELIN, L. Y REY. Properties of tests for spatial dependence in linear regression models. Geographical analysis, Illinois, 1991.
- BUZAI D., GUSTAVO, BAXENDALE, CLAUDIA. Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Buenos Aires, 2006.
- CAEIRO, SANDRA. Delineation of estuarine management areas using multivariate geostatistics: The case of sado estuary. Lisboa, 2003.
- CAMARGO, E. A Geostatistical approach for estimation and mapping of homicide risk. Sao Paulo, 2007 (sin publicar).
- CASTILLEJO, ALFREDO. Teoría geoestadística aplicada a al análisis de la variabilidad espacial arqueológica. Barcelona, 2007.
- ESCOBAR M., JAIME, LARGO, Edwin, PÉREZ, Carlos. Análisis de la herramienta spadies diseñada por el Ministerio de Educación Nacional y el Cede (1994-2006). Cali, 2006.
- ESCOBAR M., JAIME, LARGO, Edwin, PÉREZ, Carlos. Factores asociados a la deserción y permanencia estudiantil en la Universidad del Valle (1994-2006). Cali, 2006.
- GIRALDO H., RAMÓN. Introducción a la geoestadística teoría y aplicación. Bogotá, 2001.
- GOOVAERTS, PIERRE. Geostatistical modeling of the spatial variability of arsenic in groundwater of southeast. Michigan, 2005.
- ICFES, Universidad Nacional de Colombia. Estudio de la deserción estudiantil en la educación superior en Colombia. Bogotá, 2002.
- MAXIMIANO C., ALFREDO. Teoría geoestadística aplicada al análisis de la variabilidad espacial arqueológica intra-site, Barcelona, 2007.

2

Análisis multitemporal de coberturas costeras y marinas utilizando imágenes ultracam e ikonos, para planes de manejo ambiental. Caso de estudio Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés, Caribe colombiano

Análisis multitemporal de coberturas costeras y marinas utilizando imágenes Ultracam e Ikonos, para planes de manejo ambiental. Caso de estudio Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés, Caribe colombiano

Multitemporal analysis of cover in coastal and marine areas using ultracam and ikonos imagery for environmental management plans: study case old point regional mangrove park, San Andrés.

Ángela Blanco Figueroa¹, Daniel Rozo Garzón², Carlos Villamil Echeverri³, Diana Isabel Gómez-López⁴, y Luz Marina Mejía Ladino⁵

Resumen

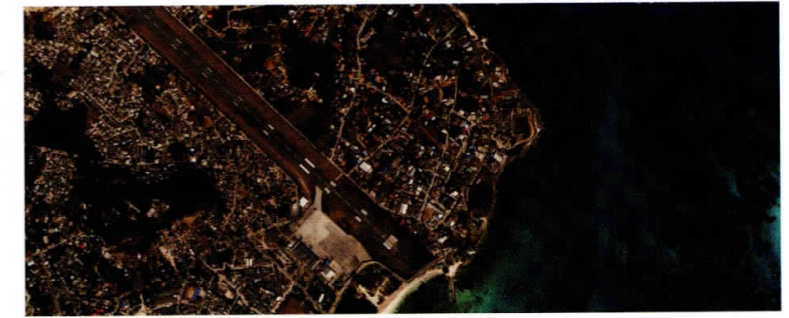
Los trabajos a escala local se han visto fuertemente beneficiados con los productos obtenidos con sensores de alta resolución, ya que permiten distinguir patrones de estructura y composición de los ecosistemas. En especial, las ventajas que ofrecen estos productos sobre cuerpos de agua e identificación de especies vegetales han recibido un gran interés en las instituciones que trabajan en el campo de la gestión marina. El objetivo de este trabajo es presentar la caracterización espacial del área de Old Point Regional Mangrove Park ubicada en la isla San Andrés en el mar Caribe colombiano utilizando el sensor aerotransportado UltraCam-D y

el sensor satelital IKONOS; así mismo, se realizó una aproximación metodológica para la identificación de fondos marinos sobre áreas entre 0 y 10 metros de profundidad (o la que se considere) y la delimitación de especies de mangle a través de los dos tipos de imágenes mencionadas, como insumo para la zonificación de manejo.

Palabras clave:

Old Point Regional Mangrove Park, Isla de San Andrés, pastos marinos, manglares, sensores de alta resolución, percepción remota, UltraCam-D, IKONOS

- 1 Investigador Adjunto del INVEMAR en 2008, Ing. Catastral y Geodesta Msc Water Resources Management, Teléfono: (5) 4328600 ext. 118, Celular: 3002114043
- 2 Jefe Laboratorio Sistemas de Información del INVEMAR, Ing. Catastral y Geodesta, Teléfono: (5) 4328600 ext. 118, Celular: 3008001622, e-mail: drozo@invemar.org.co
- 3 Investigador Auxiliar del INVEMAR, Biólogo Marino Msc Biología Marina, Teléfono: (5) 4328600 ext. 243, Celular: 300-5286662
- 4 Jefe de línea Organización y dinámica de ecosistemas del INVEMAR, Bióloga Marina Msc Biología Marina, Teléfono: (5) 4328600 ext. 250, e-mail: digomez@invemar.org.co
- 5 Investigador Asistente del INVEMAR, Bióloga Marina Msc Biología Marina, Teléfono: (2) 4450100 ext. 3391, Celular: 3137684774, e-mail: mardeluz@invemar.org.co



Abstract:

The work at the local level have been strongly benefit from the products, resulting with high-resolution sensors, and to distinguish patterns of structure and composition of ecosystems. In particular, the advantages offered by these products on water bodies and identification of plant species have received considerable interest in the institutions working in the field of marine management. The objective of the study is a characterization of the space area of Old Mangrove Point Regional Park located in San Andres island in the Colombia Caribbean Sea, using

the airborne sensor UltraCam-D and the satellite sensor IKONOS. As at the same time, presenting a methodological approach for the identification of seabed on shallow to deep areas (0-10 meters) and the delimitation of mangrove species across the two types of images mentioned, as an input for zoning management.

Key words:

Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés Island, seagrass beds, mangroves, high resolution sensors, remote sensing, UltraCam-D, IKONOS.

Introducción

Colombia cuenta con una longitud de línea de costa de 3.882 km² (INVE-MAR, 2001), en la que convergen una gran variedad de ecosistemas marinos y costeros estratégicos ecológicamente y con prioridad de conservación como los bosques de manglar, áreas arrecifales y pastos marinos; por esto resulta indispensable caracterizar la composición, estructura y función de estos ecosistemas, evaluar su vulnerabilidad ante eventos climáticos naturales, perturbaciones ecológicas (como especies invasoras) y presiones antrópicas, incluyendo por supuesto actividades de extracción.

A través de imágenes de sensores remotos y trabajos de procesamiento se han obtenido resultados importantes en estudios marinos, como por ejemplo la medición de parámetros en oceanografía: Batimetría, temperatura de la superficie de mar, velocidad de agua superficial, surgencia; existe el interés en descubrir y profundizar en temas más específicos y a escalas detalladas, como en el caso de la cuantificación de la concentración de clorofila, detección de pigmentos fitoplanctónicos, reconocimiento de vegetación sumergida, evaluación de la salud de los corales, mapeo de hábitat marinos, entre otros (Aguirre-Gómez y Morales, 2005).

Hasta hace poco extraer información biológica y geológica en aguas poco profundas a escalas detalladas era un proceso complejo, los efectos de absorción y distorsión de la columna de agua no permitían observar directamente la reflectancia del fondo (Lyzenga, 1981),

por tanto, se requerían de intérpretes especializados que pudieran reconocer los ecosistemas ubicados en profundidades altamente variables, sobre una imagen en dos dimensiones.

Gracias a los productos del sensor aerotransportado UltraCam-D adquirido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el mapeo de ecosistemas específicos se ha fomentado en el país, brindando una solución ágil y oportuna al momento de tomar decisiones por parte de gobernantes, planificadores e investigadores, quienes pueden rápidamente reconocer detalladamente la cobertura y evaluar acciones de manejo.

Localización del área de estudio

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina localizado en aguas jurisdiccionales de Colombia en el Mar Caribe, fue nombrado como Reserva de la Biosfera Seaflower en el año 2000 y se menciona que el manejo de sus áreas marinas se realizará en el marco del Sistema Regional de Áreas Marinas Protegidas, de tal modo que los ecosistemas estratégicos marinos e insulares como manglares, pequeños islotes y arrecifes fueron declarados como parques regionales (CORALINA, 2001)

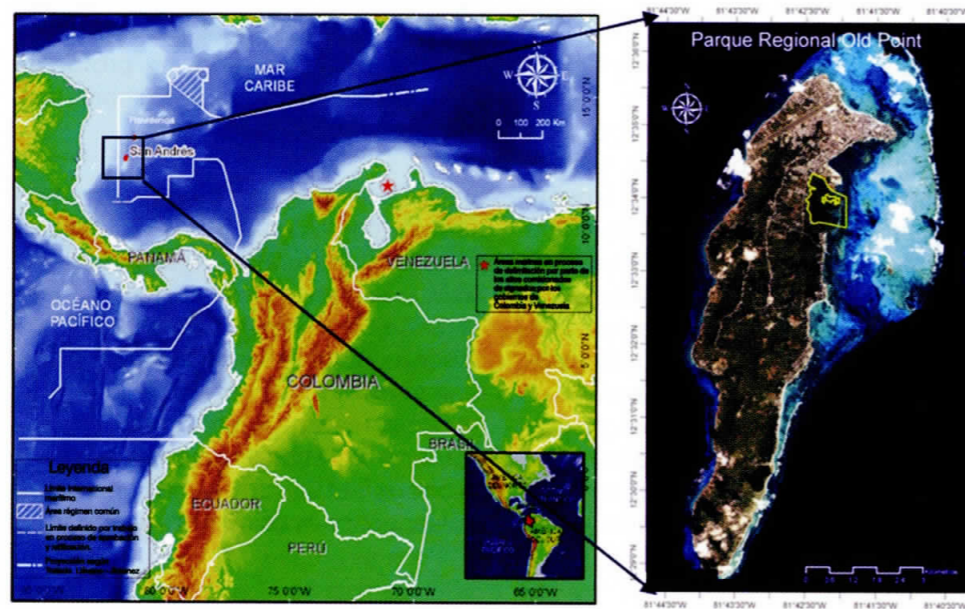
El acuerdo No. 042 del 18 septiembre de 2001 CORALINA declara, reserva y alindera el Old Point Regional Mangrove Park en la isla de San Andrés. El parque cuenta con una amplia área de bosques de manglar que debe ser conservada y/o recuperada como también ecosis-

temas de pastos marinos que pueden ser aprovechados sosteniblemente en actividades ecoturísticas.

El parque se encuentra ubicado en el costado occidental de la isla (Figura 1)

y cuenta con un área propuesta de 87,8 ha de zona de preservación, 5,38 ha de amortiguamiento interno, 79,36 ha de amortiguamiento marino y 52,91 ha de amortiguamiento terrestre (INVEMAR, 2008).

Figura 1
Ubicación de Old Point Regional Mangrove Park en la Isla de San Andrés, Colombia



Materiales

Información Raster

Se obtuvieron 3 imágenes de alta resolución con las siguientes características:

- Imagen Ikonos donada por la empresa GeoEye, con 1 m de resolución espacial y cuatro bandas espectrales, tomada el 1º de diciembre de 2002 en época de lluvia y georreferenciada en UTM.
- Imagen del sensor UltraCamD cedida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) con 7 cm

de resolución y tres bandas espectrales, georreferenciada en el sistema MAGNA y capturada el 17 de abril de 2007.

- Imagen del sensor UltraCamD cedida por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) con 44 cm de resolución y cuatro bandas espectrales, sin sistema de referencia.

En la Tabla 1 se muestran las diferencias entre las imágenes originales de los dos sensores y se observa que las imágenes del sensor Ultracam-D presentan mayor contraste y realce de los elementos sumergidos que las imágenes del sensor Ikonos.

Tabla 1.
Imágenes de alta resolución de Old Point Regional Mangrove Park provenientes de dos sensores diferentes

	ULTRACAM-D		IKONOS
Fecha de Adquisición	17 Abril 2007		1 diciembre 2002
Características Atmosféricas (Tutiempo.net)	Temperatura: 28,4 °C Velocidad media del viento: 1,9 m.s-1 Precipitación: 0 mm Época seca.		Temperatura: 29,8 °C Velocidad media del viento: 2,9 m.s-1 Precipitación: 0,2 mm Época lluviosa.
Resolución	0.44 m	0.07 m	
Combinación 3,2,1			
Combinación 4,3,2			

En las figuras de la Tabla 1 se observa que las combinaciones a color de las imágenes de la izquierda (especialmente sobre el área sumergida) presentan mayor variabilidad entre diferentes tipos de elementos, en comparación con las combinaciones a color de las imágenes a la derecha.

En la Tabla 2 se presentan las diferencias entre las imágenes de los dos sensores

empleados y se observa que el rango de longitud de onda del espectro electromagnético del sensor UltraCam-D es mucho más amplio que el sensor IKONOS para las bandas azul, verde y rojo; lo que permite extraerle más información. Especialmente, de las bandas espectrales 1 y 2 en la definición de hábitats marinos y de las bandas del infrarrojo para detección de especies de vegetación terrestre.

Tabla 2.
Características de los sensores empleados.

SENSOR	ULTRACAM-D	IKONOS
Resolución Espectral	<p>Banda Longitud de onda (μm)</p> <p>1, Azul 0,39 a 0,53</p> <p>2, Verde 0,47 a 0,66</p> <p>3, Rojo 0,57 a 0,69</p> <p>4, Infrarrojo 0,67 a 0,94</p> <p>Pancromático 0,39 a 0,69</p>	<p>Banda Longitud de onda (μm)</p> <p>1, Azul 0,45 a 0,52</p> <p>2, Verde 0,51 a 0,60</p> <p>3, Rojo 0,63 a 0,70</p> <p>4, Infrarrojo 0,76 a 0,85</p> <p>Pancromático 0,45 a 0,90</p>
Resolución Radiométrica	<p>La resolución del sensor CCDs es de 12 bits o más (Leberl et al., 2003)</p> <p>4 m bandas multispectrales</p> <p>1 m pan-sharpened</p>	<p>11bit (2048 valores de grises).</p> <p>Depende de la altura de vuelo.</p> <p>Tamaño de la imagen es de 11500 x 7500 pixeles</p>
Ventajas	<p>Disponibilidad inmediata de las imágenes, que posibilitan el chequeo de los datos.</p> <p>No hay intervención de intermediarios.</p> <p>Alta claridad y calidad de la imagen</p> <p>Rangos espectrales más amplios.</p> <p>La cobertura de las nubes no es un factor importante a la hora de capturar las imágenes.</p>	<p>Los costos de operación no son asumidos directamente por el usuario.</p> <p>En general, no requieren procesos de unión de distintas imágenes.</p>
Desventajas	<p>Altos costos de operación.</p> <p>Se requiere personal muy especializado para la operación del sensor en el momento de toma de los datos.</p>	<p>Se requiere intermediarios para los procesos de compra e importación de los datos.</p> <p>Existe un periodo entre el momento de captura y de entrega al usuario.</p> <p>La captura depende del cubrimiento de nubes.</p>

Procesamiento de imágenes

Con el fin de delimitar los ecosistemas de Old Point Regional Mangrove Park se emplearon algoritmos como Cocientes de bandas, análisis de componentes principales y clasificación no-supervisada. Sin

embargo, antes de iniciar el procesamiento se realizaron correcciones geométrica, atmosférica y de la columna de agua.

La Figura 2 describe uno a uno los pasos seguidos en el desarrollo de la metodología.

Análisis multitemporal de coberturas costeras y marinas utilizando imágenes ultracam e ikonos, para planes de manejo ambiental. Caso de estudio Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés, Caribe colombiano

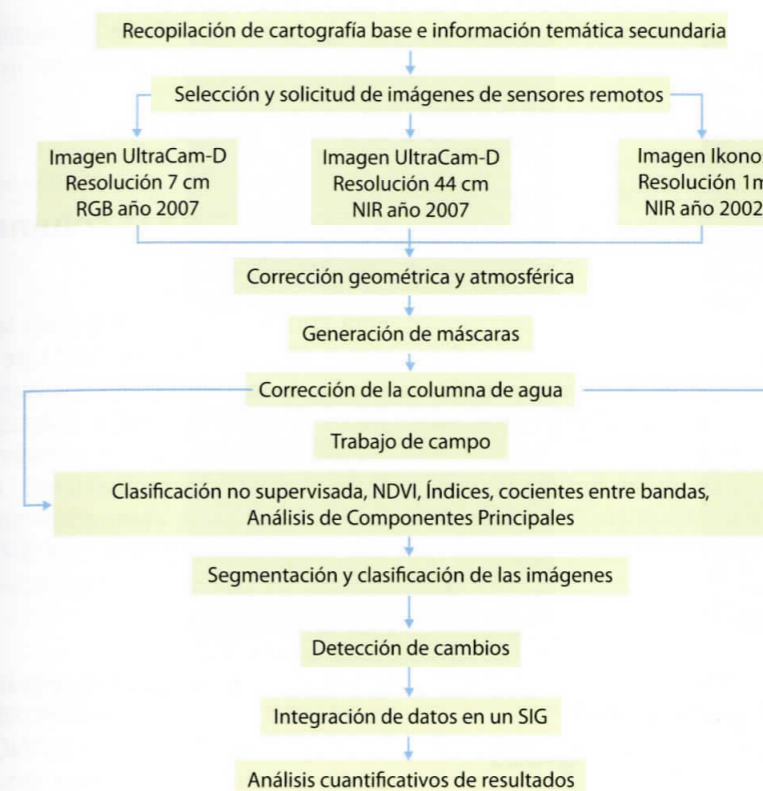


Figura 2.
Esquema del modelo metodológico empleado en la interpretación de las imágenes.

Corrección geométrica

Esta consiste en modelar el error geométrico de la imagen a partir de una serie de puntos de coordenadas conocidas que se denominan puntos de control (Chuvieco, 1996).

Las coordenadas conocidas se toman de la imagen Ultracam de 0,07 m de resolución, ortorrectificada por el IGAC al Datum MAGNA-SIRGAS con elipsoide GRS80 (equivalente a WGS84) en proyección cartesiana local con origen en el punto geodésico GPS-3039-S con Latitud: 12° 31' 25,659570" Norte y Longitud: 81° 43' 45,753420" Oeste a cuyo punto se le asignaron las coordenadas planas Norte: 1.877.357,828 m y Este: 820.439,298 en el Plano de Proyección 6 m sobre el nivel medio del mar, se procede a georreferenciar la imagen en UltraCam-D en infrarrojo y la imagen Ikonos con un modelo polinomial de tercer grado, que es la solución cuando no se cuenta con la información suficiente de la toma y puede ser utilizada para pequeñas áreas y en imágenes que no requieren mosaicos.

Corrección atmosférica

La bruma del vapor de agua y las partículas de aerosoles influyen la señal recolectada por el sensor, adicionalmente la rugosidad del terreno y la variación de iluminación en las pendientes modifican el comportamiento espectral de las superficies. A través del algoritmo ATCORD (Atmospheric Correction) se remueve la influencia de la atmósfera e iluminación solar.

Según Richter (2001), el programa ATCOR calcula la radiancia $\text{mW} (\text{cm}^2 \text{sr} \mu\text{m})^{-1}$, a partir de los valores digitales de cada píxel, sobre la base de factores de calibración propios de cada sensor (gain y bias). A partir de los valores de radiancia, el programa calcula los valores de reflectancia (relación entre el flujo reflejado por el píxel y flujo incidente sobre el mismo), descontando el efecto de la radiación refractada por la atmósfera y captada por el sensor (corrección atmosférica), y la radiación reflejada por áreas contiguas (efecto de adyacencia), ya que afectan el valor digital

del píxel en consideración (Lencinas y Mohr, 2002).

Para realizar la corrección se toman los siguientes parámetros: Atmósfera principal marítima y constante, condición de atmósfera secundaria tropical, visibilidad media 15 km (Tutiempo Network, 2008).

La imagen Ikonos presentó un realce con la corrección atmosférica, y se disminuyó el efecto de bruma y atenuación en los valores de radiancia en las zonas contiguas de las nubes. La imagen del sensor UltraCam-D no presentó cambios significativos en los niveles digitales.

Máscara para áreas emergidas y sumergidas

Inicialmente, se intentó hacer la clasificación sin emplear máscaras, pero debido a la heterogeneidad de la zona marino-costera se obtuvo mucha confusión entre clases; por tanto, para evitar dicha confusión y así extraer información de los ecosistemas costeros y los fondos marinos se realizaron máscaras para los ambientes emergido y sumergido, a partir de la

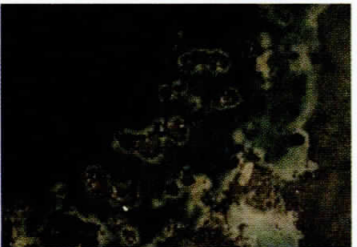


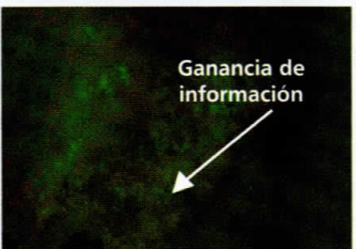
clasificación de valores de radiancia y ajustando la delimitación con interpretación visual.

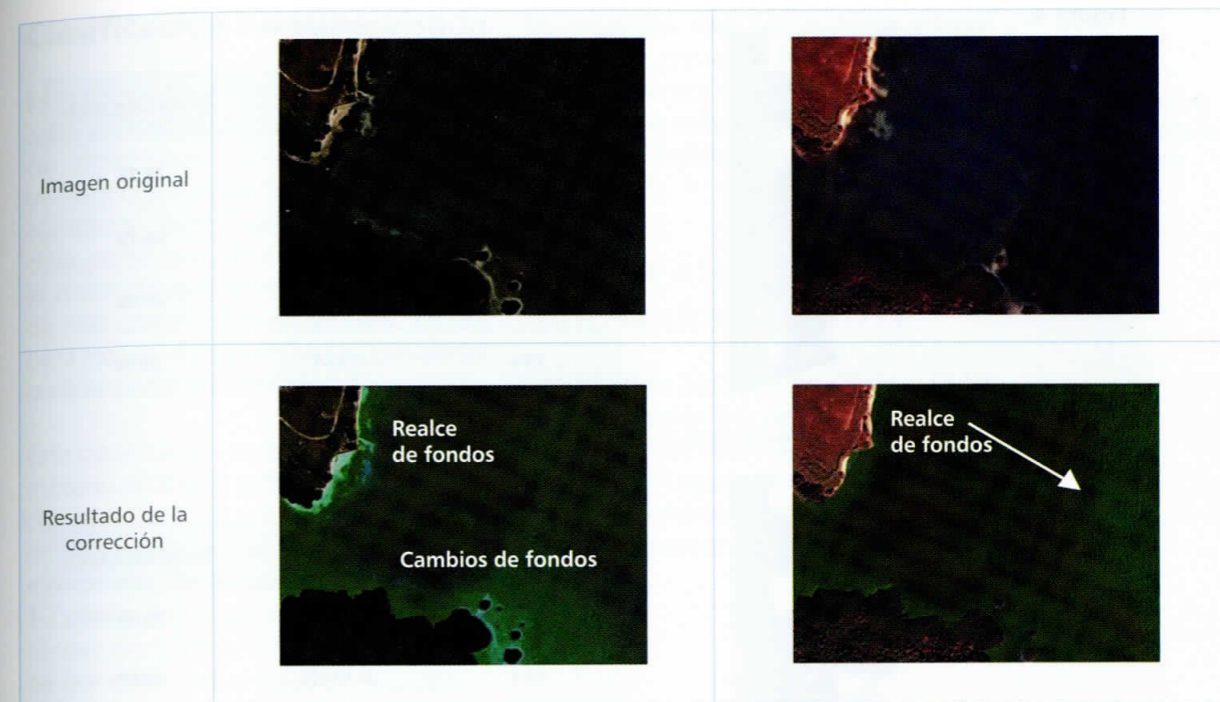
Corrección de la columna de agua

Esta corrección se realizó para las imágenes IKONOS y Ultracam-D de 0,044 m. La técnica propone los siguientes pasos (Lyzenga, 1981): Selección de muestras de píxeles con el mismo sustrato y diferente profundidad, cálculo del coeficiente de atenuación por cada par de bandas y generación del índice para tipos de fondo independiente de la profundidad.

La Figura 3 muestra el resultado de la corrección para las imágenes seleccionadas y se observa que en IKONOS presenta ganancia de información de los fondos sumergidos, en comparación con el sensor UltraCam-D. Con resolución de 0.07 m no es necesario realizar esta corrección, por que el reconocimiento de los fondos sumergidos se hace visualmente; lo que indica que esta técnica sólo se requiere en aguas más turbias y con imágenes de mayor resolución.

Figura 3. Comparación de las correcciones de columna de agua de las imágenes UltraCam- D e Ikonos

	FOTOGRAFÍA CÁMARA ULTRACAM D Combinación Bandas RGB	IMAGEN IKONOS Combinación Bandas RGB
Imagen original		
Resultado de la corrección		



Componentes principales

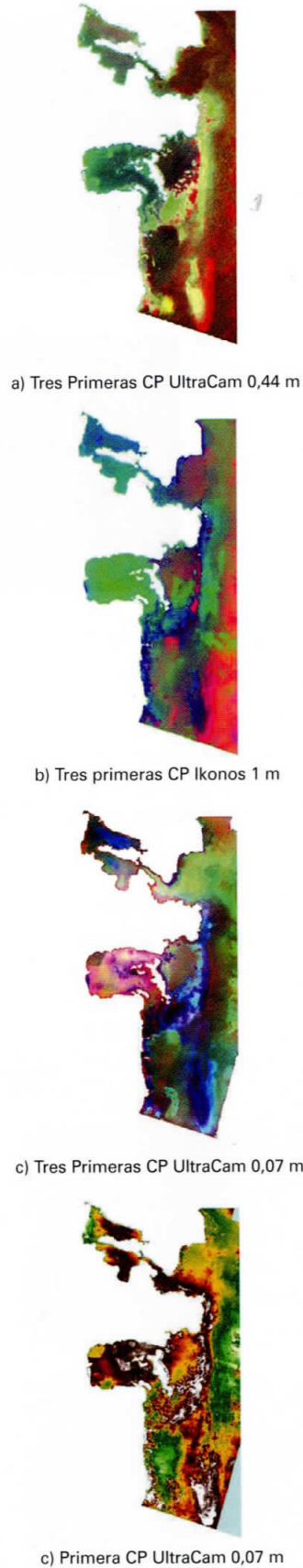
Con esta técnica se elimina la correlación entre bandas, estas combinaciones se obtienen mediante métodos de álgebra lineal (Mather, 1976), que permiten comprimir y sintetizar las bandas originales creando nuevas bandas de salida. En otras palabras, la presencia de correlación entre estas bandas implica que hay redundancia en los datos, es decir, algo de la información se está repitiendo.

A partir de las cuatro bandas originales se generan tres componentes principales, los cuales son utilizados para la clasificación digital. En la Figura 4 se detalla el resultado de las tres primeras componentes para las tres imágenes, resultados que ayudan a clarificar las posibles coberturas sobre el área sumergida. Inicialmente, se diferenciaron seis (6) tonalidades que fueron corroborados con el es-

pecialista y la información de verificación en campo.

Los componentes vienen ordenados según el valor propio (*eigenvalue*) que es la dispersión o varianza representada sobre los nuevos ejes; es decir, la información que recoge cada componente (Díaz de Quintalbo, 2003). La sumatoria de todos los valores propios (de la dispersión) es igual al número de variables originales que, expresado como porcentaje, nos dirá cuál es el porcentaje de la variabilidad de la información original que mantenemos con cada componente. De esta manera, elegimos trabajar con los dos primeros componentes que explican el 96,79% y 98,80% de la información para las imágenes Ultracam de 0,44 m (Figura 4.a) e Ikonos (Figura 4.b) de 1 m, respectivamente y la primera componente para la imagen de 0,07 m (Figura 4.c y d) que explica el 94,34% de la varianza total para el área sumergida.

Figura 4. Resultado de componentes principales sobre el área sumergida para imágenes de IKONOS y Ultracam-D.



Valores propios

	VARIANZA	% ACUMULADO
CP1	3025.06	68.71
CP2	1235.79	96.79
CP3	128.03	99.69
CP4	13.44	100.00

Valores propios

	VARIANZA	% ACUMULADO
CP1	91584.3	78.86
CP2	23162.75	98.80
CP3	1238.01	99.87
CP4	151.2	100.00

Valores propios

	VARIANZA	% ACUMULADO
CP1	1826.42	94.34
CP2	84.11	98.68
CP3	25.53	100.00

Clasificación no supervisada

Es un proceso automatizado para encontrar clústers puntuales en un espacio dimensional, usando únicamente un subconjunto de la imagen satelital completa, para luego decidir a qué clase pertenece cada píxel con base en la distancia que lo separa del centroide más cercano (Swain y Davis, 1978), para realizar este proceso se consideran las tres primeras componentes.

Esta clasificación se realizó utilizando el método ISODATA para las tres primeras componentes. Se propone un intervalo de cuatro clases con un número máximo de diez iteraciones, un mínimo de 10 píxeles por clase, una desviación estándar de 1,5 y una distancia euclidiana por clase de 3 unidades.

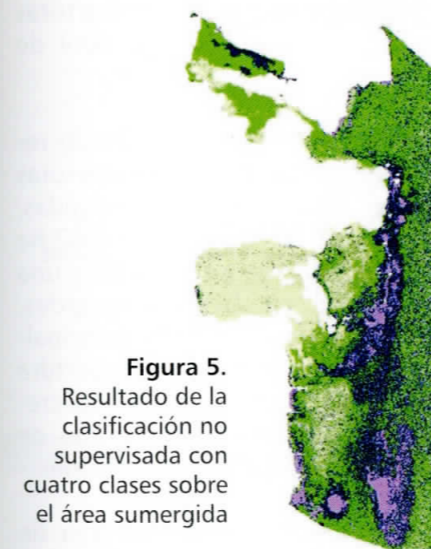


Figura 5. Resultado de la clasificación no supervisada con cuatro clases sobre el área sumergida

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Este índice considera los cambios abruptos y característicos de la reflectancia de la vegetación en el infrarrojo cercano y de la absorción de la misma en la región roja del espectro electromagnético.

Al ser un índice normalizado su intervalo de variación oscila entre -1 y 1, así,

las áreas con vegetación densa presentan valores positivos del NDVI, mientras que los cuerpos de agua presentan una tendencia a valores negativos (Justice et ál., 1985; Batista et ál., 1997, Gilabert et ál., 1997).

$$NDVI = (I_{IR} - I_R) / (I_{IR} + I_R).$$

Ecuación del NDVI

Los NDVI se agrupan en clases y se les asigna un color que permite resaltar con claridad especies de las unidades de cobertura. Un ejemplo de los resultados en las áreas emergidas y sumergidas se pueden observar en la Figura 6.

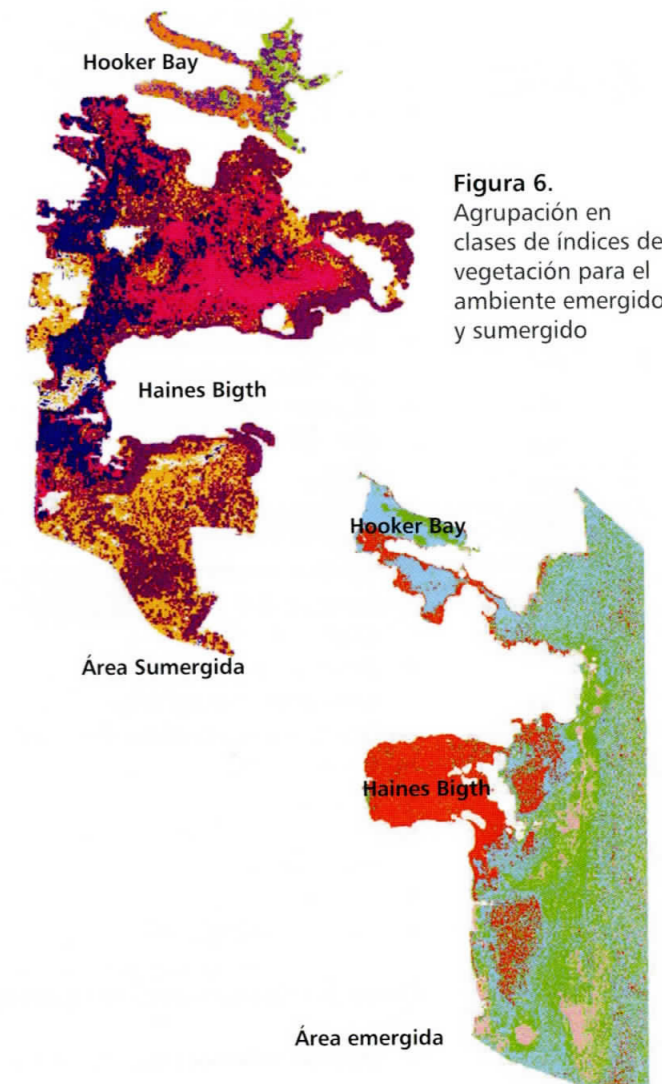


Figura 6. Agrupación en clases de índices de vegetación para el ambiente emergido y sumergido

Vectorización y clasificación de la imagen

Con base en el trabajo de verificación de cobertura vegetal realizado en campo, donde se ubican agrupaciones de especies, se registran posiciones geográficas con el uso de GPS, se anotan características relevantes y se toman fotografías, se procedió a definir en detalle las clases y a delimitar vectorialmente cada una de las unidades.

De tal forma, se definen a partir de los resultados del procesamiento de las imágenes y con la interpretación de los especialistas las siguientes clases de cobertura, sobre la imagen del sensor UltraCam-D, incluyendo a cada polígono la composición de los tipos de especies predominantes.

Clases de cobertura ambiente emergido

- Área construida
- Bosque de Rhizophora mangle (Rm)
- Bosque mixto dominado por Rhizophora mangle (Rm)
- Bosque mixto de Rhizophora mangle (Rm) y Conocarpus erectus (Ce)
- Bosque mixto de Rhizophora mangle (Rm) y Avicennia germinans (Ag)
- Bosque de Avicennia germinans (Ag)
- Bosque mixto de Laguncularia racemosa (Lr) y Avicennia germinans (Ag)
- Bosque mixto dominado por Avicennia germinans (Ag)
- Bosque de Conocarpus erectus (Ce)
- Bosque seco
- Laguna
- Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales
- Pastos y rastrojos
- Suelo desnudo

Clases de cobertura ambiente sumergido

- Arenas coralinas con fondo vegetado

- Macroalgas no calcáreas
- Macroalgas no calcáreas y detritos de manglar
- Pastos marinos
- Pastos marinos y macroalgas calcáreas
- Pastos marinos y macroalgas no calcáreas
- Pastos marinos, macroalgas calcáreas y no calcáreas
- Sin cobertura vegetal

Análisis multitemporal

Con base en la interpretación y caracterización vectorial de la imagen del 2007 se vectoriza los cambios de cobertura sobre la imagen con menor resolución del 2002.

La Tabla 3 presenta los cambios de área de cada una de las coberturas entre diciembre de 2002 y abril de 2007.

El análisis multitemporal (Tabla 3) resalta algunos cambios en coberturas de áreas emergidas y sumergidas, destacándose un aumento de 0,82 ha para el total de áreas emergidas y una pérdida igual en áreas sumergidas. Este incremento está dado principalmente por el aumento en la cobertura de Bosque de Rm (1,27 ha) el cual crece en la franja costera o en zonas de poca profundidad al interior del mar.

Es importante la pérdida en área de Mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales (la mayor disminución en cobertura emergida), como consecuencia de los impactos generados por diversas actividades antrópicas que ocasionaron un severo deterioro paisajístico, contaminación y pérdida de cobertura vegetal debido a los vertimientos de desechos de hidrocarburos, polución térmica e inadecuada disposición de residuos sólidos, tala selectiva, incendio y relleno sistemático (García y Hudgson, 1997); no obstante, el incremento en Pastos y rastrojos y Bosque de Rm evitan

Tabla 3.

Cálculo de áreas y cambios en las clases de coberturas de Old Point Regional Mangrove Park de 2002 a 2007. Valores en hectáreas.

AMBIENTE	COBERTURA	ÁREA 2002 (IKONOS)	ÁREA 2007 (ULTRACAM)	CAMBIO DE ÁREAS	
Emergido	Área construida	38,41	39,05	0,63	
	Bosque de Ag	0,74	0,74	0,00	
	Bosque de Ce	0,62	0,62	0,00	
	Bosque de Rm	19,10	20,38	1,27	
	Bosque mixto de Lr y Ag	0,21	0,25	0,04	
	Bosque mixto de Rm y Ag	0,97	0,97	0,00	
	Bosque mixto de Rm y Ce	1,20	1,25	0,05	
	Bosque mixto dominado por Ag	20,14	20,34	0,20	
	Bosque mixto dominado por Rm	10,00	9,54	-0,46	
	Bosque seco	1,12	1,12	0,00	
	Laguna	0,44	0,44	0,00	
	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	23,62	20,76	-2,86	
	Pastos y rastrojos	0,54	3,13	2,60	
	Suelo desnudo	0,12	0,12	0,00	
Zonas de inundación	0,82	0,15	-0,66		
Total área emergida		118,06	118,88	0,82	
Sumergido	Arenas coralinas con fondo vegetado	7,21	7,21	0,00	
	Macroalgas no calcáreas	0,32	0,32	0,00	
	Macroalgas no calcáreas y detritos de manglar	1,66	1,64	-0,02	
	Pastos marinos	126,51	126,38	-0,13	
	Pastos marinos y macroalgas calcáreas	20,75	20,45	-0,30	
	Pastos marinos y macroalgas no calcáreas	6,62	6,56	-0,06	
	Pastos marinos, macroalgas calcáreas y no calcáreas	1,95	1,95	0,00	
	Sin cobertura vegetal	8,49	8,17	-0,32	
	Total área sumergida		173,50	172,67	-0,82
	Total área interpretada		291,55	291,55	0,00
			Aumento mayor a 0,4 ha		
			Pérdida mayor a 0,4 ha		

dencian revegetalización natural y la recuperación parcial del sistema.

Es de resaltar que el aumento en área construida (0,63 ha) no ha afectado en gran medida coberturas de bosque de manglar, sino que ha disminuido áreas de mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales (Tabla 3).

Al existir un incremento del área emergida por el crecimiento de Bosque de

Rm, la dinámica en el ambiente sumergido varía, siendo necesaria la evaluación y monitoreo del estado de cada uno de los ambientes.

Estructuración de la información en el SIG

La información se encuentra almacenada en formato geodatabase de ArcGIS, que permite el almacenamiento físico

de la información geográfica, dentro una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos. A las capas

temáticas de clasificación de cobertura se les asocia una base de datos con algunos atributos (Tabla 4).

Tabla 4.
Descripción de campos de la capa de cobertura

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Ambiente	Especifica si el ambiente es emergido o sumergido
Cobertura	Nombra la unidad de cobertura
Composición	Describe las especies que componen el tipo de unidad de cobertura
Facies	Describe el conjunto de sedimentos que pueden ser definidos y separados por otros, por su geometría, litología y estructura sedimentaria y fósiles asociados.
Área	Presenta el área en hectáreas

Resultados

Con la interpretación de las imágenes mediante las técnicas descritas, se lograron generar mapas de cobertura del año 2007, mapa de cobertura del año 2002, con su respectivo análisis cuantitativo de cambio de áreas y el mapa de facies sedimentarias a escala 1:7500.

Esta cartografía es la base para ubicar espacialmente los planes propuestos de manejo y recuperación de Old Point Regional Mangrove Park como son: Control de residuos y vertimientos desde el puerto (aceites, gases), control de las áreas donde se depositan residuos generados por el dragado, recuperación de la bahía Hooker deteriorada por la contaminación generada por vertimientos de los desechos de granjas y áreas urbanas; monitoreo del estado de los pastos marinos, monitoreo del estado de los manglares; planes de socialización y capacitación principalmente a los habitantes de los barrios aledaños, industriales y hotele-

ros y a toda la comunidad de la Isla sobre la importancia del parque regional y su responsabilidad en la preservación de los recursos; promoción de los bienes y servicios ambientales del parque, y finalmente el control del tránsito marítimo.

Conclusiones

Se da un paso importante en Colombia cuando se cuenta con la tecnología para producir datos propios y no depender de la disponibilidad de sensores satelitales y del cubrimiento de nubes. Estos datos deben usarse para mitigar el deterioro de nuestras áreas costeras que contienen algunos de los más diversos ecosistemas como los manglares, arrecifes coralinos y pastos marinos.

Para realizar la caracterización espacial de los ecosistemas costeros y marinos y el análisis de cambios multitemporales de Old Point Regional Mangrove Park,

fue muy importante contar con información detallada de la imagen UltraCam-D adquirida y ortorrectificada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la imagen satelital Ikonos donada por GeoEye; ya que se monitorearon los cambios en los ecosistemas debido a impactos antrópicos; como también, la obtención de información detallada para delimitar y cuantificar espacialmente la composición de tipos de cobertura en áreas emergidas y sumergidas.

Con estas imágenes se puede soportar la identificación a escalas muy detalladas la composición de los ecosistemas de manglares, pastos marinos, macroalgas, fondos vegetados y bosque seco y reconocer la posición geográfica de los sitios donde deben llevarse a cabo las propuestas de manejo de Old Point Regional Mangrove Park, como también evaluar las variables adecuadas para indicadores ambientales y estado ecosistémico en su conservación, recuperación o deterioro.

El análisis de componentes principales, utilizado como técnica preclasificatoria, facilita reconocer patrones definidos para detallar los pastos marinos y macroalgas, y la delimitación de las coberturas sumergidas se realiza con la calidad de la imagen de 0,07 m de resolución a profundidades someras, sin necesidad de realizar correcciones atmosféricas o de la columna de agua.

El primer componente principal de la imagen de alta resolución adquirida por el IGAC explica el mayor grado de variabilidad para el ecosistema sumergido, permitiendo la delimitación de cada una de las clases. Esto nos indica, que los trabajos de procesamiento sobre las imágenes del sensor UltraCam-D se simplifican a la hora de capturar características de los cuerpos de agua.

Los índices NDVI permiten realzar las cubiertas vegetales y diferenciar tipos

de especies, a través del contraste que presenta la reflectividad de la vegetación entre el infrarrojo cercano y el rojo.

A la vez, el análisis de información multitemporal permite evaluar el grado de afectación de los ecosistemas y generar programas de seguimiento y estrategias de conservación a nivel predial.

No cabe duda de las ventajas de los productos del sensor UltraCam-D en cuanto a la facilidad de chequear los resultados en el lugar de toma, su alta resolución espectral, y la ausencia de procedimientos intermedios de laboratorio o escaneo. Estas ventajas significativas son muy efectivas en el momento en que ocurren derrames, incendios forestales, inundaciones y prevención de catástrofes, entre otras.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la administración de la Corporación de Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA) por la cofinanciación y apoyo en el trabajo en campo a través del convenio interadministrativo 010/2007 con INVEMAR, cuyo objetivo fue aunar esfuerzos para mejorar el nivel de conocimiento de los procesos de evaluación, monitoreo, investigación y generación de información para la promoción de bienes y servicios ambientales del Parque Natural Regional Old Point de San Andrés y en el área marina protegida influenciada por las cuencas en ordenación en la isla de Providencia.

Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) por la cesión de las imágenes adquiridas sobre la Isla de San Andrés a través de la cámara UltraCam-D y a la compañía GeoEye por la donación de la imagen satelital Ikonos.

Bibliografía

- AGUIRRE GÓMEZ, R. y Morales, M.L. 2005. Análisis espectral del arrecife coralino de Cayos Arcas, Campeche, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN0188-4611, Núm. 57, 2005, pp. 7-20. Disponible en línea: www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol57/b57art1.pdf. Consultado en: Junio de 2008
- BATISTA, G.T., E. Shimabukuro y W.T Lawrence. 1997. "The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonia region of Northern Brazil using NOAA-AVNRR data". *International Journal of Remote Sensing*, vol (18), pp 3195-3210
- CORALINA. 2001. Plan de Manejo de las Áreas Marinas Protegidas. Parte I. Disponible en línea
- CHUVIECO, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid, Ediciones Rialp S.A. 3ª edición revisada, 567 pp.
- DÍAZ DE QUINTALBO, E. 2003. Análisis de Componentes Principales. Disponible en línea: <http://materialdesaludpublica.iespana.es/>
- GARCÍA, E.M. y R. Hugdson 1997. Demarcación, recuperación y conservación de los manglares del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Informe Final 1997. CORALINA. San Andrés. 177. p.
- GILBERT, M.A., González-Piqueras y J. García Haro. 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*, Vol (8), pp 35-45
- INVEMAR. 2001. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2000. Serie documentos generales · 3. Santa Marta, 138 p.
- INVEMAR. 2008. "Actualización de la cartografía existente del Parque Regional Old Point". Informe técnico del convenio inter-administrativo 010/2007 entre CORALINA e INVEMAR.
- JUSTICE, C.O, J.R.G Townshend, B.N. Holden y J. Yucker. 1985. Analysis of phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol (6), pp. 3-14.
- LEBERL, F y M. Gruber 2003. Flying the New Large Format Digital Aerial Camera Ultracam. Disponible en línea: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/gruber.pdf>
- LENCINAS, J.D. y Mohr D. 2002. Estimación de clases de edad de las plantaciones de la provincia de Corrientes, Argentina, con base en datos satelitales Landsat. ISSN 0717-9200 versión on-line.
- LYZENGA, D.R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow waters using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2, pp. 71-82..
- MATHER, P. 1976. Computational methods of multivariate analysis in physical geography, Wiley, Chichester.
- RICHTER, R. 2001. Atmospheric and Topographic Correction: Model ATCOR3, DLR-Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Wessling, Deutschland.
- SWAIN, P.N. y S.M. Davis. 1978. Remote Sensing: the quantitative approach, McGraw Hill, New York.
- Tutiempo Network. 2008. Datos climáticos históricos de San Andres Isla / Sesquicentenario registrados durante el año 2002 y 2007, con medias mensuales y datos ampliados para un día. Disponible en línea: http://www.tutiempo.net/clima/San_Andres_Isla_Sesquicentenario/2002/800010.htm. Consultado en mayo 2008.

3

Cartografía tridimensional de precisión de las zonas costeras, insumo básico para cuantificar impactos locales por ascenso del nivel del mar en el contexto del cambio climático

Cartografía tridimensional de precisión de las zonas costeras, insumo básico para cuantificar impactos locales por ascenso del nivel del mar en el contexto del cambio climático

Álvaro Martínez Sanabria¹

Resumen

El calentamiento del planeta ha dejado de ser un planteamiento teórico para convertirse en una realidad que no puede pasar desapercibida ante la mirada indiferente de la población mundial y que afecta directamente a cada ser vivo.

El aumento de la temperatura de las aguas, como consecuencia del calentamiento global, tiene efectos expansivos, situación que sumada al derretimiento continuo de los casquetes polares y glaciales, motivan un incremento del nivel mar, que amenaza directamente islas, islotes, cayos y zonas costeras bajas, integralmente con las actividades que en ellas se desarrollan.

En el gobierno colombiano existe preocupación por los efectos del cambio climático en el territorio insular, costero y continental, especialmente por la incertidumbre de las magnitudes de sus impactos a

escalas regionales y locales que permitan, desde ya, determinar líneas de acción articuladas a todos los niveles del gobierno que identifiquen medidas de "Adaptación" para proteger la vida de los pobladores y sus actividades.

Este artículo muestra el papel que desempeña la tecnología LIDAR, como proveedor de datos de precisión, para la recreación de escenarios de inundación por ascenso del nivel del mar en las zonas costeras y los usos potenciales de los diferentes productos en la gestión del riesgo y ordenamiento del territorio que han sido socializados en diversos talleres regionales de sensibilización del Cambio Climático.

Palabras clave:

Cambio Climático, Escenarios de Inundación, Percepción Remota, Zona Costera, Dirección General Marítima, Gestión del Riesgo, LIDAR.

¹ Ingeniero Catastral y Geodesta, Especialista en SIG División de Litorales y Áreas Marinas. Dirección General Marítima DIMAR. Ministerio de Defensa Nacional. Carrera 54 No. 26 - 50 Of. 102 CAN Bogotá, D.C. - Colombia. PBX: 2 200490 Fax: 2200490 ext. 2702 amartinez@dimar.mil.co



Abstrac

The global warming has left to be a theoretical approach to be become a reality. This reality cannot pass unnoticed to the indifferent watch of the world population, because it affects directly to each alive creature of this planet.

The temperature increasing of the water, as a result of the global warming, has expansive effects, situation that added to the continue melting of the glacial and polar caps, increase the level of the sea, that threatens directly to islands, small islands, keys, and low coastal zones, integrally with the developed activities in that areas.

Inside of the Colombian government, national worry exists, by the effects of the climatic change in the continental, coastal, and insular territory, especially by the uncertainty of the magnitudes of their impacts to local and regional scales, that

permit since now, to determine courses of action articulated to all the levels of the government, that identify measures of "Adaptation" to protect the life of the population and their activities.

This presentation, shows the role that performs the LIDAR technology, as a accurately data supplier, for the flood settings recreation by ascent of the sea level in the coastal zones, and the potential uses of the different products in the management of the risk and planning of the territory. All products have been socialized in diverse regional workshops of sensitizing of the Climatic Change around our country.

Keywords:

Climatic Change, Flooding scenarios, Remote Sensing, Coastal Zone, General Maritime Direction, Risk Management, LIDAR.

Introducción

El calentamiento global es un tema de interés general que no puede pasar desapercibido ante la mirada indiferente de la población mundial, teniendo en cuenta que afecta directamente a cada ser vivo de este planeta, sin reconocer diferencias en ubicación geográfica, afinidad política, religión, actividad económica, estrato, profesión, edad y género. Hoy, el cambio climático es "Una Verdad Incómoda" como acertadamente lo ha llamado Al Gore.

Científicos que durante años han investigado, analizado y medido constantemente el clima mundial y sus tendencias, coinciden en la existencia de un evidente calentamiento de nuestro planeta, lo cual resulta altamente preocupante y más aún cuando los expertos también coinciden en la "incertidumbre" de sus efectos, considerando como escasa la información de precisión existente en diversas variables, que permiten determinar milimétricamente las tasas y magnitudes de cambio que afectarán a cada sector y/o habitante.

Efectos inciertos se suman exponencialmente a otros efectos y variables inciertas. Por ejemplo, los patrones de lluvia y viento que han prevalecido durante cientos y miles de años y que han permitido la permanencia y subsistencia del hombre en el planeta, podrían cambiar. Así mismo, un pequeño cambio en el contenido de calor en los océanos redundará en un cambio aproximadamente 30 veces mayor en la atmósfera, siendo posible inferir que cambios mí-

nimos en el mar pueden influir considerablemente en el clima y temperatura global.

Las gestiones que al respecto adelanta el Gobierno Nacional requiere, de la participación decidida de los diferentes actores y especialmente de los aportes de las entidades técnicas y centros de investigación científica que permitan tomar las mejores decisiones para el país, utilizando tecnologías de geoinformación que ofrezcan información de precisión, para aumentar la confiabilidad de las estimaciones que al respecto se realicen.

Materiales y métodos

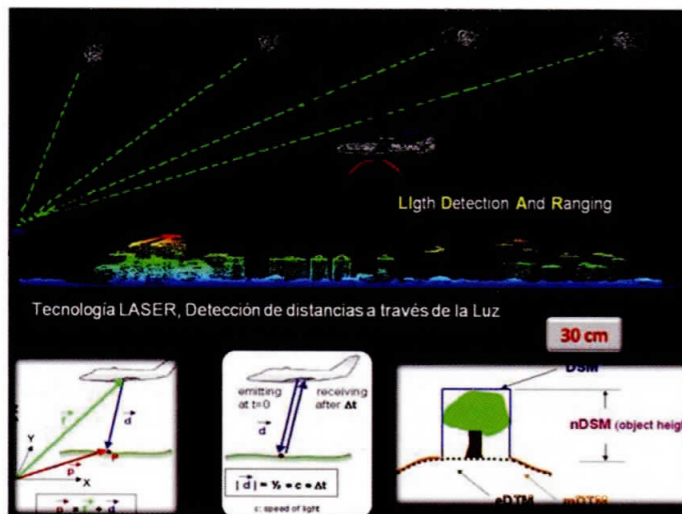
El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a través de la Oficina de Cambio Climático y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), realizan importantes gestiones en el contexto nacional e internacional, relacionado con el cambio climático. En el marco de la "Segunda Comunicación Nacional" y de la estrategia de educación, formación y sensibilización de públicos sobre el cambio climático en Colombia, han creado el sitio web www.cambioclimatico.gov.co; que facilita el acceso a la información y crea capacidades nacionales en dicha temática. Actualmente, se prepara una propuesta de documento CONPES de Cambio Climático que definirá los elementos de política nacional para abordar integral y ordenadamente las gestiones nacionales en esta temática.

Figura 1.
Buque Oceanográfico
ARC Malpelo



Fuente:
Archivo Fotográfico
Centro de Investigaciones
Oceanográficas e
Hidrográficas (CIOH)

Figura 2.
Esquema básico
operación sensor LIDAR



Fuente:
elaboración propia /
División de Litorales y
Áreas Marinas - Dirección
General Marítima

Por su parte, la Dirección General Marítima (DIMAR), como "Autoridad Marítima Nacional", realiza importantes esfuerzos institucionales tendientes a fortalecer los diferentes programas de investigación científica que conforman su agenda investigativa, especialmente en los Programas de Oceanografía, Hidrografía, Protección al Medio Marino y Manejo Integrado de Zonas Costeras, garantizando la producción de información técnico-científica de precisión, que permita disminuir el grado de incertidumbre nacional que infiere el Calentamiento Global.

El clima, como indicador del calentamiento global, debe ser analizado bajo un enfoque integral que involucre entre otros aspectos la interacción Tierra - Atmósfera - Océano. En este sentido, las plataformas investigativas de DIMAR, conformadas por buques oceanográficos y personal altamente capacitado, realizan año tras año cruces oceanográficos, que permiten monitorear la temperatura de nuestros mares y su incidencia en las condiciones climáticas. (Figura 1.)

Por su parte, el Programa de Manejo Integrado de Zonas Costeras avanza decididamente en el mapeo tridimensional de las zonas costeras e insulares colombianas, utiliza tecnologías de punta para la obtención de cartografía de precisión como es el sensor (Ligth Detection And Ranging) LIDAR (Figura 2), a partir del cual se reconstruyen virtualmente las condiciones topográficas de las zonas mapeadas, permite la recreación de escenarios de inundación por aumento del nivel del mar e identifica zonas costeras bajas vulnerables ante cada escenario recreado.

Los resultados obtenidos y productos generados hablan por sí solos y se convierten en una importante herramienta de planeación para las autoridades locales y nacionales, permiten identificar geográficamente sobre un mapa, las zonas más susceptibles a sufrir inundaciones, ya sea por el aumento del nivel medio del mar o por el paso de un huracán, tormenta tropical, u otro fenómeno que, en cualquier caso, son materializaciones de la permanente interacción Tierra - Atmósfera - Océano.

El proceso de modelación implícito en la construcción de escenarios de inundación es técnicamente complejo y dispendioso, requiere de personal especializado en el manejo y procesamiento de los datos provenientes del sensor LIDAR y su integración con otras fuentes de datos georreferenciados. Las tareas implícitas en el proceso han sido desarrolladas por especialistas de la División de Litorales y Áreas Marinas de DIMAR, que incluye la generación de productos multimedia de fácil uso por usuarios no especializados (Figura 4), y otros para usuarios avanzados en la manipulación de datos geográficos a partir de geoservicios.

Resultados y discusión

- El cambio climático es una realidad, el mundo que conocemos hoy está cambiando. La velocidad, frecuencia y magnitud de cambio aumenta cada vez más rápido, la continuidad de la especie humana en el planeta depende de las decisiones que hoy se tomen. Si bien, Colombia no es uno de los países que emite mayor cantidad de CO₂, que acelera el cambio climático, si posee más de 3.000 kilómetros lineales de costa, y cerca del 50% de su territorio es marino; argumentos válidos que invitan a reflexionar y actuar, entendiendo el contexto global para

Figura 3.
Ejemplo mapa
tridimensional
elaborado con
datos LIDAR



Fuente:
Elaboración propia /
División de Litorales
y Áreas - Marinas
Dirección General
Marítima



Figura 4.
Escenario de
inundación
recreado para
el sector de
"El Laguito"
(Cartagena de
Indias D. T. y C.)

Fuente:
Elaboración
propia a partir de
datos altimétricos
obtenidos por
un sensor LIDAR.
División de Litorales
y Áreas Marinas -
Dirección General
Marítima

tomar medidas en lo local. (Hay que ver el bosque y no solo el árbol).

- Las organizaciones y/o entidades técnicas del orden nacional, regional y local deben aportar información técnica de precisión, como insumos que permitan alimentar los diferentes modelos que anticipen en alguna medida los posibles efectos del cambio climático en las zonas costeras colombianas. DIMAR entiende el problema y aporta información de precisión para el análisis de los posibles efectos del fenómeno en el contexto nacional, como los geodatos obtenidos en el marco del proyecto de mapeo tridimensional de

las zonas costeras colombianas y los numerosos datos obtenidos en los cruceros oceanográficos. En ambos casos, se aportan granos de arena institucionales que potencialmente pueden aportar en la identificación de acciones de adaptación ante el fenómeno, en las zonas costeras.

Bajo este mismo enfoque y con el fin de aportar en la difícil tarea de identificar los posibles efectos de la materialización del cambio climático en las zonas costeras colombianas, la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), cuya Secretaría es ejercida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), actualmente gestiona la publicación interinstitucional titulada "Impactos del ascenso del nivel del mar por el Cambio Climático, para el litoral del Departamento del Magdalena", la cual se enmarca en el plan de acción del Grupo de Observación de la Tierra y articula los importantes aportes de otras entidades del orden nacional, como la Oficina de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Comisión Colombiana del Océano (CCO), IDEAM, IGAC, INVE-MAR, Gobernación del Magdalena, Universidad del Magdalena, entre otras. Se espera que los resultados investigativos de esta iniciativa se presenten al país en el primer semestre del 2010.

- Cumpliendo con los compromisos institucionales adquiridos por la Dirección General Marítima en el marco de la "Primera Reunión Ordinaria de la Comisión Colombiana del Océano", celebrada el 2 de abril de 2009 y presidida por el Vicepresidente de la República, DIMAR ha venido apoyando la realización de talleres regionales de sensibilización respecto a las posibles consecuencias del cambio climático en las zonas costeras e insulares de la geografía nacional, los cuales han sido dirigidos especialmente a go-

bernadores, alcaldes y demás funcionarios encargados de planear estratégicamente el desarrollo de sus entes territoriales. (Figura 5).

Figura 5. Socialización escenario de inundación recreado para áreas urbanas de Santa Marta, D.T.C. e H.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos altimétricos obtenidos por un sensor LIDAR. Primer Taller Regional de Sensibilización del Cambio Climático - CCO. División de Litorales y Áreas Marinas - DIMAR

La DIMAR ha presentado algunos de los productos que desarrolla la División de Litorales y Áreas Marinas, relacionados con la recreación de escenarios de inundación para las zonas costeras, utilizando la información resultante del proyecto de mapeo tridimensional de las costas con tecnología LIDAR, los cuales permiten visualizar las áreas inundables, a partir de la construcción de una realidad virtual, que reconstruye la topografía de las áreas de interés y sus coberturas, gracias a las bondades ofrecidas por software especializado

en el procesamiento y manipulación de datos tridimensionales.

Conclusiones

- Los eventos de inundación son considerados como el riesgo natural con mayor incidencia e impacto en el ámbito social y económico de una región. El análisis y estudio detallado del comportamiento de las áreas inundables, así como el índice de vulnerabilidad de las poblaciones potencialmente afectadas requiere de cartografía de precisión que permita anticipar las consecuencias de su materialización. La vocación de uso de la información espacial obtenida a través del uso de un sensor LIDAR, sin duda aporta a la consecución de este objetivo.
- DIMAR ha enfatizado en la importancia de reconocer las zonas costeras e insulares como áreas de "Alto Riesgo", por ser propensas a sufrir inundaciones por efectos del ascenso del nivel medio del mar, o por fenómenos meteorológicos tales como tormentas y huracanes que cada año aumentan su frecuencia e intensidad y que causan grandes

daños materiales en el litoral, afectando las infraestructuras portuarias, turísticas, industriales, viales y demás coberturas y actividades que sobre ella se desarrollan.

- Las iniciativas que en este sentido adelanta la entidad solo pretenden aportar a las iniciativas del orden nacional que lidera el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, a través de la Oficina de Cambio Climático y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- La Vicepresidencia de la República ha resaltado la importancia del trabajo técnico que desarrolla DIMAR y ha enfatizado en la necesidad de articular la gestión del riesgo en las zonas costeras y los bienes de uso público con los Planes y Esquemas de Ordenamiento Territorial, de los municipios costeros. Así mismo, se hace un llamado a los gobernantes regionales y locales para empezar a tomar decisiones a nivel país, que permitan en el mediano y largo plazo la adaptación de las zonas costeras del territorio colombiano, para enfrentar los efectos del cambio climático.

Referencias Bibliográficas

- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉS"
- INVEMAR. Programa holandés de asistencia para estudios en cambio climático: Colombia. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe continental, Caribe Insular y Pacífico), y medidas para su adaptación. Informe Técnico No. 1. Santa Marta. 2003.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. Vulnerabilidad y adaptación de la zona costera Colombiana al ascenso acelerado del mar. Bogotá, D.C., diciembre, 200.

www.cambioclimatico.gov.co

www.ipcc.ch Intergovernmental Panel on Climate Change.

4

Evolución de médanos costeros del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, Caribe colombiano

Evolución de médanos costeros del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, Caribe colombiano

Andrés Felipe Carvajal Díaz¹, Fernando Afanador Franco², Johanna Paola Echeverry Hernández³.

Resumen

En este artículo se presentan los diferentes resultados procedentes de la caracterización morfométrica tridimensional y la evolución de los sistemas de médanos en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca (Departamento del Atlántico) en el Caribe colombiano. Los análisis efectuados incluyeron una estimación de los cambios superficiales de los médanos (4.238 m/año de retroceso) que tuvieron lugar en los años 2005 y 2008 con base en la información del terreno (MDT) obtenida con el sensor LIDAR, así como una evaluación de la tasa de retroceso de la línea de costa calculada con base en fotografías aéreas del año 1961 y el ortofotomosaico del año 2008 (5.70 m/año). Por último, se realizó una estimación del volumen de arena correspondiente a los médanos activos en un sector específico para los años 2005 y 2008 y se cuantificó el balance volumétrico mediante una diferencia de MDT.

Palabras clave:

Médanos, Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, LIDAR, MDT, SIG.

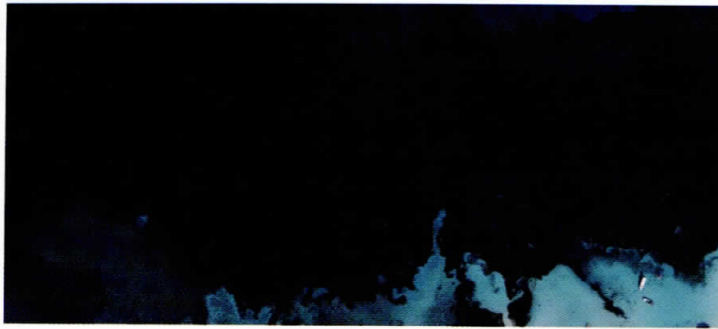
Abstract

In this paper the different results coming from the three-dimensional morphometric characterization and the evolution of the médanos systems in the Salamanca Island National Natural Park (Atlantic department) in the Colombian Caribbean are presented. The made analyses included an estimate of the superficial changes of the medanos (4.238 m/year of retreat rate) that had place in the years 2005 and 2008 based on the terrain information (DTM) obtained with the LIDAR sensor, as well as an evaluation of the retreat rate of the coast line based on aerial photographs of 1961 and the orthophotomosaic of 2008 (5.70 m/year). Finally, was carried out an estimate of the sand volume corresponding to the active medanos in a specific sector for 2005 and 2008 and the volumetric balance was quantified through a DTM difference.

Key words:

Medanos, Salamanca Island National Natural Park, LIDAR, DTM, GIS.

1 andresfcarva@hotmail.com Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH. Barrio Bosque, Sector Manzanillo, Escuela Naval “Almirante Padilla”, Cartagena, teléfono: (5) 6694104 Ext. 112.
2 fafanador@dimar.mil.co, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH. Barrio Bosque, Sector Manzanillo, Escuela Naval “Almirante Padilla”, Cartagena, teléfono: (5) 6694104 Ext. 112.
3 paolechhe@gmail.com, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH. Barrio Bosque, Sector Manzanillo, Escuela Naval “Almirante Padilla”, Cartagena, teléfono: (5) 6694104 Ext. 112.



Introducción

El sistema de médanos activos del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca (sector Bocas de Ceniza) no ha sido objeto de estudios detallados relacionados con su formación y evolución, de tal forma que permitan entender la naturaleza y características de estos terrenos. Además, el estudio y análisis cuantitativo del sistema de médanos costeros es un elemento fundamental para el entendimiento de la dinámica litoral, ya que constituye una defensa natural ante el ataque del oleaje y las corrientes.

Por estas razones y dado que la mejora y generalización de diferentes fuentes de información geográfica (aerofotografías digitales y escaneo láser, especialmente), así como de herramientas para su tratamiento, han supuesto un significativo relanzamiento y una importante renovación de los estudios del medio físico y, particularmente, de aquellos que tienen como escenario las zonas costeras [1], [2], [3], se adelantó la presente investigación. Gran parte de estos avances guardan relación con la tradicional pobreza, tanto en número como en calidad de las fuentes de información disponibles para estos entornos. En el caso concreto de los médanos costeros, los problemas vinculados a las fuentes de información espacial tradicionales, pueden resumirse en tres aspectos fundamentales [4]:

- Problemas para el cubrimiento de grandes extensiones en sistemas que suelen requerir de tratamientos integrales desde el punto de vista espacial.

- Problemas vinculados a la precisión geométrica, sobre todo en el caso de la variable altura, en formaciones donde la escala de detalle es fundamental.
- Problemas vinculados a la actualización de la información, al ser sistemas de un gran dinamismo.

Área de Estudio

El Parque Nacional Natural Isla de Salamanca se encuentra ubicado entre los departamentos de Atlántico y Magdalena, en el Caribe colombiano (figura 1) con una extensión en su línea de costa de 66.7 km. Geográficamente, se encuentra entre las coordenadas 11°06'18.43" y 10°59'26.432" latitud Norte y entre los 74°50'56.231" y 74°17'32.566" longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Los médanos mejor desarrollados en todo el parque se presentan como montículos arenosos agrupados de forma alargada y paralelos a la dirección prevaleciente del viento (noreste). Se encuentran limitados hacia el mar por las playas y se extienden hasta el continente, a través de zonas inundables y ciénagas, que se amontonan frente al manglar.

En este sector se presentan médanos de sombra que se forman por acumulación de arenas detrás de un obstáculo vegetal, permitiendo su crecimiento a sotavento de aquella. El frente de manglar constituye el obstáculo al avance de las dunas, provocando mayor acumulación de arenas frente al mismo y

es el lugar donde su altura máxima es de 1.5 m [5].

Una faja pequeña de médanos activos son formados debido a un obstáculo vegetal que bordea toda la costa del parque destacándose grandes médanos estabilizados en el sector oriental adyacente a la ciénaga Cuatro Bocas, las cuales alcanzan alturas de hasta 5 m; se trata de médanos de tipo parabólico longitudinal,

limitados hacia el interior por llanuras de manglar muerto, indicando que se desarrollaron como un amontonamiento de arena contra el frente costero del manglar, penetrando como grandes lenguas en las partes más débiles del último. Principalmente, se encuentran como un cinturón de médanos estabilizados que bordean la línea de costa y retroceden junto con ella, por efectos de la erosión marina [6], [7].

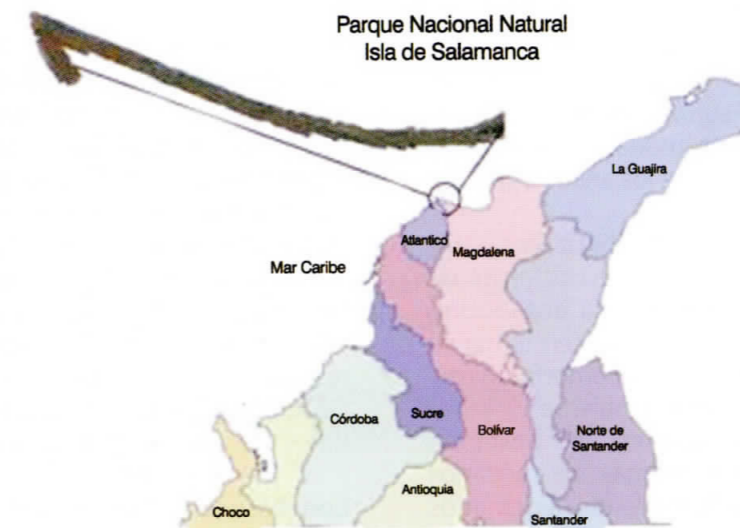


Figura 1. Localización nacional del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, entre los departamentos de Atlántico y Magdalena, Caribe colombiano.

Metodología

Planteamiento del problema

Debido a la necesidad de identificar de forma clara y exacta los procesos naturales que se desarrollan en el litoral del Departamento del Atlántico, se planteó como problema a resolver, la falta de información detallada sobre la evolución de los sistemas de médanos del Parque Nacional Natural Isla

de Salamanca en el Caribe colombiano, su formación, sus procesos y su dinámica, de tal forma que se cuente con suficientes elementos técnicos y científicos que permitan sustentar la naturaleza y características de estos terrenos para fines de control y administración por parte de la Autoridad Marítima Nacional. El resultado final de la investigación consistirá en una caracterización morfométrica tridimensional, así como el análisis de la dinámica sedimentaria volumétrica

de los sistemas de médanos en el área de estudio.

• Marco teórico

Los médanos costeros son formas terrestres eólicas que se desarrollan en la costa en situaciones en donde existe una amplia disponibilidad de sedimento suelto o no consolidado y que está disponible para ser transportado hacia el continente por el viento. Forman parte de la transición entre el mar y el continente y, normalmente, se encuentran distribuidos y asociados a playas arenosas, que producen un amplio rango de formas costeras relacionadas con cambios espacio-temporales en la disponibilidad de sedimento y el régimen de vientos [8]. Los principales factores que afectan el desarrollo de los campos de médanos y que influyen en su sucesión ecológica y geomorfológica, son los cambios temporales en el clima, cambios temporales en el mar, modificaciones en el suministro de arena y las variaciones causadas por la acción del hombre y de los animales [9].

Una de las más sobresalientes características de los ecosistemas de médanos es su amplia distribución y diversidad ecológica (en términos de dimensiones geomorfológicas, heterogeneidad ambiental y variabilidad de especies). No obstante, muchos ecosistemas de médanos han sido severamente degradados como resultado de una explotación excesiva de los recursos naturales, expansión demográfica caótica y crecimiento industrial [8].

El LIDAR (Light Detection And Ranging) o escaneo láser, es un sistema de sensoramiento remoto activo, que permite efectuar mediciones a distancia sobre la superficie terrestre, a partir de un sensor dispuesto en el interior de una aeronave. El sensor obtiene puntos tridimensionales (x, y, z), a partir de los cuales se pueden generar Modelos Digitales

de Elevación o del Terreno (MDE o MDT). La tecnología se basa en el principio LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que amplifica la luz por simulación de emisión y radiación.

Por otra parte, la fotografía aérea empleando cámaras digitales ha sido una técnica de sensoramiento relativamente reciente, que ha encontrado en la información obtenida con el sensor LIDAR, un buen nivel de complementación, especialmente para la modelación y análisis de terrenos. Sin embargo, la principal ventaja de la fotografía aérea digital es la representación pictórica de grandes extensiones del terreno, lo que facilita en gran medida, las labores de fotointerpretación y análisis del terreno por parte de los técnicos y profesionales de diversas áreas del conocimiento.

• Metodología de trabajo

La realización de la caracterización morfométrica tridimensional y el análisis de la evolución del sistema de médanos del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, sector de Bocas de Ceniza, se llevó a cabo utilizando ortofotografías digitales de los años 2005 y 2008, fotografías aéreas de años anteriores del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y datos del sensor LIDAR (figura 2).

Con base en los datos LIDAR filtrados correspondientes al terreno (suelo desnudo) se generan los correspondientes Modelos Digitales del Terreno (MDT) para los años 2005 y 2008. Dado que los datos LIDAR y las ortofotos digitales comparten el mismo sistema de referencia (datum MAGNA-SIRGAS, origen MAGNA-Central), se sobreponen digitalmente posibilitando, de esta manera, la visualización tridimensional del terreno, lo que constituye un valioso recurso para la interpretación geomorfológica de la zona de estudio.

Como primera cuantificación de la dinámica de los médanos de la zona de estudio, se utilizan los DTM de los años 2005 y 2008 y a través de las funciones del SIG (aplicación DSAS - Digital Shoreline Analysis System), el empleo del método de transectos y el ajuste por mínimos cuadrados, se establece la tasa de retroceso/avance de los frentes de médanos en el periodo 2005-2008.

Complementariamente y dada la disponibilidad de material aerofotográfico de años anteriores a

2005 (vuelo IGAC C-986 del año 1961), se georreferencia dicho material con base en las ortofotografías digitales de la zona de estudio y se efectúa un análisis comparativo del comportamiento de la posición de la línea de costa en el periodo 1961-2008. A través de la utilización, nuevamente, del método de transectos, se estiman las tasas de retroceso/avance de la línea de costa.

Adicionalmente, con base en los datos LIDAR de terreno y a través de las fun-

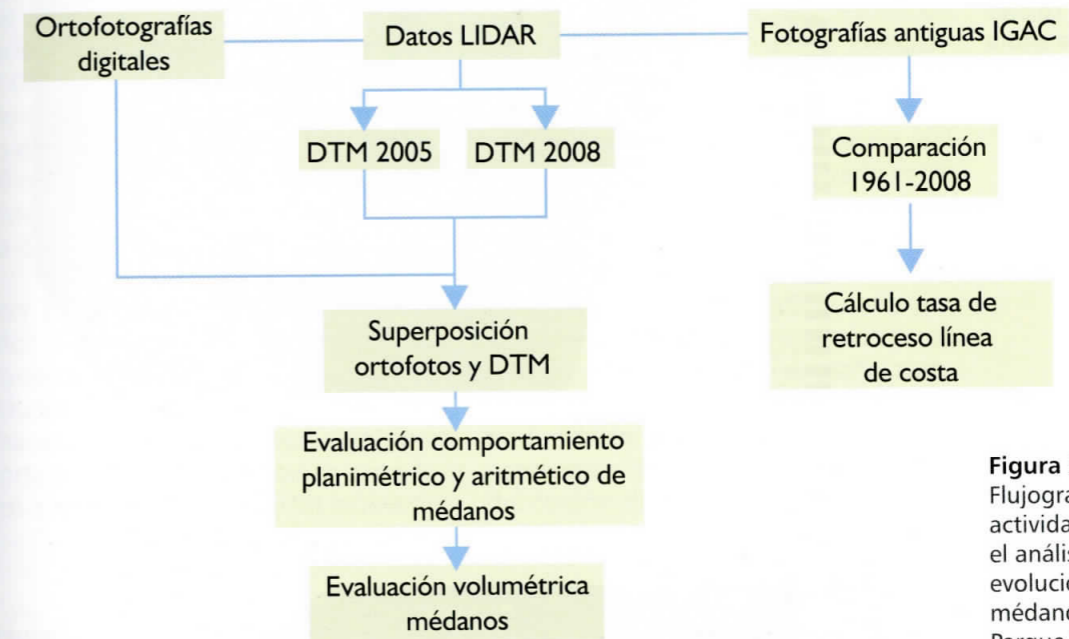


Figura 2. Flujograma de actividades para el análisis de la evolución de los médanos en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca.

ciones de análisis espacial del software MARS®, se efectúan perfiles altimétricos en sitios representativos del área de estudio, con el fin de evaluar el comportamiento de los médanos para los dos períodos de tiempo (2005 y 2008). Otra aplicación de la información, obtenida por el sensor LIDAR, consiste en la explotación directa de los MDT como fuente de información para el análisis volumétrico y diacrónico (balances sedimentarios de un área representativa de la zona de estudio).

Con ello, se obtiene una cuantificación volumétrica, esto permite apreciar el comportamiento de los médanos en dicho período. Para realizar este análisis, se establece un área representativa de la zona estudiada, se restringe el MDT sólo a los datos de terreno pertenecientes a esta, esto busca excluir los datos de otras geoformas y/o infraestructuras presentes en el terreno para llevar a cabo el cálculo del volumen de sedimento de médanos para dos años diferentes.

Resultados y discusión

La aplicación de la metodología propuesta en la presente investigación permitió, en primer lugar, la generación de los Modelos Digitales del Terreno del área de estudio para los años 2005 y 2008. Los ortofotomosaicos digitales

y los Modelos Digitales del Terreno se ilustran en las figuras 3 y 4. Los colores representan las diferentes alturas elipsoidales del terreno en el sector de estudio, mostrando en color rojo el rango correspondiente a las alturas de los médanos activos: -7 a -6.5 metros referidos al elipsoide WGS-84 (figura 5).

Figura 3. Modelo Digital del Terreno generado a partir de datos obtenidos por el sensor LIDAR en el año 2005. El rango de colores representa la altura elipsoidal del terreno en cada punto.

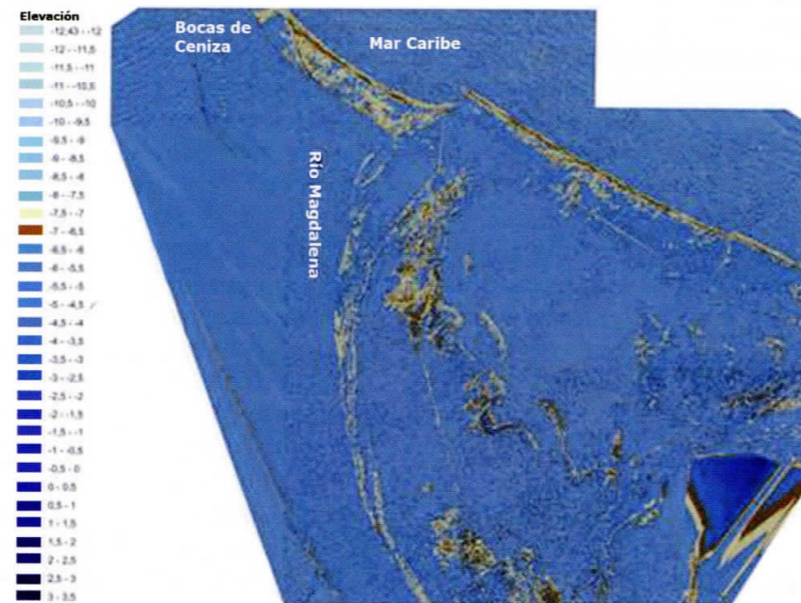
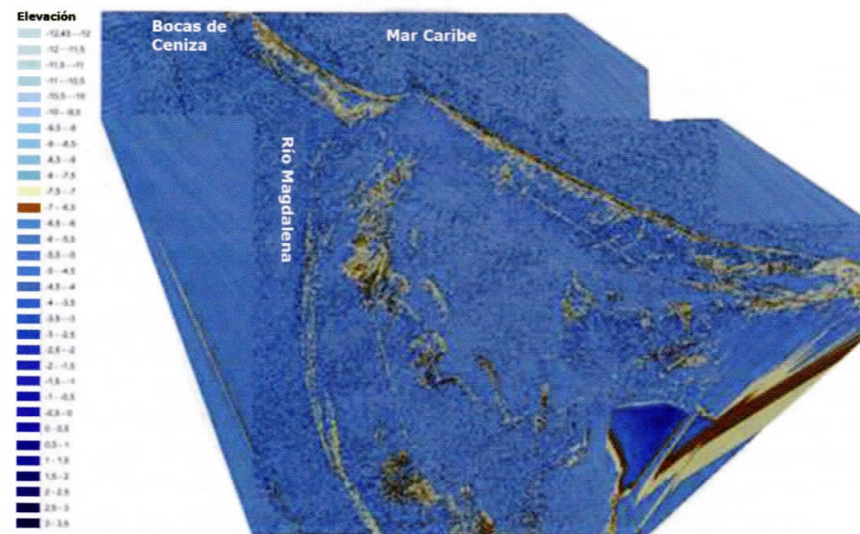


Figura 4. Modelo Digital del Terreno generado a partir de datos obtenidos por el sensor LIDAR en el año 2008. El rango de colores representa la altura elipsoidal del terreno en cada punto.



Al realizar las comparaciones y mediciones entre las distintas fechas, se efectuó una evaluación de las tasas de retroceso de los frentes de médanos en los dos años considerados (11 transectos a 50 m de separación entre cada uno de ellos) (Figura 6). La tasa de retroceso de los frentes activos para el período 2005 a 2008 fue de 4.238 m/año (Figura 7). Este hecho, generalizable a todo el sistema, es una de las señales más claras que apuntan hacia una progresiva ralentización de la dinámica de los médanos, cuyas causas están aún por determinar.

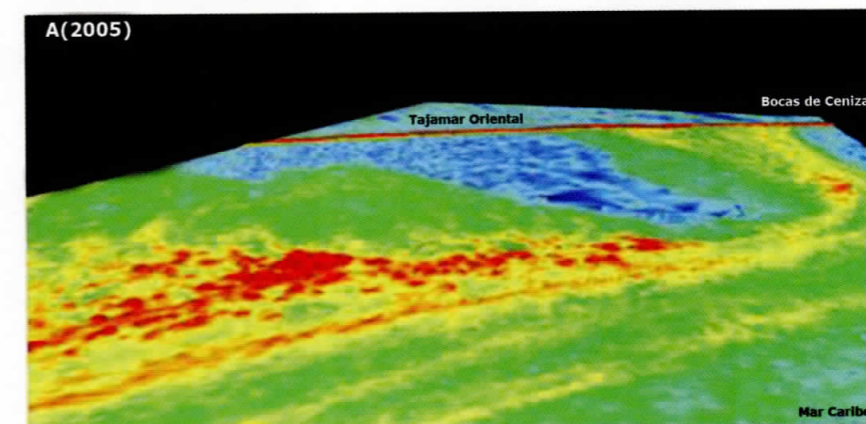
respectivamente, el comportamiento asimétrico de los dos años, en donde se observa que la máxima altura elipsoidal del cordón de médanos activos de dicho transecto fue de -6.47 m y de -6.56 m respectivamente (alturas elipsoidales referidas al WGS-84). La suma de ambos procesos se traduce en un estrechamiento general de los cordones de médanos. La Figura 9C muestra una síntesis de los procesos más generalizados en la evolución de los cordones de médanos. De manera complementaria, en la figura 10 se ilustran los resultados del análisis volumétrico en un sector específico del área de estudio.

Por otra parte, con base en la información proveniente del vuelo IGAC C-986 del año 1961, se efectuó una comparación con el ortofotomosaico del año 2008, lográndose un período de estudio de 47 años. Se cuantificó el retroceso de la línea de costa (41 transectos a 50 m de separación entre cada uno de ellos) debido a la fuerte dinámica marina del sector (5.70 m/año) (figura 8).

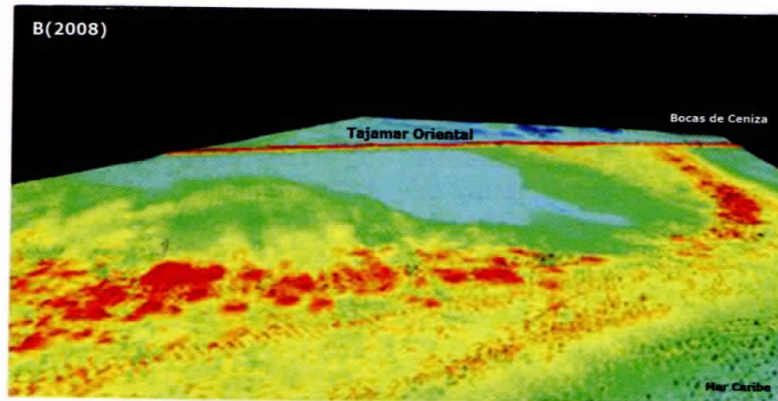
En este caso concreto, los resultados evidencian un cambio en el comportamiento de los médanos y de la línea de costa en el período estudiado. Este cambio supone una disminución del área de intercambio sedimentario entre las zonas de acumulación y las zonas de deflación. Las zonas de acumulación, en la parte superior de los médanos, sufren un estrechamiento causado por las tasas de retroceso de los frentes. Las zonas de deflación, por su parte, también muestran una reducción general, traducida en la mayor convexidad de las pendientes en las caras de barlovento del cordón de médanos.

Con base en los datos LIDAR de los años 2005 y 2008 se seleccionó un transecto representativo del área de estudio, en el cual se realizó un perfil altimétrico con el fin de evaluar el comportamiento de los médanos para los dos años. Las figuras 9A y 9B muestran,

Figura 5. A. Vista tridimensional de los datos LIDAR del año 2005



B. Vista tridimensional de los datos LIDAR del año 2008,



C. Superposición de las dos MDT sobre el ortofotomosaico del año 2008.

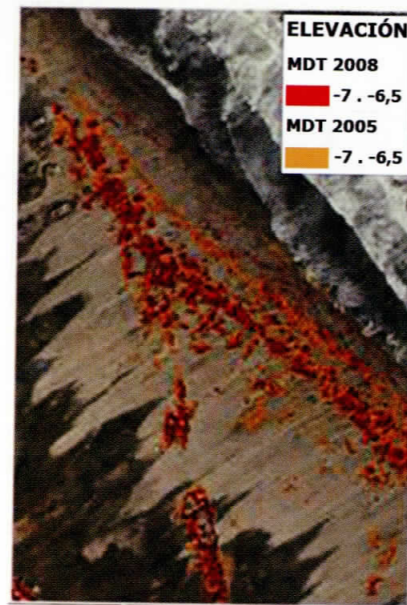


Figura 6.
A. Estado del frente de médanos activos y línea de costa para el año 2005 según el MDT y la ortofotografía del respectivo año, B. Estado del frente de médanos activos y línea de costa para el año 2008 según el MDT y la ortofotografía del respectivo año.

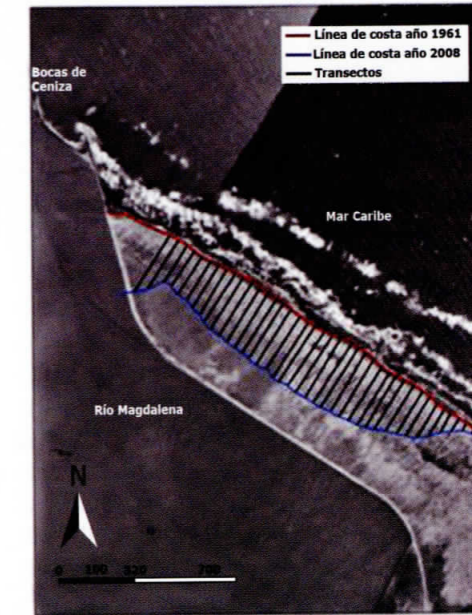
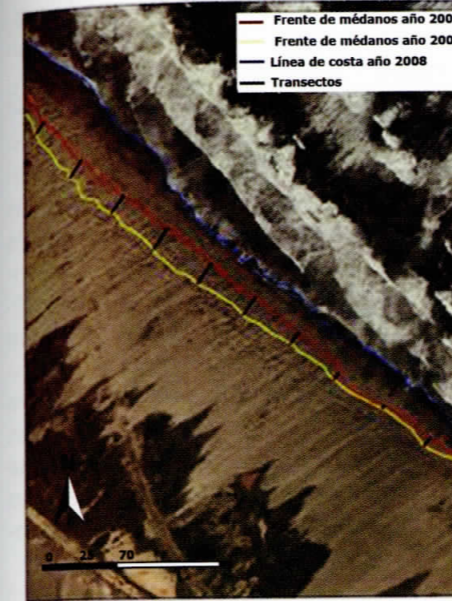
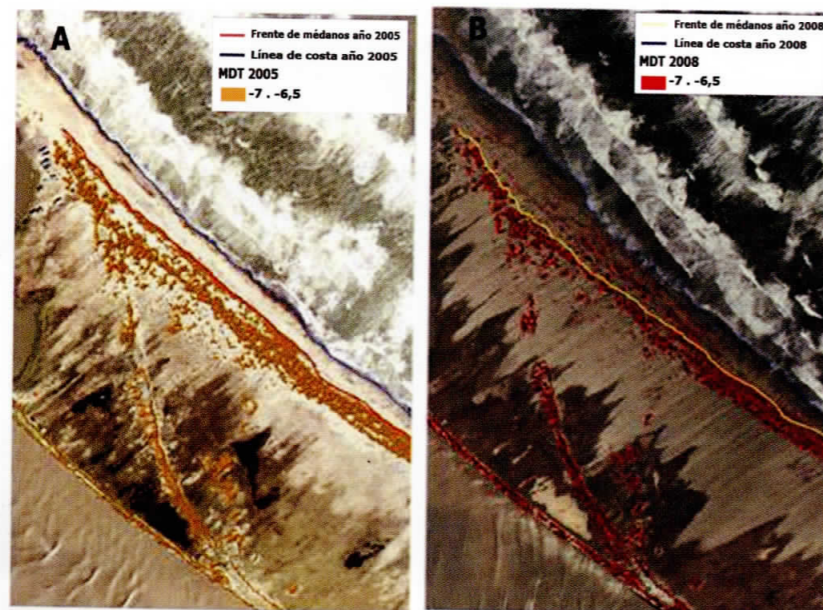


Figura 7 derecha. Medición de las longitudes de retroceso del frente de médanos activos para el periodo 2005-2008.

Figura 8 izquierda. Análisis multitemporal de la línea de costa de los años 1961 y 2008, en la cual se observa un significativo retroceso producto de la alta actividad marina del lugar.

Conclusiones

Metodológicamente, es significativo el aporte de ortofotografía digital y el escaneo láser (sensor LIDAR) para realizar análisis diacrónicos de carácter planimétrico y volumétrico retrospectivo, útiles en investigaciones y aplicaciones en el campo de la geomorfología litoral. Una de las principales ventajas de la utilización del sensor LIDAR es la obtención de información en la tercera dimensión (z) para extensas zonas de trabajo, en especial de zonas costeras, en un tiempo de vuelo bastante reducido si se compara con el tiempo empleado por las técnicas tradicionales de altimetría. Por otra parte, el carácter geométrico de las ortofotografías digitales permite realizar comparaciones y mediciones entre distintas fechas, con un mayor rigor en los resultados obtenidos. Además, el carácter digital de estas y la posibilidad de integrarlas en programas con un enorme potencial analítico desde la perspectiva espacial (SIG, tratamiento digital de imágenes, etcétera) abre nuevas perspectivas de análisis en esta temática [10].

En geomorfología litoral, el elevado dinamismo de las geoformas y procesos

resultantes (médanos, playas, etcétera), la enorme variabilidad espacio-temporal de las formas y el control que ejerce la variable altimétrica sobre diferentes procesos geomorfológicos (inundación, oleaje, deflación) y biológicos en las zonas costeras, hace necesario contar con un MDT y aerofotografías de alta resolución, como punto de partida para el trabajo geomorfológico.

Las funciones de análisis espacial en un entorno SIG, aplicadas a estos datos, abren igualmente nuevas expectativas y enfoques metodológicos en geomorfología litoral (evaluación de riesgos, modelización temporal, balances sedimentarios, etcétera).

Una aplicación similar de estas técnicas ha sido desarrollada [11] a través de la implementación de un método para analizar y visualizar la topografía y sus cambios en las islas barrera de una parte de la costa de Carolina del Norte en Estados Unidos. El método se basa en la aplicación de Modelos Digitales del Terreno con resolución de 1.5 m obtenidos de datos LIDAR de los años 1997, 1998, 1999 y 2000. Por otra parte, en los Estados que bordean el Golfo de México (Florida, Alabama, Mississippi, Louisiana)

na y Texas), se han venido adelantando investigaciones similares acerca de las tendencias históricas y presentes de las tasas de cambio de la línea de costa (comparando líneas de costa históricas de los años 1800, 1920, 1930 y 1970 con uno actual obtenido con el sensor LIDAR para el año 2002). Las líneas de costa utilizadas en cada período de análisis fueron desplegadas con software SIG y el cálculo de las tasas de cambio fue realizado con la extensión DSAS (Digital Shoreline Analysis System) utilizando las diferentes funcionalidades que para el efecto posee [12]. Igualmente, [13] reporta la utilización de tecnología de SIG y datos LIDAR a través de MDT de diferentes resoluciones espaciales para caracterizar los cambios en los sistemas

dunares del Cape Aterras Nacional Seashore en Carolina del Norte (Estados Unidos).

En este contexto, la utilización de la información contenida en los MDT, ortofotografías digitales y aerofotografías antiguas de épocas diferentes (a través de indicadores como las tasas de avance/retroceso de línea de costa y de médanos y cálculos volumétricos), permite determinar la ocurrencia o no y la cuantificación de fenómenos de interés para el conocimiento de las zonas costeras como la erosión, acreción y el transporte eólico que, por lo general, se encuentran asociados a la dinámica marina y condiciones climáticas del sector que se estudie.

Figura 9.

Perfiles altimétricos en un sector del área de estudio obtenidos a partir de datos LIDAR de terreno. A. Perfil del año 2005. El círculo rojo muestra la máxima altura elipsoidal en el tramo (-6.47 m). B. Perfil del año 2008. El círculo rojo muestra la máxima altura elipsoidal en el tramo (-6.56 m). C. Gráfico del tramo analizado donde se muestra el comportamiento de la actividad de los médanos para los años 2005 y 2008 a lo largo del perfil elaborado.

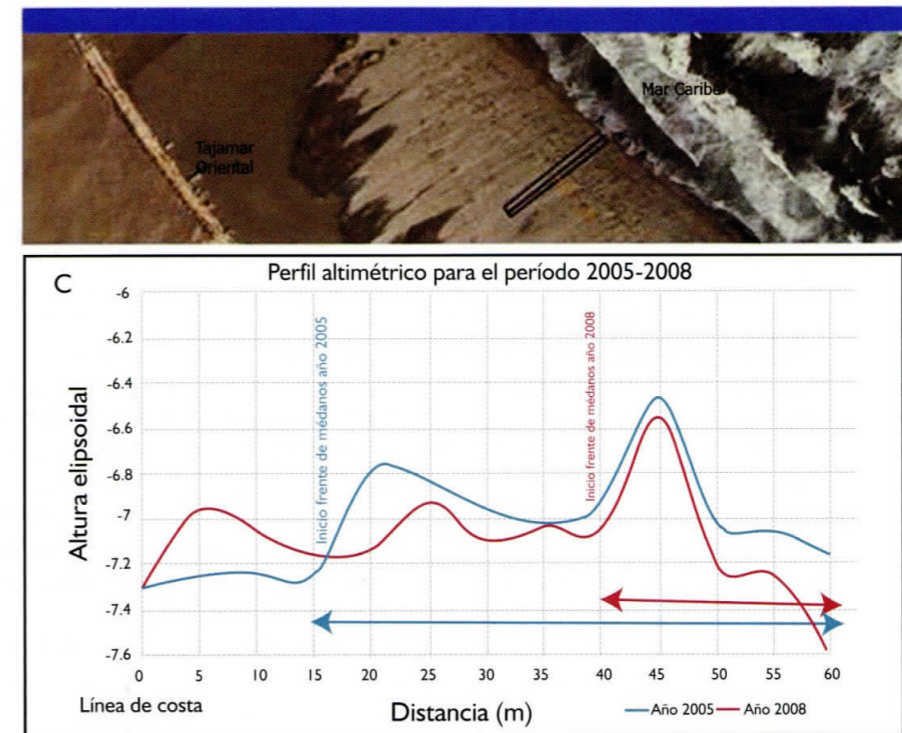
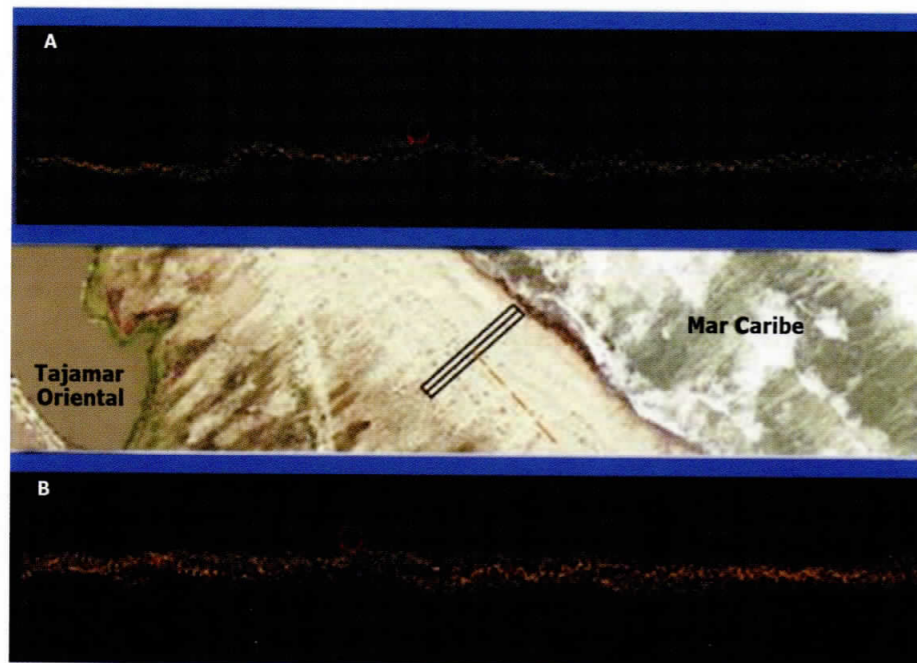


Figura 10.

Cálculo de los volúmenes sedimentarios para un sector específico del área de estudio (recuadro rojo). A. Resultados de la cuantificación del volumen sedimentario del área específica según datos LIDAR del año 2005 (7028.22 m³). B. Resultados de la cuantificación del volumen sedimentario del área específica según datos LIDAR del año 2008 (3824.00 m³).



Bibliografía

- [1] Saye, S., Van der Wal, D., Pye, K., Blott, S. Beach dune morphological relationships and erosion/accretion: an investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology*: 2006; 72: 128-155.
- [2] Mitsova, H., Overton, M., Harmon, R. Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology*: 2005; 72: 204-221.
- [3] Stephenson, W., Brander, R. Coastal geomorphology into the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*: 2003; 27, 4:607-623.
- [4] Ojeda, J., Vallejo, I. El Empleo de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) para la Caracterización Geomorfológica del Sistema de Dunas Móviles del Parque Nacional de Doñana (Huelva). Blanco-Chao y otros (editor). *Procesos geomorfológicos y evolución costera*. Universidad de Santiago de Compostela. 2004. p. 119-132.
- [5] Martínez, J., Molina, L. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe, sector: Bocas de Ceniza-Parque Tayrona. *Ingeominas Informe Inédito*. Bogotá, Colombia. 1992.
- [6] Carvajal, A., Caracterización físico-biótica del litoral del Departamento del Atlántico. DIMAR (editor). *Caracterización físico-biótica del litoral Caribe colombiano*. Tomo I. Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia, 2009. p. 97-110.
- [7] Marriaga, L. 2009. Caracterización físico-biótica del litoral del Departamento del Magdalena. DIMAR (editor). *Caracterización físico-biótica del litoral Caribe colombiano*. Tomo I. Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia; 2009. p. 67-96.
- [8] Martínez, N.P., Psuty, R.A. Lubke. *Coastal Dunes. Ecology and conservation*. Ecological Studies 171. Springer-Verlag. Berlin, 2004.
- [9] Pirjo, H. *The Development of Coastal Dunes and their Vegetation in Finland*. Department of Geography. University of Helsinki, 1999.
- [10] Ojeda, J., Vallejo, I., Hernández, L., Álvarez, J. Fotogrametría digital y LIDAR como fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares): el potencial de su análisis espacial a través de SIG. *Boletín de la A.G.E.* 2007; 44: 215-233.
- [11] White, S., Wang Y. Utilizing DEM derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. *Remote Sensing of Environment*: 2003; 85: 39-47.
- [12] U.S. Geological Survey. Center for Coastal and Watershed Studies. *National Assessment Of Shoreline Change: Part 1 Historical Shoreline Changes And Associated Coastal Land Loss Along The U.S. Gulf Of Mexico*. Open File Report 2004-1043; 2004.
- [13] Woolard, J., Colby J. Spatial characterization, resolution and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology*: 2002; 48: 269-287.

5

Potencialidades de las cámaras digitales para la fotogrametría aérea y sus múltiples aplicaciones

Potencialidades de las cámaras digitales para la fotogrametría aérea y sus múltiples aplicaciones (con una corta presentación de los primeros resultados de la evaluación de las más importantes cámaras del mercado mundial, por parte de la DGPF en Alemania)

Ekkehard Jordan¹, Katty Castillo², Javier González³, Fabio Vélez⁴, Facundo Ponce de León⁵

Resumen

En el siguiente documento se presenta una sinopsis de la nueva tecnología y aplicabilidad de la toma digital de fotografías aéreas en la conformación, manejo, monitoreo y control de áreas protegidas. Se plantean algunos aspectos técnicos que intervienen en el desarrollo de un proyecto que utiliza imágenes aéreas digitales, algunas aplicaciones que se están desarrollando en Latinoamérica con ejemplos gráficos y algunas conclusiones y recomendaciones que surgen de estas experiencias.

Palabras clave:

Tipos de cámaras, evaluación de cámaras, fotogrametría digital, sensor matriz, sensor barrido, calibraciones, estándares, aplicaciones fotogramétricas.

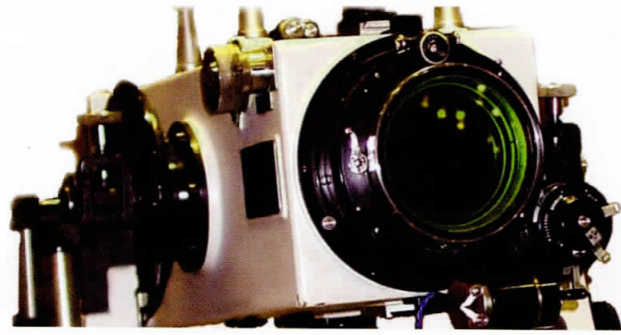
Abstract

The present article presents an overview of the new technology of digital aerial photography and its application in the establishment, management and monitoring of protected areas. Some technical aspects regarding the development of a project using airborne photography and some applications being used in Latin America are discussed with graphic examples. Conclusions and recommendations coming out of this experiences are given.

Key words:

Camera types, camera evaluation, digital photogrammetry, matrix sensor, brush sensor, calibration, standards, photogrammetric applications.

1 Univ.-Prof. Dr. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, e-mail: Dr.EJo@t-online.de
2 Licenciada en Sistemas de Información (ESPOL, Ecuador), e-mail: katty Castillo@gmx.net
3 Ingeniero Forestal (U. Nal Med. Colombia), e-mail: jfpatino2003@yahoo.com
4 Ingeniero Sanitario (U. de A. Colombia), e-mail: fabiovel@udea.edu.co
5 Ingeniero Agrónomo (U. de la República, Uruguay), e-mail: facundo@uni-duesseldorf.de



Introducción y una breve historia de la fotogrametría digital

La fotografía aérea es una herramienta utilizada en diferentes campos del saber. Su uso es tan antiguo como los vehículos utilizados por el hombre para volar. Desde los primeros vuelos en globo se viene fotografiando la superficie terrestre. Hasta hace unas pocas décadas se hacía uso de equipos analógicos para adquirir escenas de la tierra, pero los avances de la fotogrametría digital le están abriendo paso a esta nueva tecnología, cuyas ventajas la proyectan como dominante en el futuro próximo. Los pasos más importantes de su desarrollo son los siguientes:

- 1970 - Surgimiento de la técnica de cálculo fotogramétrico y mapeo digital. En constante perfeccionamiento hasta hoy.
- 1985 - Desarrollo de la tecnología FMC por Zeiss-Jena y concentración de la producción de cámaras aéreas análogas en manos de Leica/Wild y Zeiss (RC-30, RMK-Top).
- 1990 - Creación de Bancos de Datos para cartografía.
- 1972 - Arranque de ERTS/Landsat con transmisión de imágenes digitales con tecnología de detector escáner y un posterior desarrollo hasta sistemas de matriz. Estos dominan hoy el mercado de imágenes digitales.

- 1986 - "Arranque de Spot con la incorporación de la tecnología para imágenes estereoscópicas Off track imaging".
- 1970 - Introducción del Sensor de barrido, ideado por Derenyi en Canadá y realizado y patentado por Hofmann en 1979. Esta nueva forma de tecnología estereoscópica de tres líneas fue utilizada por primera vez en 1993 en MOMS como "In track estereo" y, posteriormente, mejorada y usada desde 2001 en la misión BIRD.
- 2000 - En el congreso de la ISPRS en Amsterdam se presentan los primeros sistemas de cámaras aéreas digitales ADS40, de Leica Geosystems y DMC, de ZI Imaging.

En esta exposición se expondrán algunas de las características principales de tecnología y sus aplicaciones en el estudio de diferentes regiones de Suramérica.

Además del simple impacto que genera una fotografía, para un lector entrenado, este elemento de comunicación ofrece grandes posibilidades de obtención y análisis de información. Para usuarios con formación en la disciplina y herramientas tecnológicas, la fotografía aérea digital ofrece la oportunidad de hacer interpretación de todo aquello discernible en la superficie terrestre. Algunos de los aspectos más interesantes que se pueden mencionar de esta tecnología surgen cuando se la compara con la tecnología analógica. A lo largo del desarrollo del documento se hace mención de tales contrastes. También se hace una comparación entre la fotogra-

fía aérea digital y los productos de imágenes satelitales, sobre los cuales existen muchas expectativas y que deben ser analizadas.

Los principios geométricos en que se fundamenta la fotografía aérea digital son los mismos que fundamentan la analógica. Esto no es válido, sin embargo, en el caso de las cámaras de barrido, estas presentan otras cualidades técnicas y geométricas. Las grandes diferencias entre las tecnologías analógicas y las digitales surgen a partir de la resolución geométrica y radiométrica alcanzable con cada una de ellas.

Aunque dependiendo mucho, entre otras cosas, de sus características geométricas, en la mayoría de las situaciones la fotogrametría digital permite modelar tridimensionalmente el suelo del terreno. Las precisiones alcanzadas en la modelación de la altura pueden llegar hoy en día a menos 0,2 m. El modelo tridimensional del terreno (MDT) así generado es, en la mayoría de los casos, la mejor base para un SIG.

Disponer de un modelo tridimensional del terreno para el estudio de un ecosistema permite reconocer varios aspectos de la dinámica del agua en el mismo. El MDT resulta una herramienta sumamente útil si se tiene en cuenta que el agua es uno de los factores con más peso en su funcionamiento.

Árboles y arbustos también pueden caracterizarse tridimensionalmente. La precisión que pueda lograrse depende, entre otras cosas, de la geometría y disposición espacial de los mismos y

de la disponibilidad o no de un MDT. En algunos casos es posible obtener diámetro de la corona, altura y ubicación espacial exacta de cada árbol o arbusto. En otros es posible obtener un modelo, continuo del «techo» del tapiz de coronas, denominado *Modelo Digital de Superficie* (MDS). Esta información puede permitir delimitar zonas, estimar densidad de individuos, biomasa y contenido de carbono. La comparación con información de otras épocas puede permitir detectar y cuantificar algunos tipos de cambios en el ecosistema.

La información radiométrica permite caracterizar diferentes objetos del área de interés según la reflexión, absorción y transmisión que muestren para cada longitud de onda. Teóricamente, la mayoría de las especies pueden diferenciarse por sus características radiométricas. El manejo de cuatro canales (mencionados al principio) limita las posibilidades de diferenciación radiométrica de objetos con respecto a las posibilidades que ofrece un espectrómetro. No obstante, la aplicación de diferentes técnicas de procesamiento digital amplía las posibilidades enormemente. Así es posible, entre otras cosas, diferenciar especies dentro del área de interés y reconocer, por ejemplo, algunos tipos de síntomas de enfermedades, ataques de insectos, deficiencias nutricionales o daños por temperatura en diferentes zonas.

La diferenciación radiométrica es una técnica especialmente adecuada para sistemas en los que es necesario identificar y/o delimitar agua. El canal infrarrojo cercano ofrece un excelente contraste entre el agua y la vegetación.

Además de lo mencionado, la fotogrametría digital presenta la posibilidad de obtener la información en el lugar, el momento y la frecuencia en que sea necesario. Esto puede ser muy importante cuando es necesario evaluar efectos de fenómenos climáticos ocurridos. También es decisivo cuando se quiere estudiar aspectos de la dinámica de factores dentro del área de interés como, por ejemplo, crecimiento de individuos, variación de áreas ocupadas por especies o dinámica y distribución de agua. Para esto, es necesaria que la información recogida en diferentes momentos sea comparable. Esto se logra realizando las tomas en momentos en que las condiciones son similares a las de las tomas anteriores, lo que en el caso de la fotografía aérea no es un problema.

Aspectos teóricos y prácticos del uso de la fotografía aérea digital

Comparación de las tecnologías analógicas y las digitales para la toma de imágenes, su funcionamiento y las ventajas y desventajas en las diferentes aplicaciones y proyectos

Con el desarrollo de la fotografía digital y el cambio revolucionario ocurrido hace apenas unos pocos años de la imagen en film a la imagen en el ordenador, ocurrió también un salto cualitativo en la toma de imágenes con fines fotogramétricos y en su análisis. El uso de las nuevas posibilidades de aplicación se encuentra en una fase muy temprana en muchos aspectos y, especialmente, en regiones alejadas del desarrollo tecnológico, sus numerosas ventajas son poco conocidas. El presente documento presenta un panorama de estas nuevas tecnologías, desarrolladas en los últimos cinco a diez años, y de

sus aplicaciones en el establecimiento y manejo de áreas protegidas y muestra algunos ejemplos de diferentes lugares de Latinoamérica.

¿Qué es lo revolucionario de estas nuevas tecnologías para la medición mediante imágenes?

A excepción de algunas cámaras métricas especiales, el deslizamiento del film dentro de la cámara hace que la película tome siempre un lugar diferente dentro de esta entre toma y toma, lo que determina la necesidad de un gran esfuerzo para la realización de mediciones geométricas. La introducción de cámaras digitales con el sensor fijo ha permitido establecer relaciones geométricas mucho más estables dentro de la cámara. Por esta razón, cualquier cámara digital calibrada podrá funcionar en principio como cámara métrica y así, disponiéndose de tomas estereoscópicas, pueden ser utilizadas para fotogrametría.

No obstante, el secreto del éxito se encuentra, aquí también, en los detalles. La exactitud de las mediciones dependen por supuesto de la calidad de la cámara, sobre todo la del cuerpo de la cámara, objetivo y del sensor. De esta manera, la aplicación de técnicas de medición se vuelve por un lado de uso más fácil y generalizado, pero por otro adquiere mayor variabilidad. En otras palabras, el mundo confiable y claro con dos excelentes fabricantes de cámaras como Leica/Wild y Zeiss/Jena+Oberkochen fue reemplazado por uno confuso, complicado y difícil de percibir, en el que muchas veces son aplicados salvajes métodos comerciales.

La fijación de normas y la estandarización no han podido seguir el ritmo de este rápido proceso de desarrollo, por lo que, en algunos casos, es aconsejable buscar el consejo de profesionales experimentados de instituciones independientes. Debe mencionarse también que en la actualidad son pocas las ins-

tituciones que pueden ser consideradas verdaderamente independientes en este sentido.

La discusión inicial sobre una menor resolución de las cámaras digitales está resuelta a favor de las mismas, con avances extremadamente rápidos en este ámbito. Los conocimientos básicos pueden ser obtenidos en revistas especializadas en fotografía. Lamentablemente, existe una gran diferencia entre la calidad de la información de las revistas anglosajonas y las europeas. Mientras que en las europeas, especialmente, las editadas en idioma alemán,

se encuentran valiosos conocimientos técnicos, en las editadas en idioma inglés se denota un enfoque puramente comercial.

Las innovaciones en el mercado de cámaras digitales para uso fotogramétrico permiten distinguir tres categorías de cámaras (Figura 1):

- a) Cámaras de formato pequeño
- b) Cámaras de formato medio
- c) Cámaras de formato grande

Figura 1. Diferentes categorías de cámaras empleadas en la fotogrametría. Cámaras de formato pequeño (a), de formato medio (b), de formato grande (c) y un representante de las analógicas (Fuente: propia).



Cámaras de formato pequeño. El tipo más conocido dentro de estas es el de las Spiegelreflex (SLR) analógicas o con sensor digital (DSLR), dentro de las cuales se ofrecen algunas especiales para ser usadas en fotogrametría. Con cámaras digitales sencillas pueden obtenerse también muy buenos resultados. Sirven principalmente para la interpretación de imágenes y ninguna es adecuada para aplicaciones donde sea necesaria una alta precisión. No obstante, es posible la confección de mosaicos de grandes áreas. Hoy en día existen miles de modelos diferentes en el mercado. Todas ellas se encuentran en la franja de precios por debajo de los 10.000 euros o dólares (a partir de unos pocos cientos de euros o dólares pueden conseguirse cámaras adecuadas).

Cámaras de formato medio. El círculo de oferentes es aquí sensiblemente más limitado. En esta categoría se encuentran cámaras métricas especiales de alta precisión, como las ofrecidas por Rollei (comprado por Trimble), la Hasselblad/IGI, etc. en la franja de precios de 20.000 a 200.000 euros. Con los nuevos sensores de 39 MB y, desde 2009, también 60 MB, se consigue alcanzar el rendimiento por unidad de superficie de las cámaras convencionales de 23 cm x 23 cm, con las ventajas adicionales de una toma digital. La competencia, representada por las cámaras analógicas y de gran formato, así como círculos de fotogrametristas tradicionalistas donde se niega todavía a aceptar esto; inclusive a pesar del actual aumento progresivo del rendimiento de los sensores como lo demuestran las recientes tendencias (octubre 2009) con las cámaras reflex de espejo digitales de hasta 18 MP con sensores (Canon y Nikon) de solo 24 x 18 mm (AP aprox. 24 cm x 18 cm = mitad del formato pequeño).

Debido a su relación precio/rendimiento este tipo de cámaras representan hoy el futuro del mercado de las cámaras métricas y aéreas. En este ambiente de cambio, es posible encontrar empresas recomendables que ofrecen

servicios con esta configuración para sus vuelos, con una mayor flexibilidad, lo que se adapta muy bien a proyectos desde pequeños a medianos, y a sus presupuestos. Buscando aumentar el rendimiento por unidad de superficie se están utilizando combinaciones de dos cámaras (DIMAC, IGI, Trimble) y se están probando configuración en tándem de cuatro cámaras (IGI y Trimble), las que alcanzan la cobertura de una cámara de formato grande.

Cámaras de formato grande. Representadas por las ya operativas Leica, Vexcel y Zeiss/Intergraph y las que todavía se encuentran en desarrollo, o recién han aparecido, como las de Jenoptik y Wehrli. Las mismas utilizan variadas tecnologías incluyendo el escaneo, supera el precio de las primeras el millón de euros o dólares. Excluyendo la cámara de escaneo en barrido de Leica (Jenoptik, Wehrli), se trata de instrumentos complejos que se componen en principio de hasta nueve cámaras de formato medio. Todas ellas se encuentran ya en su segunda o tercera generación y como mínimo duplican el rendimiento en cobertura de las cámaras aéreas analógicas. Al comienzo del actual milenio comenzaron a competir con las cámaras analógicas y en nuestros días no existe duda de que las superaron. Ofrecen el mejor flujo de procesamiento, desde la toma hasta los productos finales como mapas o todo tipo de productos que puedan ser utilizados como *layers* para SIG. Fueron desarrollados como productos de vanguardia por profesionales especialistas en mediciones fotográficas y siguen siendo celosamente privilegiadas por ellos.

Considerando su alto precio y como consecuencia del mismo, el minucioso planeamiento del proceso y la perfecta coordinación de personal e instrumental altamente especializados que se requiere, puede decirse que, sólo en casos de excepción, estas cámaras son apropiadas para países del tercer mundo. Debido a que una inversión de este tipo sólo es amortizable cuando se dispone de al menos un proyecto anual de

100.000 a 200.000 km² (equivalente a la superficie de Austria), es aconsejable, en Suramérica, que vuelos con este tipo de cámaras sean hechos por empresas sólidas y con experiencia, aun cuando por orgullo patriótico se prefiera adquirir una de estas cámaras. Lo irracional de la compra de una de estas cámaras y del consecuente desperdicio de capital, no está tan relacionado con el monto de la compra (los créditos del extranjero se consiguen con facilidad impulsados por la ganancia del prestamista y la corrupción del acreedor), si no más bien con la falta de un equipo coordinado de especialistas para la aplicación y el manejo de las mismas. A esto se suma el rápido deterioro del instrumental especial (dos a tres años), que acelera la descapitalización de este tipo de inversiones millonarias, o bien, genera costos inmensos en actualización y mantenimiento. Los contratos de arrendamiento establecen costos de espera en tierra de hasta 10.000 dólares diarios, lo que en países tropicales, con situaciones meteorológicas diarias difíciles de predecir y cobertura de nubes constante, significa un riesgo muy alto. Estas sumas a su vez corresponderían a los costos de la cobertura fotográfica completa de un proyecto mediano, con cámaras de formato mediano y con la ventaja adicional de una mayor flexibilidad.

El avance de las cámaras digitales en el campo de la medición fotogramé-

trica no se debe sólo a las ventajas relacionadas con la geometría. Otra gran ventaja se encuentra en las posibilidades relacionadas con la radiometría. La sensibilidad de los sensores se extiende desde el azul al infrarrojo cercano y, por esta razón, a través de filtros, se adapta la sensibilidad al rango espectral visible por el ojo humano.

Así, sin grandes complicaciones, empleando un filtro bloqueante del rojo, azul y verde, pueden hacerse tomas infrarrojas sin necesidad de la obstaculizante cadena de refrigeración requerida para este tipo de película. Esto le dará un gran impulso al empleo de la interpretación de imágenes infrarrojas. Traerá avances no sólo en aplicaciones que van desde el reconocimiento de especies hasta el establecimiento de áreas protegidas, si no también, en las posibilidades de combate y control de la expansión de enfermedades, así como en la determinación de momentos de cosecha y previsión de rendimientos, lo que redundaría en aumentos de estos últimos.

Las siguientes figuras muestran ejemplos de las ya no discutidas ventajas de la técnica digital. Los mismos son explicados en mayor profundidad en la exposición:

Figura 2.

La estrella de Siemens en una película (izquierda) y en un sensor digital (derecha), ambos con un tamaño de pixel de 0.4 mm. El radio crítico en el segmento de la izquierda es de 265 μm , en la imagen de la derecha es de 145 μm . Es evidente la presencia de ruido en la imagen analógica (Fuente: Leberl et ál., 2003).

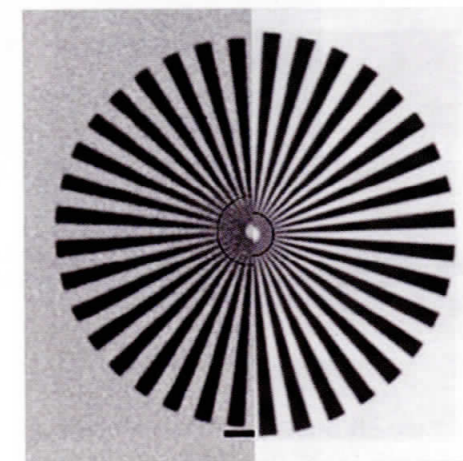


Figura 3. Histogramas de profundidad de tono de una imagen en película escaneada en 8 bits y de una imagen comparable tomada con UltraCamD de 12 bits con un rango tonal 16 veces más amplio (Fuente: Perko, 2005).

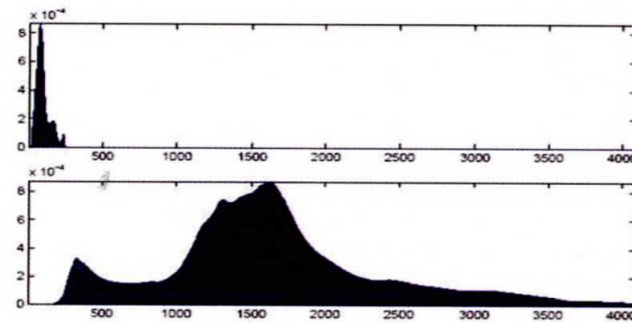
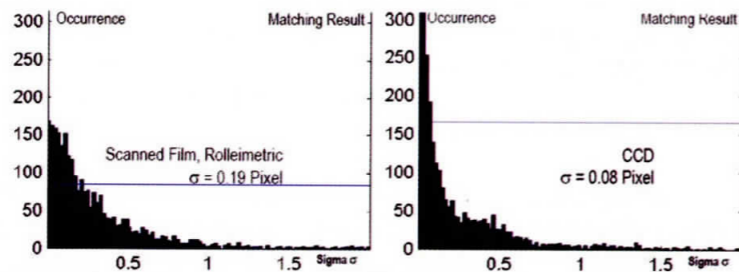
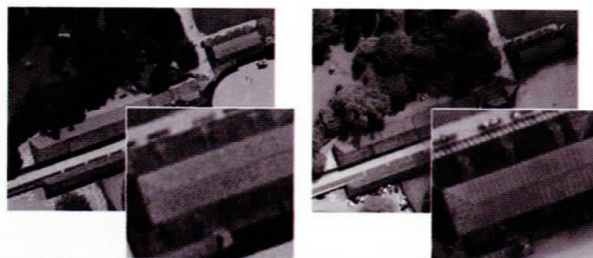


Figura 4. Análisis de la estereocorrelación sobre un mismo objeto en base a película escaneada y a toma digital. En el mismo puede verse que el nivel de ruido de la imagen tomada con sensor digital es 2,5 veces menor que el de la imagen analógica escaneada (Fuente: Gruber et al., 2003)



: Stereo matching experiment using scanned film and a digital sensor. Note that the matches with the sensor have a noise level 2.5 times smaller than that of the scanned film (from Gruber et al., 2003).

Figura 5. Comparación de tomas con películas aéreas y digitales. Izquierda: toma con película escaneada a 15μ Scanpixel = 15cm BAL/GDS. Derecha: toma digital con 17μ BAL/GDS (Fuente: Leberl & Gruber, 2003)

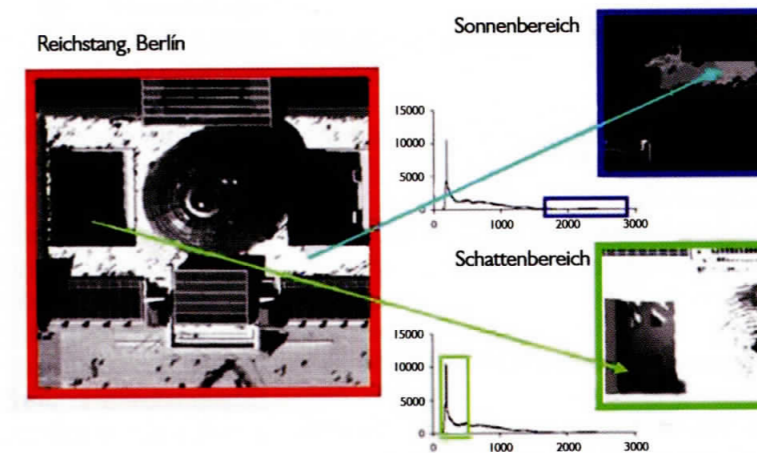


: Comparing aerial film and digital image. Left is scanned film at a pixel size of 15 μm (GSD of 15 cm); at right is the digital image with a GSD=17cm (from Leberl & Gruber, 2003).

Figura 6. Segmento de una imagen a color de una película aérea con un tamaño de pixel de 15 cm (izquierda), obtenida a partir de una imagen escaneada a 12.5 μ. La imagen de la UltraCam tiene un pixel de 16 cm (derecha). En los círculos aparecen áreas de 150 píxeles de diámetro con aumento 2x. Nótese en los rieles y durmientes lo significativo de las diferencias en la definición (Fuente: Leberl Gruber, 2003).



Figura 7. Profundidad de tonos en áreas sobreiluminadas y sombreadas en una imagen blanco y negro del Reichstag en Berlín. Un ejemplo clásico de ampliación de la profundidad de tonos en imágenes con buen contraste a través de ampliación de histograma.



Fuente: Reulke 2004 de LS).

Comparación de cámaras digitales y analógicas y ventajas relativas de las últimas

Mayor rentabilidad

- Sin consumo de materiales como películas y sin revelado.

- Sin escaneo que produzca pérdida de información.
- Disponibilidad simultánea de colores (RVA) e infrarrojo (IR).

- Sin costos de copia.
- Baja demanda de mano de obra.

Mejor calidad de imagen

- Gracias a los 12, 14 y 16 bit: menor ruido y menor formación de artefactos.
- Mejor estereocorrelación.
- Más días de vuelo posibles, incluso en condiciones bajo nubes.
- Mejor performance en reconocimiento de objetos.
- Mayor grado de éxito en procesos de automatización.

Mayor redundancia en todas las mediciones

- Debido a una mayor superposición longitudinal sin costo adicional.
- Mejores resultados en procesos automáticos.
- Mejora en la generación automática de DSM.
- Menor cantidad de ángulos muertos en zonas con construcciones.

Mayor exactitud geométrica

- Sin contracciones u otras deformaciones de las películas debidas a mecanismos de la cámara.
- Orientación interna inherente al propio sistema.
- Copias de imágenes absolutamente idénticas.
- Sin aumento del tamaño de grano cuando se requiere mayor sensibilidad a la luz.
- La mayor profundidad de tonos mejora la exactitud.

Mejor dinámica de trabajo

- Control de calidad posible ya durante el vuelo.
- Automatización con menor necesidad de intervenciones del operador.
- Mejores posibilidades de fotointerpretación debido a la disponibilidad simultánea de RVA/RGB + IR.
- Sin necesidad de depósitos de películas ni de archivos.
- Clasificación y archivo puede ser individual o en red.
- Actualización de software de cámara (firmwareupgrade, etc.) a través de internet.

Finalmente, lo que posibilita este mejor reconocimiento de estructuras y formas, y por esto, de objetos, no es sólo el hecho de disponer de mayor amplitud espectral y de un acceso más fácil a los distintos canales, sino también el refinamiento en la capacidad de diferenciación de tonos y colores en el espectro visible (Figura 3). Las imágenes blanco y negro de 8 bits y las de color de hasta 48 bits, poseen una diversidad de información que va mucho más allá de lo que es capaz de discernir el ojo humano. Esto posibilita la determinación de tres a cinco veces más puntos, durante la correlación estereoscópica, lo que lleva a la generación de excelentes modelos de terreno y por consiguiente a ortofotos mucho más precisas (Figura 8). Con este tipo de ortofotos puede, cualquier lego o profesional sin conocimientos de fotogrametría, realizar mediciones exactas. Las mismas, dependen de la escala, van desde la medición de diámetro de coronas y grueso de troncos de árboles, hasta de la totalidad del área de interés. Con esto puede evitarse, en la mayoría de los casos, el empleo de técnicas mucho más costosas como escaneo con láser (LIDAR).



Figura 8. Ortofotomapa del municipio de Marinilla, Colombia (Fuente: Propia).

En comparación con las imágenes de film en blanco y negro e incluso en color, las ortofotos digitales, impresas en colores, o mejor aún, en la pantalla de la computadora, facilitan enormemente, incluso al personal de control de la zona en cuestión (por ejemplo, a guardabosques), la orientación, identificación y ubicación de objetos de interés. Para corroborar esto, sólo es necesario comparar la cantidad de información que puede extraerse de la parte sombreada o sobreiluminada de una imagen digital y de una analógica (Figura 5).

Las ventajas en la radiometría y la geometría de la técnica digital determinan resultados en los que la calidad es de dos a tres veces superior a los que son obtenidos con técnicas analógicas. Empleando cámaras de formato medio, esto se logra a costos 50% inferiores, a lo que debe agregarse las ventajas de disponibilidad del material digital y un proceso de análisis más fácil y automatizable. El ahorro en costos es todavía muchísimo mayor si se los compara con los de la tecnología satelital.

Además de lo anterior, el reducido peso (2 a 3 kg) del equipamiento da a esta

técnica una enorme flexibilidad respecto a las demás. La toma de imágenes satelitales depende de órbitas y ventanas de tomas fijas. En zonas con alta nubosidad esto impide, a veces por años, la toma de imágenes útiles. En los trópicos, en muchos casos, sólo pueden obtenerse imágenes durante el período de sequía, lo que genera información, que aunque bonita y a veces obsequiada, tiene un valor limitado. La posibilidad de volar debajo de las nubes desde temprano en la mañana hasta tarde en la noche representa una gran ventaja entonces en estas zonas. Esto puede lograrse empleando desde aviones ultralivianos, y helicópteros, hasta aviones a reacción o no tripulados.

Por la mitad del valor de lo que se ha invertido en tecnología para generar imágenes satelitales, Google Earth podría ofrecer una cobertura de todo el planeta con imágenes digitales de cámaras aéreas de alta resolución, como las que actualmente cubren ellos sólo para algunas ciudades.

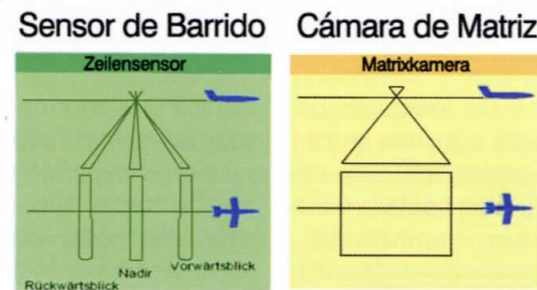
Para poder ilustrar, por lo menos someramente, estos enormes progresos en la técnica de imágenes digitales, se

presentan a continuación, a modo de ejemplo, algunos proyectos. Por razones de espacio no se entrará demasiado en explicaciones detalladas; el lector puede contactar a los autores si desea obtener mayor información.

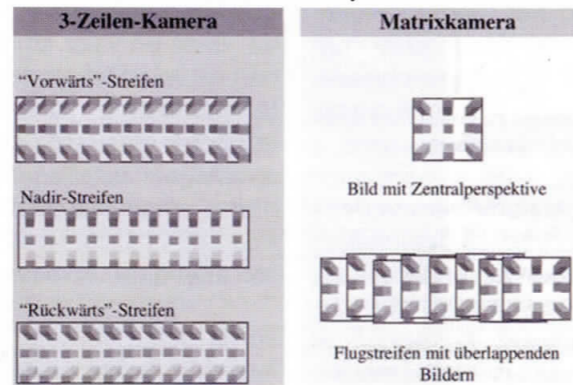
Presentación de las diferentes tecnologías de la toma digital, los diversos tipos de sensores y las diferentes cámaras existentes en el mercado

Existen dos tipos de cámaras aéreas digitales:

- Cámaras de CCD de barrido



Diferencias en las perspectivas y distorsiones de las tomas en sistemas de barrido y de matriz



Calibraciones necesarias y las que se realizan. Precisiones geométricas y radiométricas alcanzadas

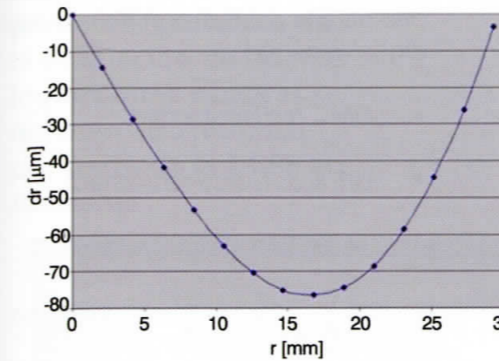
También la calibración se ha vuelto sustancialmente más compleja. La calibra-

- Cámaras de CCD en matriz. Las últimas poseen sensores con:

1. Sensibilidad pancromática
2. Sensibilidad en RVA y en IR o CIR y funcionan basados en los procesos:

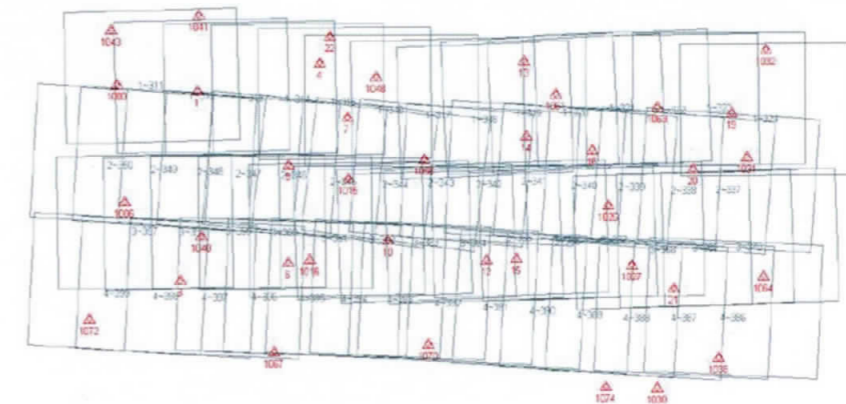
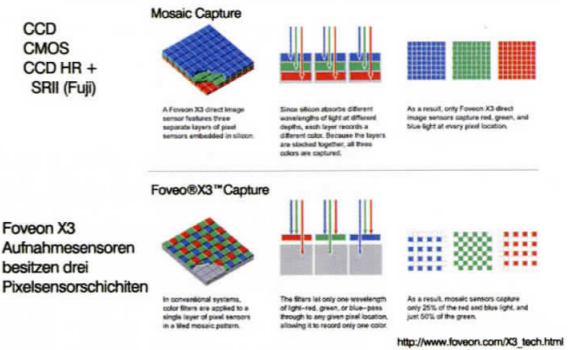
- * Pansharpening
- * Filtrado Bayer

Las ventajas y desventajas de esta técnica son explicadas en los siguientes esquemas (figuras 9 (izq.) Fuente: Reulke 2004) y 10 (der.) Fuente: Sandau 2005 de LS):



Diferentes técnicas en sensores de matriz

• Im Unterschied zu herkömmlichen Filmen haben RGB-Sensoren für die meisten Kamerasysteme ein eingebautes Filterraster (Bayer-RGB-Muster)



Grados de la automatización para la minimización de trabajos de campo integrando RTK-GPS, IMU, plataformas de estabilización, y FMC



Figura 14. Montaje de plataforma con IMU (Fuente: propia)

Estos procedimientos también serán aclarados con las imágenes.

Manejo, almacenamiento y procesamiento de datos

Este proceso será demostrado con algunas figuras.

Normas establecidas y por establecer para la toma digital con fines fotogramétricos

El esquema que se ve a continuación ofrece un panorama de los dispositivos y será explicado en su contexto durante la presentación.

- US Geological Survey
- USGS-Certification

- EuroSDR – Emprendimiento europeo para la certificación de cámaras digitales aéreas
 - DMC testFredrikstad.
 - UltracamDtestFredrikstad.
 - ADS40testVaihingen/Enz • ISO.
 - DGPF – Evaluación de Cámaras Digitales 2008-2009.

Asimismo, existen indicaciones técnicas de los fabricantes sobre las características de cada cámara, las que se presentarán comparadas.

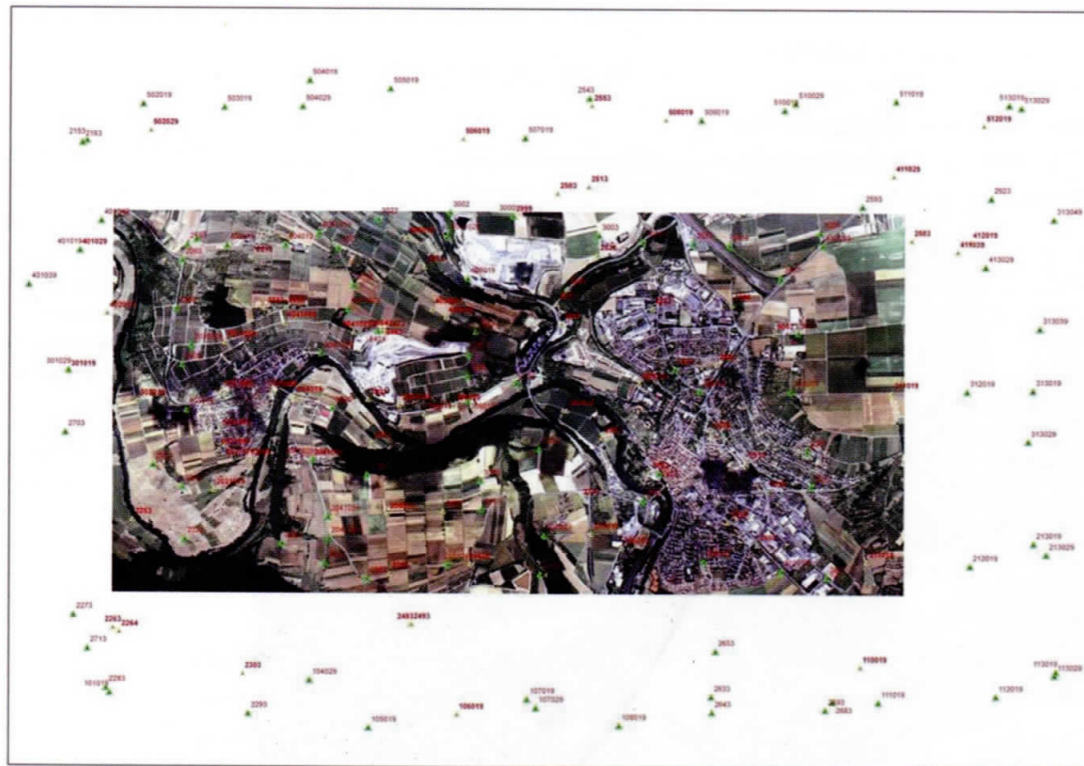


Figura 15. Panorama del campo de pruebas de Vaihingen (Fuente: DGPF y propia).

Presentación de los primeros resultados de la evaluación de las más importantes cámaras del mercado mundial por parte de la DGPF en Alemania



Figura 16. Imágenes en IMATIE de la zona de mediciones para la calibración (Fuente: propia)

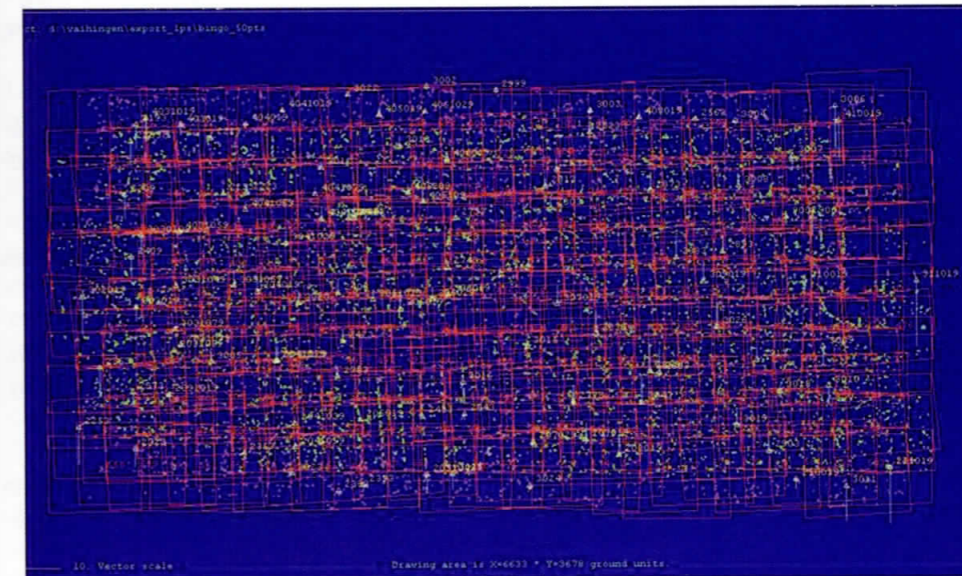


Figura 17. Panorama de una triangulación del área interna del campo de pruebas con BINGO, luego de la colocación de puntos de enlace con LPS, a partir de imágenes de una Rolleimetric AIC 1- P45 (Fuente: propia).

Figura 18. Modelo de aerotriangulación del campo de pruebas Vaihingen con los 44 parámetros de Grün aplicado a tomas de tres cámaras diferentes (Fuente: Cramer 2009)

Block	Sigma0		#Block-punkte	Redundanz	Max. Verknüpfung	#sing. Zusatz-parameter	Max. Korrektur im Bild [mm]	
	Bild [µm]	Objekt [m]					DX	DY
DMC GSD 8cm	1,49	0,011	9651	80371	13	44	2,23	1,30
DMC GSD 20cm	1,98	0,036	5432	49366	12	10	5,39	3,54
Ultracam-X GSD 8cm	0,95	0,011	6049	109906	28	6	0,72	0,96
Ultracam-X GSD 20cm	1,07	0,031	4729	43932	12	4	0,49	1,13
DigiCAM quattro GSD 8cm	0,99	0,013	30872	629043	33	3 (1)	1,11	0,94
						9 (2)	1,59	2,32
						3 (3)	0,99	1,40
						4 (4)	1,83	1,51
DigiCAM quattro GSD 20cm	1,28	0,039	20501	192240	18	3 (1)	1,05	1,15
						10 (2)	1,89	2,45
						4 (3)	0,92	1,09
						6 (4)	2,15	1,23

Presentación de sistemas utilizados exitosamente en distintas partes del mundo, a través de los que pudo confrontarse la teoría con la práctica

Debido a las limitaciones de espacio para la publicación, los siguientes ejemplos de proyectos serán presentados en la exposición.

- Ortofoto de Marinilla, Colombia, como ejemplo de catastro urbano y de determinación de niveles de inundación.
- Análisis de biodiversidad en la cuenca de la ciénaga de Ayapel, Colombia.
- Clasificación de árboles individuales en zona urbana en terreno de la

Universidad Nacional sede Medellín, Colombia.

- Medición de biomasa para Certificación CO-2 en bosques de Eucalyptus en Uruguay.
- Identificación de cultivos especiales en Chapare, Bolivia.
- Prospección previa para excavaciones arqueológicas en Tiahuanaku, altiplano Boliviano.
- Relevamiento de cultivos de palma de aceite (Palma africana) en la región costera, Ecuador.

Conclusiones

La fotografía aérea digital es una poderosa herramienta de apoyo en terre-

nos que van desde la generación de una base para la confección de mapas hasta las posibilidades de ordenamiento catastral, la confección de planos para la construcción de instalaciones industriales, calles, oleoductos, líneas de conducción de energía y su control posterior y las cada vez más frecuentes presentaciones en 3-D, así como en varias de las actividades que se realizan en estudios de ecosistemas estratégicos, incluyendo la de ser fuente de información primaria. La calidad de la información que aporta supera en algunos aspectos la proveniente de otras fuentes, como las imágenes de satélite y las fotografías aéreas analógicas.

Su resolución permite discernir información tanto del terreno – incluyendo construcciones humanas –, así como del suelo, vegetación y cuerpos de agua, a un nivel de detalle de centímetros, lo que resulta de gran valor para cualquier estudio.

El desarrollo de las cámaras digitales revolucionará la teledetección en un corto plazo y facilitará la interpretación en múltiples disciplinas, incluidas las que intervienen en la conformación, manejo y control de aplicaciones fotogramétricas.

La fotografía aérea digital es una herramienta relativamente nueva que se desarrolla constante y rápidamente a un ritmo que supera el de su difusión. Por esta razón y porque a veces se la ve sólo como una variante dentro del mismo esquema de trabajo que se utilizaría empleando fotografía analógica, la fotografía aérea digital es muchas veces subutilizada, mal empleada y hasta discriminada. En este sentido deben también tenerse en cuenta las limitaciones en la exactitud alcanzable: Las cámaras de formato pequeño no logran llegar a precisiones fotogramétricas de un píxel y por esto no son apropiadas para registros catastrales, al contrario de las cámaras de formato medio y por supuesto, las de formato grande, las que pueden alcanzar exactitudes de menos de medio píxel. No obstante, para esto deben cumplirse determinadas condi-

ciones durante la toma de imágenes y el procesamiento de la información. Hasta el día de hoy no existen normativas obligatorias para la fotogrametría digital como las hay para las cámaras analógicas y el procesamiento de sus imágenes.

Para cada caso concreto, esta tecnología ofrece ventajas particulares. Tomemos por ejemplo el caso de la ecología y del manejo de áreas protegidas. Por un lado, la información geométrica puede permitir modelar desde arbustos individuales a cuencas hídricas. La radiométrica, reconocer y diferenciar especies, individuos, enfermedades y diversos tipos de estrés. Por otro lado, la flexibilidad en el espacio brinda la posibilidad de recoger la información en la escala que se considere más conveniente. La flexibilidad en el tiempo permite, dentro de ciertos márgenes, obtener la información que se necesita en el momento en que se la requiera o que puede ser mejor obtenida. La tercera ventaja de importancia se encuentra en el precio comparativamente bajo de los equipos y costos operativos. En general, para la fotogrametría y, en especial, en el caso de las áreas protegidas, la combinación de estos tres factores determina que la fotografía digital ofrezca en muchísimas situaciones, posibilidades que no ofrecen otras formas de sensoramiento remoto, y, en otras, la mejor relación costo/precisión/beneficio.

Recomendaciones

Explorar las posibilidades que esta nueva tecnología brinda para la fotogrametría y su aplicación en un sentido más amplio, usando con creatividad la información que generan.

Usar la fotografía digital a conciencia para descubrir sus posibilidades (no se trata de hacer sólo click en el obturador y en el mouse).

Aprender haciendo: Cada imagen de documentación expresa más que mil palabras.

Bibliografía

- CRAMER, M. 2005. Digital Airborne Camaras –Status y Future. En: Proceedings ISPRS Workshop, Hannover/Germany 2005. 8p.
- CRAMER, M. 2009. Digital Airborne Camera Performance – The DGPF-Test, Stuttgart PhoWo, S. 51-68
- DNP, FAO, DDT. 2003. Cartilla del Programa de Desarrollo Sostenible de La Mojana, PDSM. Impact Group.
- FARKAS, E. 2007. Empirische Genauigkeitsuntersuchung der DIGI-CAM H-22, Luftbildkamera, Diplomarbeit am Ifp TU Stuttgart
- GRAHAM, R., READ, R.E. 2002. Manual Aerial Survey: Primary Data Acquisition. Whittles Publishing.
- GRUBER M., LEBERL, F., PERKO R., 2003. Paradigmenwechsel in der Photogrammetrie durch digitaleLuftbildaufnahme? Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), H.4, August 2003,S.285-97.
- JACOBSEN, K. 2007. Geometry and Information Contents of Large Size Digital Frame Cameras. En IntArchPhRS XXXVI. Band 1/W51. Hannover, 2007. 7p.
- JENSEN, J.R. 2006. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Prentice Hall
- LEBERL F., PERKO R., GRUBER M., Ponticelli M. 2003. The UltraCam Large Format Digital Aerial Camera System. Proceedings Am. Soc. Photogrammetry and Remote Sensing Annual Convention, Anchorage, Alaska, published on CD, no page numbering.
- LEBERL F., M. GRUBER M. 2003. Economical Large Format Aerial Digital Camera. GIM International, June 2003, pp 12-15.

LILLESAND, R.W., KIEFER, W., CHIPMAN, J.W. 2007. Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley

MUNICIPIO DE AYAPEL. 2000. Plan básico de ordenamiento territorial San Jerónimo de Ayapel 2002-2012. Tomo I Diagnóstico Técnico.

NACIONES UNIDAS - Oficina contra la Droga y el Delito. 2006. Bolivia – Monitoreo de Cultivos de coca. 64 p.

PERKO, R., 2005. Image Quality: Digital Pansharpening Versus Full Color Film. Vexel, Graz 9 S.

REULKE, R. 2004. Digitale Luftbildkameras – Stand und aktuelle Entwicklung. Forum für Geomatik, Hamburg 2004

SANDAU, R. 2005. Digitale Luftbildkamera. Wichmann Verlag. Heidelberg. 342 p.

TERÁN, C., Jiménez, C., VILLANEDA, E., GONZÁLEZ, C. Análisis agroclimático de la región de La Mojana (Colombia).

En: <http://nates.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp35/2198-r.pdf> . 2007.

TRICHON, V. & Marie-Pierre, J. (2006). Tree species identification on large-scale aerial photographs in a tropical rain forest, French Guiana—application for management and conservation. Forest Ecology and Management, 225, 51–61.

Revistas recomendadas sobre fotografía digital:

- American Photo
- Colorfoto - www.colorfoto.de
- Computerfoto

6

Fuego y patrones de paisaje, un acercamiento a la gestión geomática en incendios forestales

Fuego y patrones de paisaje, un acercamiento a la gestión geomática en incendios forestales

Alexánder Ariza¹

Resumen

Muchas investigaciones han concluido un fuerte vínculo entre la variabilidad del paisaje y las áreas quemadas en incendios forestales, particularmente en zonas mediterráneas. Varios modelos de proyección climática sugieren que la severidad en incendios forestales podría incrementarse en el futuro y sobre todo en estas áreas. Estos cambios podrían conllevar importantes pérdidas en los recursos forestales y paisajísticos, alterando ecosistemas característicos, e incrementando el potencial de riesgo para las comunidades vegetales.

El uso de modelos empíricos y de simulación de reflectividad, así como el aporte de nuevos índices como el CBI (Composite Burned Index) constituyen importantes herramientas de análisis del régimen de fuegos y su influencia en la organización espacial de las comunidades.

Esta comunicación analiza los efectos de la severidad de incendios forestales en la composición y estructura del bosque a través de índices multitemporales (dNVI, dNBR y RdNBR) e imágenes de satélite clasificadas, relacionando su estructura espacial (homogeneidad, contraste, heterogeneidad, etc.) con la severidad del fuego. Los resultados preliminares de estos análisis muestran una tendencia de correlación directa entre los niveles de daño y las medidas de estructura del paisaje. Esta información aumenta el grado de conocimiento de los efectos medioambientales que conllevan los incendios forestales, pudiéndose usar como guía en la gestión y tratamiento de combustibles.

Palabras clave:

Teledetección, Incendios Forestales, Estructura del paisaje.

¹ Departamento de Geografía. U.A.H., C/Colegios s/n, 2-28801. Alcalá de Henares. Madrid. España, aax21161@alu.uah.es, alexandera-riza@gmail.com



Abstract

Many researches have concluded a strong link between the variability of the landscape and the areas burned in forest fires, particularly in Mediterranean zones. Several models of climatic projection suggest that the severity in forest fires (level of damage on the vegetation) might increase in the future and especially in these areas. These changes might carry important losses in the landscape and forest resources, altering typical ecosystems, and increasing the potential of risk for the forest communities.

The use of empirical models and of simulation of reflectivity, as well as the contribution of new indexes like the CBI (Composite Burned Index) they constitute important tools of analysis for the understanding of the regime of fires and you influence in the communities.

This paper analyzes the effects of the severity of forest fires in the composition and structure of the forest across multitemporary indexes (dNVI, dNBR and RdNBR) and classified images of satellite, relating the spatial structure (homogeneity, contrast, heterogeneity, etc.) with the severity of the fire. The preliminary results of these analyses show a trend of direct correlation between the levels of damage and the measures of structure of the landscape. This information increases the degree of knowledge of the environmental effects that carry the forest fires, being able to be used as guide in the management and treatment of fuels.

Key words:

Teledetection, Forest Fires, Landscape Pattern.

Introducción

El fuego es uno de los mayores agentes perturbadores de los patrones y procesos ecológicos. No sólo por su presencia, sino también por su intensidad y frecuencia (Miller et al., 2009). Son causantes de grandes efectos negativos en la degradación de suelos, pérdida de biomasa, biodiversidad (Doerr et al., 2006; Lewis et al., 2006; Salgado et al., 2004) y emisión de gases.

La comunidad científica generalmente está de acuerdo en que un sustancial calentamiento de la superficie de la Tierra (1,5 - 4,5 °C) acompañará a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (IPCC, 1996). La precipitación es probable que cambie, aunque la magnitud y la dirección de este cambio son todavía inciertas. ¿Cómo la vegetación responderá a estos cambios en el clima? Es una de las preguntas de gran importancia económica, social y de interés ecológico que derivan (Miller et al., 2009).

Los incendios han demostrado que tienen un impacto significativo sobre los ecosistemas forestales, dando como resultado una alteración del tamaño, disposición y estructura de la vegetación (Collins et al., 2007; Delcourt & Delcourt, 1997; Lloret, et al., 2002; Turner et al., 1994; Wimberly & Reilly, 2007). Por el contrario, la composición y configuración del bosque influye en la propagación y la severidad de el fuego (Collins et al., 2007; Stephens, 2001).

Otras variables como la topografía, la historia de perturbación (Bigler et al.,

2005), y condiciones climáticas han demostrado su influencia en la severidad de la quema (Collins et al., 2007; Pyne et al., 1996; Rothermel, 1972). A pesar de las intensas investigaciones de los estudios anteriores, es relativamente pequeño el conocimiento acerca de cómo los efectos de la severidad del fuego influyen en los distintos ecosistemas forestales, nuestra comprensión de la relación interactiva entre la severidad del fuego y las variables ambientales es aún limitada debido a la complejidad y la dinámica de las variables relevantes.

Los incendios forestales tienen un rango espectral y temporal muy alto se convierten en un reto para los investigadores, en este caso las técnicas de teledetección se presentan como una herramienta clave para enfatizar las interacciones entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos, que son causa y consecuencia de la heterogeneidad espacial.

Recientemente, se le ha dado más atención a la relación entre la estructura del paisaje y las características del fuego incluyendo severidad de la quema y la propagación (Miller et al., 2009; Bajocco & Ricotta, 2008). Algunos de estos estudios han demostrado un fuerte vínculo entre el área quemada (BA) y la estructura del paisaje descrita a través de medidas de patrón espacial (media del tamaño parche MPS, densidad de parches PD, índice promedio de forma MSI, diversidad de Shannon SHDI), llegando a la conclusión en la cual el bosque debe estar compuesto por numerosas y pequeñas de formas irregulares, y diferentes tipos de especies con el

fin de mitigar la propagación del fuego (Ryu et al., 2007). Desde una perspectiva de la ecología del paisaje, la estructura de los bosques puede ser vistos como dos dimensiones: (1) La composición y (2) la configuración (Turner et al., 2001). Ambos aspectos están fuertemente vinculados a las características de muchos incendios, tales como propagación, severidad, tipos de combustible, y la carga de combustible. Indirectamente, la estructura del paisaje está también estrechamente asociada con la composición y configuración posincendio, incluyendo la mortalidad y regeneración del bosque (Brown, 2000; Chuvieco, 1999). La estructura del paisaje también está relacionada con tratamiento de combustibles. Un tratamiento de combustible eficaz debe considerar los patrones espaciales de los bosques con el fin de interrumpir el flujo e intensidad del fuego (Finney, 2001).

Por lo tanto, comprender la relación entre la estructura del paisaje y las características del fuego es crítica para la gestión y/o recuperación de los bosques, principalmente en la mitigación de la erosión y la minimización en el tiempo de regeneración.

Este estudio investigó, a una pequeña escala, la relación existente entre la se-

veridad de la quema y la estructura del paisaje en el suroeste de la Comunidad de Madrid. El objetivo principal del trabajo es evaluar la relación existente entre el grado de severidad en incendios forestales y la estructura del paisaje, a partir de medidas de textura de índices multitemporales (dNVI, dNBR y RdNBR). Una buena correlación entre estas variables permitirá generar, una base de partida para la gestión de áreas quemadas a través de los tratamientos de combustibles, prácticas de manejo forestal, y procesos de restauración, con el fin de formular medidas que puedan reducir los riesgos de incendio, grado de severidad y aumentar la resistencia de los bosques a los incendios.

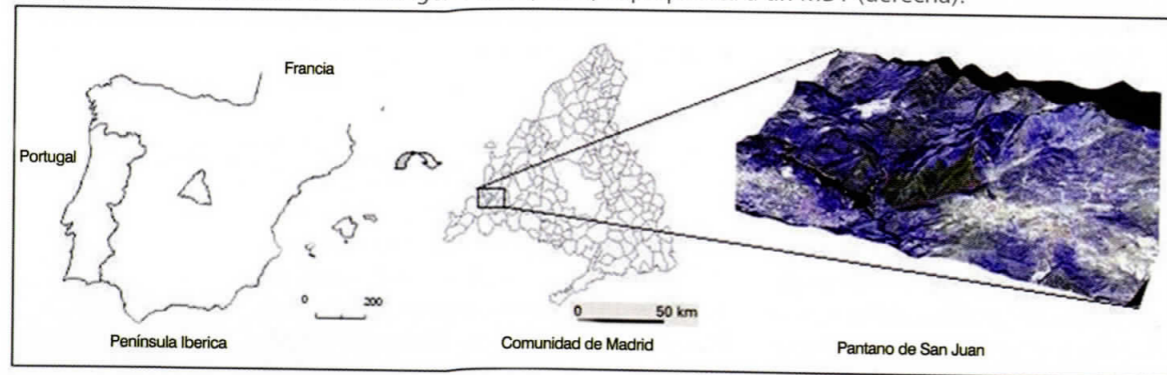
Materiales y métodos

Zona de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en las inmediaciones del pantano de San Juan, en la cuenca del río Alberche, ubicado a unos 60 km al sudeste de Madrid. Se extiende sobre los términos municipales de Pelayos de la Presa, San Martín de Valdeiglesias y Navas del Rey (Figura 1).

Figura 1.
Localización de la zona de estudio.

Composición en falso color sobre imagen Aster (3-2-1) superpuesta a un MDT (derecha).



Fuente: Elaboración propia

El incendio tuvo lugar el 27 de junio de 2003, arrasó 840 hectáreas de monte, que afectó principalmente a la superficie de monte bajo y matorral.

La superficie forestal predominante está compuesta por bosques mixtos de pinares y matorrales esclerófilos de encina, jara y romero. La especie predominante es el pino piñonero (*Pinus Pinea*), distribuido en sucesiones naturales y en zonas de repoblación con tratamiento silvícola.

Índice de severidad "Composite Burned Index" (CBI)

El *Composite Burned Index* (CBI) es un índice diseñado para evaluar la severidad en campo de un incendio forestal, mide los efectos o el grado de cambio ambiental causado por el fuego, desarrollado por el US Forest Service en el marco del proyecto Firemon (Fire Effects Monitoring and Inventory Project: <http://fire.org/firemon/>; Key y Benson, 2005). Su objetivo principal es cuantificar y proporcionar una escala de valor que refleje los efectos causados por el fuego a través de todos los estratos de una comunidad vegetal, arrojando un valor promedio de la condición de la quema en un área definida. La metodología del CBI parte de un diseño jerárquico, en donde el criterio de severidad de cada uno de los cinco estratos de vegetación es evaluado independientemente (sustrato, herbáceo, matorral y árboles pequeños, árboles intermedios y árboles grandes). Los tres primeros forman el sotobosque, y los dos últimos el dosel. Dando como resultado un valor numérico continuo comprendido en un rango de 0.0 (en áreas no quemadas) a 3.0 (en áreas de severidad alta). Esta evaluación se realiza sobre un área determinada, denominada parcela de muestreo; el tamaño de la parcela está directamente relacionado con la resolución del sensor a utilizar, en el caso de este trabajo se establecieron parcelas de 30x30 metros, ya que se

emplearon las bandas multispectrales de imágenes Landsat TM.

Los atributos de la comunidad son medidos a través de una matriz de criterio, que considera factores que corresponden a propiedades físicas como el color, la condición de los sustratos, vegetación consumida, regeneración preincendio, establecimiento de nuevas especies y oscurecimiento o carbonizado de los árboles, entre otros.

El valor del CBI en cada nivel está definido por:

$$CBI(A) = \sum \text{Puntuaciones} / N$$

Donde (A) indica el nivel o estrato evaluado y N es el número de factores evaluados para ese estrato. La suma de las puntuaciones recoge los valores obtenidos por cada factor observado en cada uno de los niveles del estrato.

El valor del CBI para cada uno de ellos será igual a la suma de los niveles comprendidos en los estratos que los constituyen. Concretamente:

$$CBI \text{ Sotobosque} = A + B + C$$

$$CBI \text{ Dosel} = D + E$$

Donde A es la suma de las puntuaciones a nivel sustrato, B hierbas y matorrales bajos, C matorral alto, D árboles intermedios y E árboles altos. El valor total de CBI para cada una de las parcelas está conformado por la suma de las puntuaciones en cada una de estas categorías:

$$CBI \text{ Parcela} = CBI \text{ Sotobosque} + CBI \text{ Dosel}$$

Selección y procesamiento de imágenes

Dentro de las técnicas más generalizadas en la detección de cambios dirigi-

dos específicamente a áreas quemadas se encuentran la utilización de índices de cocientes multitemporales. Estos análisis requieren la utilización de dos escenarios muy específicos. El primero de ellos hace referencia a las condiciones previas al incendio, y el segundo, a las condiciones posteriores al incendio. La detección y cartografía de efectos de fuego se realizó mediante la utilización del dNDVI, dNBR y rdNBR. Como estos índices diferenciales se calculan sobre la base de índices espectrales derivados de dos imágenes de entrada, las variaciones entre los índices no son siempre indicativos de cambios reales en la cubierta vegetal, sino de variaciones producidas por características en los diferentes sensores, condiciones atmosféricas, factores fenológicos, topográficos y geometrías de iluminación. De este modo se debe reducir al mínimo su efecto antes de su cálculo.

En este caso se ha empleado una imagen Landsat 5 TM adquirida el 17/06/2002 previa al incendio, y una segunda imagen Landsat 5 TM adquirida el 27/06/2003, ambas imágenes con un nivel de procesamiento L1T².

Posteriormente, estas imágenes fueron corregidas radiométricamente, convirtiendo los ND1 a valores de reflectividad, de esta manera se posibilita la comparación de los valores de textura entre imágenes de los distintos sensores. Un primer paso consistió en convertir los niveles digitales a valores de radiancia. Posteriormente, y para llevar a cabo la homogeneización radiométrica entre las distintas imágenes, se convirtieron a valores de reflectividad, empleando el modelo simplificado propuesto (Chander, 2009). De esta manera se posibilita la comparación de los valores de textura entre los distintos índices.

Adicionalmente, se aplicó la corrección del efecto de sombreado, utilizando el MDT, y teniendo en cuenta los ángu-

los de elevación y acimutal solares para cada una de las imágenes.

Índices espectrales

Con el fin de relacionar e identificar más adecuadamente las variaciones espaciales y los niveles de severidad producidos por el incendio, se calcularon índices espectrales. El primero, el índice de vegetación normalizado (NDVI), comúnmente utilizado en estudios de vegetación, y en trabajos de ecología espacial, informa acerca de la biomasa, densidad y tipo de vegetación presente.

$$NDVI = (\rho IRC - \rho R) / (\rho IRC + \rho R)$$

En donde, "ρIRC y ρR", indican las reflectividades en las bandas del infrarrojo cercano y el rojo (bandas TM 4 y 3), respectivamente. Uno de los inconvenientes en la utilización de este índice para la discriminación de áreas quemadas es que la señal de la vegetación aquí está muy influenciada por la atmósfera, reduciendo la sensibilidad para detectar los daños causados por el fuego (Koutsias et al., 1999).

Con el fin de aislar las áreas quemadas, y para proporcionar una medida cuantitativa del cambio absoluto en el conjunto de datos de NDVI derivados después del incendio, se resta del conjunto de datos obtenidos a partir de NDVI antes de incendio, de forma que se generó dNDVI:

$$dNDVI = NDVI \text{ pre-incendio} - NDVI \text{ pots-incendio}$$

De esta manera el dNDVI manifiesta una diferenciación temporal del NDVI relacionando el nivel de carbonización

de la vegetación y el suelo en el área quemada. Sin embargo, se ha observado una tendencia de estos modelos inductivos a generalizar las relaciones, perdiéndose calidad en los valores más bajos y más altos del rango de CBI (Chuvieco et al., 2007).

El segundo índice, el NBR (*Normalized Burnt Ratio*) es similar en construcción, pero a diferencia del NDVI, las dos bandas integradas en su cálculo responden en gran medida al área quemada. El NBR proporciona una medida óptima de la severidad de incendio y una señal eficaz para efectos del fuego (Key y Benson, 1999).

$$NBR = (\rho IRC - \rho SWIR) / (\rho IRC + \rho SWIR)$$

En donde ρ IRC corresponde a la reflectividad en la banda del infrarrojo cercano y ρ SWIR a la reflectividad en la banda del infrarrojo de onda corta (entre 1 y 2.5 micras), bandas 4 y 7 TM, respectivamente.

El dNBR proporciona información relacionada con el tamaño, la composición y la complejidad del área quemada dNBR (Key y Benson, 1999):

$$dNBR = NBR \text{ pre-incendio} - NBR \text{ post-incendio}$$

Este índice diferencial "dNBR" posee una correlación directa con la magnitud de los cambios ambientales provocados por el fuego, es decir, la severidad de la quema que se refiere a los efectos del fuego sobre la previamente comunidades vegetales existentes (Key y Benson, 2005).

Recientemente, se ha desarrollado un índice relativo derivado del dNBR, este índice relativo de cambio es el resultado de la división del dNBR por el valor de NBR pre-incendio. El cambio absoluto del índice convertido en un tanto por

ciento y el resultado índice de cambio relativo varía linealmente con la variable de la de interés, que es la gravedad en nuestro caso (Miller & Thode, 2007):

$$RdNBR = \frac{NBR_{PRE-FIRE} - NBR_{POST-FIRE}}{\sqrt{ABS(NBR_{PRE-FIRE}/1000)}}$$

A diferencia del índice absoluto (dNBR), el índice relativo (rdNBR) proporciona una definición más coherente de la gravedad permitiendo la comparación de los incendios a través del espacio y del tiempo. Además, la clasificación de un índice relativo proporciona mayores precisiones para categorías altas de severidad en paisajes heterogéneos.

Análisis de textura a partir de la matriz de concurrencias

La matriz de concurrencias es una de las metodologías más usadas en el análisis de textura espacial en imágenes de intervalo. Esta técnica propone el cálculo de parámetros texturales a partir de una matriz cuadrada de dependencia espacial de los niveles de gris (Haralick et al 1973), a los cuales se le aplican diferentes parámetros estadísticos.

Los elementos de esta matriz (P_{ij}) representan las frecuencias relativas de los niveles de gris (i y j) de cada combinación espacial entre dos píxeles o ND, separados una distancia d , en una determinada dirección. La textura de la imagen está relacionada con la distancia de los valores de la matriz a su diagonal, de esta manera cuanto mayor sean los valores cercanos a la diagonal, más homogénea será la textura que se represente, mientras que cuanto más alejados se encuentren de la diagonal mayor heterogeneidad espacial y tonal presentará la imagen.

Los índices de textura extraídos a partir de la matriz de concurrencias que se han utilizado en este trabajo son:

Homogeneidad:

$$H = \frac{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m (p_{ij}))}{(1+IR_i) - IC_i^2}$$

Disimilitud:

$$D = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n (p_{ij})) * (\overline{IR_i}) - IC_i$$

Desviación estándar:

$$DS = \sqrt{\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n (p_{ij})) * (IR_i - media_i^2)}$$

Segundo Momento Angular:

$$SMA = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n (p_{ij})^2)$$

Correlación:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n (p_{ij}) * (IR_i - IR_m)) * (IC_j - IC_m)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n (p_{ij}) * (IR_i - IR_m)^2)) * (\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m (p_{ij}) * (IC_j - IC_m)^2))}}$$

Donde IR_i, IC_j representa la frecuencia relativa de cada combinación espacial en un determinado par de ND *i* y *j*, (p_{*i,j*}) indica la posición *i,j* de la matriz de concurrencia, la media_{*i*} señala el valor medio en filas y *n* el número de columnas y líneas de la matriz.

Este análisis de textura se realizó mediante la aplicación de índices estadísticos contenidos dentro del módulo de análisis de textura de PCI Geomática 10, en función de la resolución espectral. De esta manera, se obtuvieron tres tipos de correlación diferente, la primera sobre la imagen del dNDVI, la 2a. y 3a. sobre dNBR y el rdNBR.

A partir de estas imágenes se obtuvieron 8 características de textura, extraídas de la matriz de concurrencias. Estas medidas se calcularon dentro de una ventana de 3x3 píxeles, donde la dirección de las relaciones texturales se tomó como el promedio de las cuatro direcciones principales,

Contraste:

$$C = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n (p_{ij})) * (IR_i) - IC_i^2$$

Media:

$$M = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n (p_{ij})) * (IR_i) - p_{ij}$$

Entropía:

$$E = \sum_{i=0, n-1} \sum_{j=0, n-1} (-p_{ij} \log(p_{ij}))$$

ya que las clases consideradas carecen de una dirección dominante.

Después de obtenidas las imágenes de textura y mediante la superposición de capas vectoriales se procedió a extraer los valores para cada una de las parcelas previamente georreferenciadas (mediante GPS). Estos valores serán comparados y correlacionados tanto con los valores de severidad del modelo empírico (CBI) así como a través de los obtenidos por los índices espectrales multitemporales (dNDVI, dNBR y rdNBR).

Resultados y discusión

Los resultados de las mediciones realizadas mediante el CBI revelan diferentes grados de afectación del fuego dentro de los estratos de la vegetación, así como también entre los diferentes tipos de coberturas. Estos resultados están comprendidos dentro de un rango de intervalos definidos en cuatro categorías (Tabla 1):

Tabla 1.
Distribución del CBI

Nivel de severidad	Rango de CBI	Frecuencia	Porcentaje
No afectado	0 >, ≤ 0.5	0	0
Bajo	0.5 >, ≤ 1.5	5	10
Moderado	1.5 >, ≤ 2.5	27	54
Alto	2.5 >, ≤ 3.0	18	36
Total		50	100

Fuente: elaboración propia

En términos generales, el incendio presenta una severidad media-alta, obteniendo un promedio de 2.19 de CBI para el total de las parcelas. Estos valores de severidad producidos por el fuego se concentran en mayor medida sobre las categorías media, con un 54%, y alta con un 36%. El incendio se extendió principalmente en superficie, afectando en mayor medida la vegetación herbácea y los matorrales de encina. En promedio, el área quemada de sotobosque alcanza un 91.20%, mucho mayor que a nivel de dosel, en donde la afectación alcanza el 58.01%. Esta información, junto a la obtenida en campo a partir de la evaluación visual de la parcela, nos permitió caracterizar y describir el estado de cada una de las cubiertas.

Los valores de CBI obtenidos presentan una tendencia de severidad variable según el tipo de cobertura. Analizando la distribución de frecuencias por categorías de vegetación (Figura 2), observamos, que el nivel de severidad se incrementa en coberturas dominadas exclusivamente por matorrales, es el caso de parcelas compuestas en su totalidad por matorral de encinas (E), en donde los niveles de alta severidad alcanzan hasta un 80% del total, con valores que superan los 2.6 de CBI en promedio. De igual manera, las coberturas mixtas de encina-jara (EJ) presen-

tan 100% de severidad alta, con valores máximos que alcanzan hasta los 2.83. En general, el valor del índice de severidad aumenta a medida que disminuye el porcentaje de dosel en la parcela. La afectación es mayor a nivel de sotobosque. Al tratarse de un fuego de superficie, los grados de severidad alta se concentran en mayor proporción sobre las comunidades de estrato bajo; este comportamiento se observa en las coberturas de encinas (Figura 2), ya que es la especie que conforma en gran parte el estrato de sotobosque.

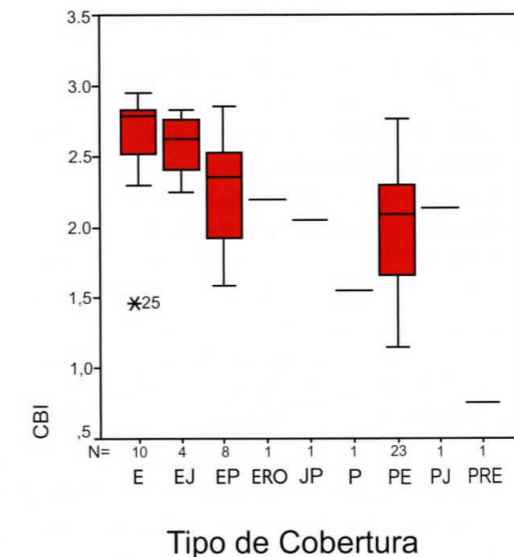


Figura 2.
Valores de CBI, distribuidos según tipo de cobertura.
Fuente: Elaboración propia

Índices Multitemporales

Los resultados obtenidos a partir del dNDVI mostraron una notable diferencia en relación al dNBR y el rdNBR. En términos generales el dNDVI muestra una discriminación del área afectada por el incendio; no obstante, también se aprecia que la zona quemada posee poco contraste en relación a otras cu-

biertas como zonas de agua o coberturas con escasa presencia de vegetación (Figura 3). Este es uno de los principales problemas a la hora de discriminar coberturas de este tipo mediante análisis de texturas (Soe, 2000). El rango de valores es mucho más estrecho varía entre -354.6880 para zonas muy, afectadas, hasta 574.754 pastizales afectados (Tabla 2).

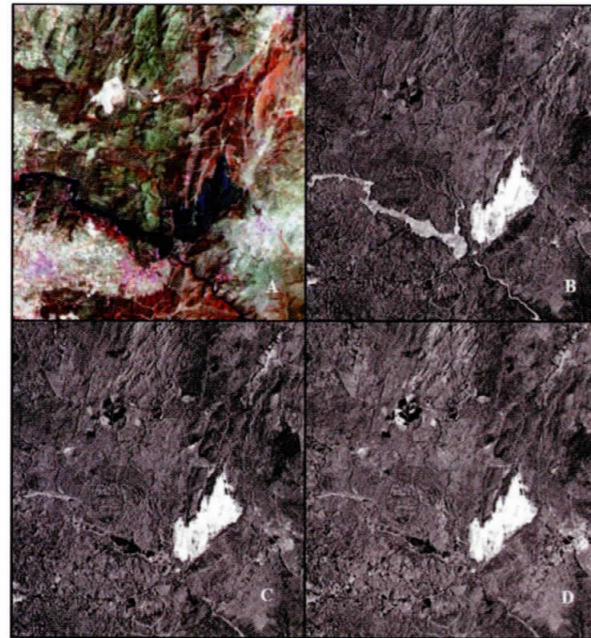


Figura 3. Diferenciación entre índices espectrales.

A) Composición TM (5/4/3), B) dNDVI, C) dNBR, D) rdNBR. Fuente: elaboración propia

Por otro lado, el dNBR ofrece con mayor claridad y nitidez la zona afectada por el incendio, responde mejor que el dNDVI a esta variación (Figura 3). Las áreas quemadas pueden distinguirse de forma adecuada de las áreas sin quemar, y de otro tipo de cubiertas. El dNBR exhibe una

amplia gama de valores, que aumenta su rango en más de un 51% en comparación con el dNDVI; varía entre -752.8190 y 1029.7000 (Tabla 2). Este rango aparece para resolver la amplitud de los efectos del fuego, ya que revela la complejidad espacial (Key y Benson, 2005).

Tabla 2. Descripción estadística en los índices espectrales multitemporales

Índice	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
dNDVI	13.6367	8.3470	-354.6880	574.754	63.3832
dNBR	31.3036	24.1249	-752.8190	1029.7000	99.1351
rdNBR	15.5800	16.0171	-1669.7500	491.2170	91.9500

Fuente: Elaboración propia

Las áreas no afectadas o sin ninguna variación responden a valores de dNBR cercanos a cero. Asimismo, las zonas afectadas fuertemente asumen valores positivos o negativos, dependiendo de la severidad del fuego o si se mejora la productividad en el sitio. Este último puede ocurrir en comunidades herbáceas, donde de la severidad de la vegetación es ligera y/o efímera, dando una respuesta rápida al vigor renovado mediante la liberación de nutrientes, o de otros factores después del fuego (Key y Benson, 2005).

La delimitación de las categorías de severidad entre rdNBR y dNBR es muy similar, las dos dan lugar a clasificaciones con una precisión similar. La diferencia radica principalmente en un aumento de complejidad en torno a valores alrededor de

los -1000. Un umbral posiblemente relacionado con los patrones de paisaje de conjunto producida por el fuego (Miller & Thode, 2007).

Análisis estadístico de correlación

El valor de correlación entre el nivel de severidad (CBI) y los índices de textura varía en función al tipo de índice espectral utilizado; siendo mayor y positivo en el dNBR ($r = 0,438$) que en el dNDVI ($r = 0,404$). En este último los mayores coeficientes de correlación positivos se obtienen sobre la homogeneidad ($r = 0,304$) y el segundo momento angular ($0,439$), mientras que es negativa sobre la entropía ($r = -0,403$) (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre la severidad, el dNDVI los índices severidad y las medidas de textura

	CBI	dNDVI	HO	CO	DI	M	DS	EN	2º M
dNDVI	0,404**								
HO	0,304*	0,798**							
CO	-0,204	-0,518**	-0,729**						
DI	-0,254	-0,658**	-0,881**	0,961**					
M	0,225	0,674**	0,845**	-0,885**	-0,934**				
DS	-0,293*	-0,690**	-0,893**	0,935**	0,990**	-0,935**			
EN	-0,403**	-0,838**	-0,929**	0,550**	0,726**	-0,716**	0,765**		
2º M	0,439**	0,824**	0,886**	-0,480**	-0,659**	0,647**	-0,700**	0,886**	
CO	0,035	0,217	0,398**	-0,292*	-0,353*	0,247	-0,290*	0,398**	0,271

(HO) homogeneidad, (CO) Correlación, (DI) Disimilaridad, (M) media, (DS) desviación estándar, (EN) entropía, (2ºM) 2º momento angular. ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). * La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

En particular el dNBR presenta la mayor correlación positiva. Esta diferencia radica principalmente en el aumento en el grado de correlación de los niveles de severidad obtenidos en campo (CBI) con el dNBR derivado de las dos imágenes. Las medidas de textura con mejor respuesta, obtenidos sobre el dNBR son: La homogeneidad con un coeficiente

de correlación de ($r = 0.459$) en la, y la media con ($r = 0.520$), respectivamente (Tabla 4).

En concreto, es más probable que un nivel alto de severidad ocasione un mayor grado de homogeneidad en el paisaje. Al mismo tiempo que disminuya su complejidad espacial.

Tabla 4.
Coeficientes de correlación de Pearson entre la severidad, el dNBR los índices severidad y las medidas de textura

	CBI	dNBR	HO	CO	DI	M	DS	EN	2º M
dNBR	0,438**								
HO	0,459**	0,671**							
CO	0,459**	0,671**	0,459**						
DI	-0,507**	-0,515**	-0,823**	0,974**					
M	0,520**	0,520**	0,785**	-0,974**	-0,989**				
DS	-0,463**	-0,584**	-0,875**	0,894**	0,960**	-0,937**			
EN	-0,429**	-0,690**	-0,918**	0,463**	0,629**	-0,918**	-0,429**		
2º M	0,429**	0,680**	0,881**	-0,412**	-0,571**	0,881**	-0,991**	0,429**	
CO	0,29*	0,349*	0,713**	-0,490**	-0,568**	0,713**	-0,542**	0,536**	0,291*

(HO) homogeneidad, (CO) Correlación, (DI) Disimilaridad, (M) media, (DS) desviación estándar, (EN) entropía, (2ºM) 2º momento angular. ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). * La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

En el caso del rdNBR, el mejor resultado se obtuvo sobre el índice de media con ($r = 0.520$) evidenciando una relación directa con el índice absoluto. En términos generales la severidad se relaciona negativamente con la entropía, pero a diferencia del dNBR, el rdNBR es mayor

($R = -0.796$) en el índice relativo (Tabla 5). Este comportamiento de la severidad a través de este índice ha sido señalado en los estudios previos, y sugieren que el tamaño del fuego es significativamente ligado a tipos de cobertura terrestre (Miller & Thode, 2007).

Tabla 5.
Coeficientes de correlación de Pearson entre la severidad, el rdNBR los índices severidad y las medidas de textura

	CBI	rdNBR	HO	CO	DI	M	DS	EN	2º M
rdNBR	0,379**								
HO	0,416**	0,769**							
CO	-0,491**	-0,502**	-0,736**						
DI	-0,480**	-0,626**	-0,869**	0,972**					
M	0,520**	0,573**	0,775**	-0,968**	-0,967**				
DS	-0,430**	-0,712**	-0,918**	0,892**	0,963**	-0,900**			
EN	-0,436**	-0,796**	-0,945**	0,571**	0,725**	-0,649**	0,818**		
2º M	0,427**	0,771**	0,891**	-0,492**	-0,643**	0,579**	-0,743**	-0,986**	
CO	0,300*	0,292*	0,626**	-0,512**	-0,555**	0,488**	-0,442**	-0,511**	0,496**

(HO) homogeneidad, (CO) Correlación, (DI) Disimilaridad, (M) media, (DS) desviación estándar, (EN) entropía, (2ºM) 2º momento angular. ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). * La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Conclusiones

El análisis de las distintas correlaciones estudiadas demuestra una alta correspondencia entre el nivel de severidad y los patrones de estructura del paisaje. No obstante, se pudo comprobar que un aumento en el nivel de severidad implicaba una disminución de la diversidad paisajística, dando lugar a zonas más homogéneas de menor contraste.

Los resultados obtenidos indican la gran influencia directa que tiene el uso de diferentes índices temporales en el análisis de textura, convirtiéndolos en factores decisivos a tener en cuenta en trabajos de caracterización de la estructura espacial.

Por otro lado, a nivel espectral el dNDVI no ha sido muy sensible a las fuentes de complejidad espacial provenientes del área quemada, siendo el dNBR el mejor indicador biofísico en este tipo de cubiertas. Estudios futuros deberían incluir múltiples estimadores de las características de la cubierta vegetal afectada por el incendio.

Teniendo en cuenta que el presente trabajo se abordó desde el punto de vista multitemporal, queda como posible punto de partida en investigaciones futuras la relación de la variable espacial, con el fin de determinar su influencia en los cambios en la estructura de la vegetación obedecen a la influencia del fuego y no a la estructura dinámica de la vegetación.

Referencias Bibliográficas

- BAJOCCO, S., Ricotta, C., 2008. Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer? *Landscape Ecology*, 23, 241-248.
- BROWN, J.K., 2000. Ecological principles, shifting fire regimes and management considerations. In: Brown, J.K., Smith, J.K. (Eds.), *Wildland Fire in Ecosystems-Effects of Fire on Flora*, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, RMRS-GTR-42-volume 2, 185-203.
- CHANDER, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, 893-903.
- CHUVIECO, E., De Santis, A y Yebra, M., 2007. Reflexiones sobre el empleo de modelos empíricos y de simulación en la estimación de variables ambientales: aplicaciones en gestión de incendios forestales. *Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. 161-178.
1999. "Measuring changes in landscape pattern from satellite images: short-term effects of fire on spatial diversity". *International Journal of Remote Sensing*, 20, 2331-2346.
- COLLINS, B.M., Kelly, M., van Wagtenonk, J.W., Stephens, S.L., 2007. Spatial patterns of large natural fires in Sierra Nevada wilderness areas. *Landscape Ecology*, 22, 545-557.
- DELCOURT, H.R., Delcourt, P.A., 1997. Pre-Columbian Native American use of fire on southern Appalachian landscapes. *Conservation Biology*, 11, 1010-1014.
- DOERR, S.H., Shakesby, R.A., Blake, W.H., Chafer, C.J., Humphreys, G.S., & Wallbrink, P.J. 2006. Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology*, 319, 295-311.

- FINNEY, M.A., 2001. Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior. *For. Sci.* 47, 219-228.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996. *Climate change 1995: the science of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LEWIS, S.A., Wu, J.Q., & Robichaud, P. R. 2006. Assessing burn severity and comparing soil water repellency, Hayman fire, Colorado. *Hydrological Processes*, 20, 1-16.
- LLORET, F., Calvo, E., Pons, X., Díaz-Delgado, E., 2002. Wildfires and landscape patterns in the eastern Iberian Peninsula. *Landsc. Ecol.* 17, 745-759.
- PYNE, S.J., Andrews, P.L., Laven, R.C., 1996. *Introduction to Wildland Fire*. John Wiley & Sons Inc., New York, NY, 51-63.
- MILLER J.D., Safford H.D. Crimmins M., & Thode A.E.. 2009. Quantitative Evidence for Increasing Forest Fire Severity in the Sierra Nevada and Southern Cascade Mountains, California and Nevada, USA, *Ecosystems* 12: 16-32.
- ROTHERMEL, R.C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. General technical report INT-115. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Ogden, UT, 40.
- RYU, S.R., Chen, J., Zheng, D., Lacroix, J.L., 2007. Relating surface fire spread to landscape structure: an application of Farsite in a managed forest landscape. *Landsc. Urban Plan.* 83, 275-283.
- SALGADO, J., Mato, M.M., Vázquez-Galiñanes, Paz-Andrade, M.I., & Carballas, T. 2004. Comparison of two calorimetric methods to determine the loss of organic matter in Galician soils (NW Spain) due to forest wildfires. *Thermochimica Acta*, 410, 141-148.
- STEPHENS, S.L., 2001. Fire history of adjacent Jeffrey pine and uppermontane forests in the eastern Sierra Nevada. *Int. J. Wildland Fire* 10, 161-176.
- TURNER, M.G., Romme, W.H., 1994. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landsc. Ecol.* 9, 57-77.
- TURNER, M.G., Hargrove, W.W., Gardner, R.H., Romme, W.H., 1994. Effects of fire on landscape heterogeneity in Yellowstone National Park, Wyoming. *Journal of Vegetation Science* 5, 731-742.
- TURNER, M.G., Gardner, R.H., O'Neill, R.V., 2001. Introduction to landscape ecology. In: Turner, M.G., Gardner, R.H., O'Neill, R.V. (Eds.), *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Springer-Verlag, NY, 1-23.
- WIMBERLY, M.C., Reilly, M.J., 2007. Assessment of fire severity and species diversity in the southern Appalachians using Landsat TM and ETM+ imagery. *Remote Sens. Environ.* 108, 189-197.

Sistema de Información Geográfico y Cartográfico - GEOCARTO

Ángela Espitia Pinto¹

Resumen

Con el objetivo de fortalecer la gestión de la producción y divulgación de los productos cartográficos y geográficos oficiales del país, la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi ha implementado el proyecto "Sistema de Información Geográfico y Cartográfico - GEOCARTO", el cual tiene como misión vital administrar, preservar y difundir la información del proceso de producción de cartografía y geografía.

GEOCARTO se diseñó conceptualmente por módulos para imágenes, puntos de control geodésico, nombres geográficos y productos cartográficos y geográficos.

El Portal está sobre la plataforma contenedora de Portlets de código abierto Jboss Portal, la arquitectura también se apoya en tecnologías como J2EE, Hibernate, RichFaces, Oracle, LDAP y Argis Server para administración de datos espaciales.

Palabras Clave

Aerofotografías, ArcGis, ArcSDE, cartografía, clasificación de campo, diccionario geográfico, geodesia, geografía, Hibernate, IGAC, J2EE, JBOSS, LDAP, Oracle, Portal Web, Portlets, puntos geodésicos, RichFaces, servicios geográficos, sistema de información, tecnología, toponimia, visores geográficos.

Abstract

Pursuing the goal of strengthen the production and broadcasting management of the mapping and geographic products of the country, the Agustín Codazzi Geographic Institute Geographical and Mapping Subdirection has developed the "Geographic and Mapping Information System - GEOCARTO" project, whose main mission is to manage, preserve and broadcast the information of the mapping and geographic production process.

GEOCARTO is designed and built conceptually by modules, the highlights are: aerial pictures, geodesical control points, geographic names, mapping products and geographic products.

The Web Portal is under an Open Source portlet container platform, Jboss Portal, whose architecture also includes technologies such J2EE, Hibernate, RichFaces, Oracle, LDAP and Argis Server for space data management.

Keywords

Aerial Photographs, ArcGis, ArcSDE, Mapping, field Classification, geographic Dictionary, geodesy, geography, Hibernate, IGAC, J2EE, JBOSS, LDAP, ORACLE, Portal Web, Portlets, Geodesic Points, RichFaces, geographic Services, Information System, Technology, toponymy, geographic Viewers.

7 Sistema de Información Geográfico y Cartográfico - GEOCARTO

¹ aespitia@igac.gov.co. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Geografía y Cartografía.



Introducción

Enmarcados dentro del direccionamiento estratégico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, como entidad líder de producción de información y servicios en materia de cartografía y geografía, nace la estrategia de diseñar y desarrollar un único sistema que integre la gestión de producción de esta información.

Esta estrategia es identificada, estudiada y puesta en desarrollo bajo el liderazgo de la Subdirección de Geografía y Cartografía como un proyecto estratégico dentro del plan de desarrollo,

atendiendo los parámetros de calidad, eficiencia y eficacia del Instituto.

Este proyecto toma el nombre de "Sistema de Información Geográfico y Cartográfico - GEOCARTO" y tiene como función vital administrar, preservar y difundir la información del proceso de producción cartográfico y geográfico de la Subdirección de Geografía y Cartografía.

Para el desarrollo de este proyecto, se eligió una metodología basada en Proceso Unificado (UP)², por sus características de desarrollo iterativo e incremental, que permite garantizar un producto preciso frente a los requerimientos de la producción.

Figura 1.
Arquitectura
Conceptual
GEOCARTO



GEOCARTO se concibe conceptualmente como un sistema modular constituido por los módulos de 'Imágenes', 'Control Geodésico', 'Nombres Geográficos' y 'Productos Cartográficos y Geográficos', como ilustra la Figura 1. La integración de todos los módulos constituyen un sistema de consulta a nivel interno del Instituto, que permite obtener información precisa de una manera eficaz, oportuna y sencilla para el resto de dependencias y Subdirecciones del IGAC, mediante el despliegue de un portal con interfaces claras, elegantes y de alto grado de usabilidad dentro de la infraestructura de la Subdirección.

Metodología

El marco de desarrollo de software sobre el que se construye GEOCARTO es Proceso Unificado, el cual, gracias a sus características de administración de requerimientos, control de cambios y verificación de calidad de software se adapta perfectamente a los requerimientos específicos del sistema.

Esta metodología proporciona una buena base de arquitectura y una gran cantidad de material para construir una definición de procesos. La metodología consta de cuatro fases: Inicial, elaboración, construcción y transición. En la primera fase, se identificaron y establecieron los requerimientos mediante el modelamiento de casos de uso y se establecieron los alcances del sistema. Durante la segunda fase, se definió la arquitectura del sistema, se estudiaron las alternativas tecnológicas, se estableció el diseño lógico del sistema y el modelo de Base de Datos.

En la fase de construcción, se desarrollan los componentes y se construye en sí el software, durante esta etapa se realiza también una validación de los requisitos y un control de calidad del producto. En la fase final se implementa el sistema en producción y se da seguimiento al uso del mismo, a través de la implementación de mejoras y nuevos requerimientos, dando paso a un proceso iterativo.

La fase Inicial y de Elaboración del proyecto establecieron una arquitectura conceptual del sistema segmentada en módulos. Esta arquitectura es homóloga al proceso de producción geográfico y cartográfico y consta de los siguientes módulos: Imágenes, Control Geodésico, Nombres Geográficos y Productos Cartográficos y Geográficos. Estos módulos se construyen basándose en un diseño sobre estándares y en una recopilación de buenas prácticas de ingeniería de software.

La fase de construcción inició en el año 2008, con el módulo de Imágenes y durante el año 2009 se llevó a cabo la fase de transición de este módulo. Actualmente, se encuentra en funcionamiento dicho módulo, en el cual se destacan funcionalidades como la gestión de la información de todos los vuelos y aerofotografías a cargo de la Subdirección, búsquedas especializadas de estas aerofotografías, consultas de esquemas, visualización geográfica de vuelos, visualización previa de la aerofotografía, entre otras.

Durante los años venideros (2010-2012) se implementarán los módulos restantes que tendrán funcionalidades como:

2 Proceso Unificado de Desarrollo de Software. Ivar Jacobson, Grady Booch, James Rumbaugh.

Módulo de Control Geodésico: Gestión y consulta de puntos geodésicos, estereoscópicos, gravimétricos y geomagnéticos; gestión y consulta de las descripciones de estos puntos; generación de certificaciones de las coordenadas, visualización geográfica de puntos.

Módulo de Nombre Geográficos: Consulta y gestión de entidades geográficas y topónimos del país, gestión del estudio y documentación de nombres geográficos, gestión del proceso de clasificación de campo, consulta y gestión de diccionario geográfico, búsquedas especializadas de topónimos.

Módulo de Productos Geográficos y Cartográficos: Control y seguimiento de los proyectos geográficos y cartográficos, gestión y consulta de metadatos de los productos geográficos y cartográficos, control y seguimiento de versiones de productos, control y seguimiento de insumos de productos geográficos y cartográficos. Este último módulo es un módulo integrador, pues permite referenciar los insumos de los productos cartográficos y geográficos

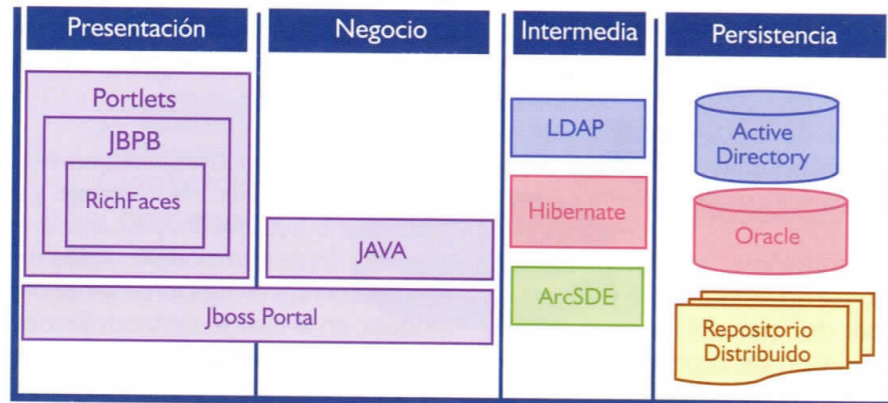
cos frente a aerofotografías, puntos de control y nombres geográficos.

La implementación de todos los módulos del Sistema GEOCARTO, no sólo permitirá la consulta de información de producción de la Subdirección, si no que actúa como facilitador a la normalización de cada uno de los procesos internos, pues permitirá dar un seguimiento y control a cada uno de los proyectos, lo que optimiza tiempos de producción y calidad de los productos de la Subdirección de Geografía y Cartografía.

Arquitectura

GEOCARTO contempla una arquitectura por capas o niveles, como se observa en la Figura 2, esta arquitectura permite separar la lógica de negocios, de la lógica de diseño, en este tipo de arquitecturas a cada nivel se le confía una misión específica sobre el desarrollo del sistema, esto garantiza un diseño escalable, que puede ampliarse con facilidad cuando se identifiquen nuevos requerimientos.

Figura 2. Arquitectura Lógica GEOCARTO



Esta arquitectura brinda grandes ventajas, pues garantiza una versatilidad para realizar cambios, permitiendo solo efectuar modificaciones en el nivel requerido sin la necesidad de revisar en código mezclado. Así mismo, brinda la posibilidad de distribuir el trabajo de desarrollo, lo que conlleva a que un

grupo de trabajo esté abstraído del resto de niveles, solo basta con conocer la interfaz de enlace entre cada uno de los niveles.

Los módulos de GEOCARTO constan de varios ejes temáticos que se construyen sobre Portlets, que son componentes

modulares de las interfaces de usuario gestionadas y visualizadas en un Portal Web.

Estos Portlets se encuentran alojados sobre la Plataforma de código abier-

to JBoss Portal³, que permite publicar aplicaciones e información en una única interfaz de portal, simplificando así, el acceso a estas aplicaciones y proporcionando una única fuente de interacción con la información corporativa. Ver Figura 3.

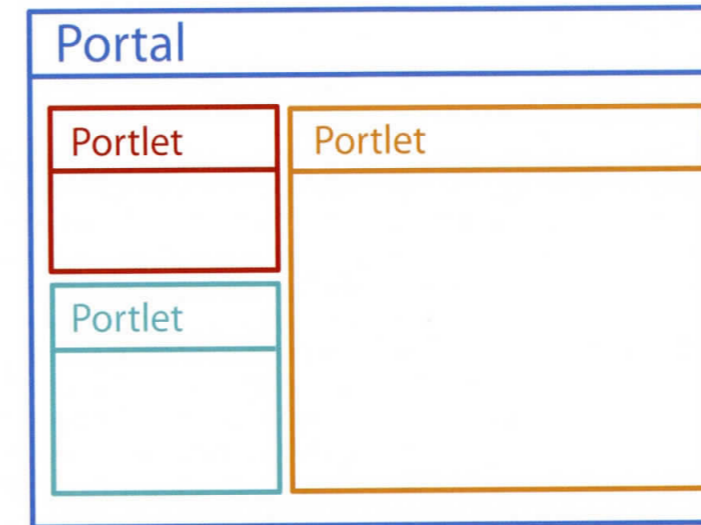


Figura 3. Contenedor de Portlets

JBoss Portal integra la especificación Java Portlet (JSR-168), GEOCARTO se acopla a esta especificación, que define un API⁴ común para Portlets y la infraestructura que proporciona servicios para su personalización, presentación y seguridad, de esta forma los Portlets que se adhieren a esta especificación, pueden ser desplegados en cualquier otro Portal, que soporte JSR-168.

Para facilitar la integración de las prestaciones de componentes AJAX (Asynchronous JavaScript And XML), en la capa de presentación de la arquitectura de GEOCARTO, se utilizan los componentes de la librería para JSF (Java Server Faces): RichFaces⁵. Para la mediación entre los Portlets y los componentes JSF se usa la implementación de la especificación JSR-301⁶: JBPB⁷ (JBoss Portlet Bridge).

JBoss Portal también soporta estándares de Internet abierto como WSRP (Web Services for Remote Portlets). Este estándar define como conectar servicios web remotos en las páginas de portales en línea y otras aplicaciones JBoss Portal, permitiendo incorporar servicios Web y componentes basados en J2EE en el portal mediante portlets. Esta característica permite la integración con servicios web de información geográfica, los cuales son desarrollados con Argis Server.

Para la interfaz entre el nivel de negocio y el nivel de persistencia se utiliza la tecnología de mapeo Objeto-Relacional Hibernate⁷, esta tecnología facilita la persistencia de bases de datos relacionales en objetos Java y al mismo tiempo la consulta de los datos para obtener objetos.

3 <http://jboss.org/jbossportal>
 4 API (Application Programming Interface): Interfaz de programación de aplicaciones, es un conjunto métodos que ofrece una librería para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.
 5 <http://www.jboss.org/jbossrichfaces/>
 6 <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=301>
 7 <https://www.hibernate.org/>

En cuanto a la autenticación de usuarios, GEOCARTO se integra con el repositorio de información de usuario Active Directory⁸ de Microsoft implementado en la Subdirección, a través del protocolo LDAP (Lightweight Directory Access Protocol). Esta integración permite un mejor control y facilita la administración de usuarios y contraseñas.

En el nivel de persistencia de GEOCARTO, para la gestión de bases de datos, se encuentra Oracle, actualmente considerado como uno de los motores de bases de datos más completos por su alto grado de escalabilidad y estabilidad. Sobre Oracle se encuentra el modelo de datos relacional de GEOCARTO con más de 360 tablas segmentadas conceptualmente en secciones homólogas a los módulos del Sistema.

Finalmente, para el almacenamiento de los archivos de cada uno de los productos de la Subdirección, GEOCARTO establece un repositorio de archivos

distribuido, con una estructura estandarizada establecida previamente para cada uno de los módulos. Esto permite que la información esté distribuida físicamente en diversos sistemas de almacenamiento, pero con una administración y sistema de búsqueda centralizado por GEOCARTO.

Resultados

Como se mencionó anteriormente, el proceso de construcción del sistema GEOCARTO se desarrolla actualmente por sus módulos conceptuales. El módulo de imágenes fue el primero en construirse y se encuentra en funcionamiento, permitiéndole al grupo interno de trabajo de Imágenes Geoespaciales de la Subdirección de Geografía y Cartografía normalizar su proceso de producción de fotografías aéreas a través del Portal Web. La Figura 4 visualiza la interfaz principal del Portal, donde se visualizan tres diferentes Portlets.

Figura 4. Interfaz de Bienvenida GEOCARTO



Powered by JBoss Enterprise Portal Platform / JBoss Portal

El módulo de Imágenes cuenta actualmente con funcionalidades como gestión de planes de vuelos; gestión de la información de comisiones aéreas para toma de aerofotografías; gestión

de vuelos y aerofotografías, tanto las tomadas con cámaras análogas, como con la nueva cámara digital adquirida por el Instituto; inventario y trazabilidad de rollos de fotografías aéreas; y

consulta de certificados de cámaras. En el momento este módulo cuenta con información disponible de más de 5.140 vuelos y cerca de 1'215.500 aerofotografías.

A través del portal, los usuarios debidamente autenticados pueden consultar información referente a cualquier aerofotografía que tenga bajo su resguardo

la Subdirección, como fecha de toma, zona cubierta, estado de la aerofotografía, consulta de los esquemas de vuelos, formatos digitales disponibles, coordenadas del centro de la aerofoto. En la Figura 5 se observa una visualización geográfica de un vuelo que permite consultar líneas de vuelo y centro de aerofotografías.

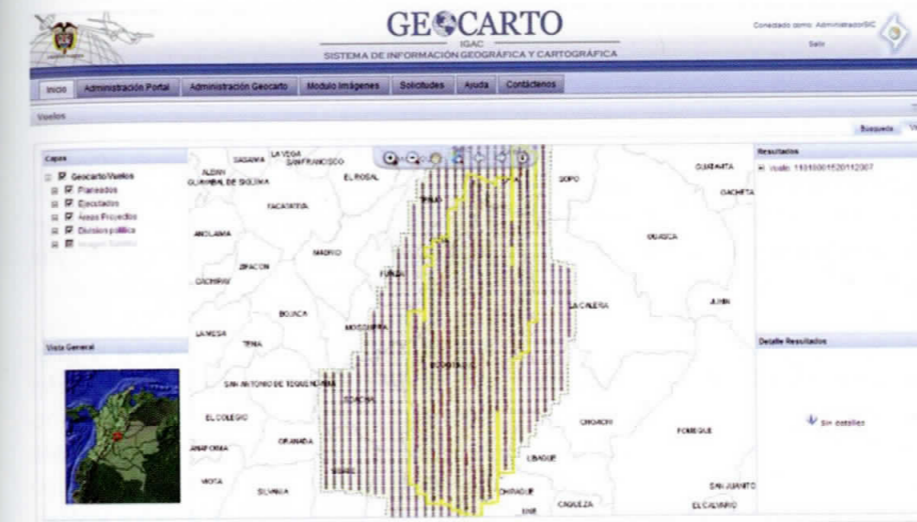


Figura 5. Visualización Geográfica de un Vuelo

El módulo de Imágenes no solo se ha convertido en la principal herramienta de consulta de aerofotografías por diferentes y especializados criterios de búsqueda, si no que ha contribuido a optimizar el proceso de producción de aerofotografías, esto permite realizar controles en los procedimientos de cargues de formatos digitales e infor-

mación de control de calidad de la aerofotografías.

La Figura 6 visualiza un esquema de la organización de la arquitectura física de GEOCARTO, donde se puede apreciar que el sistema está funcionando a nivel de intranet en la Subdirección de Geografía y Cartografía.



Figura 6: Visualización Geográfica de un Vuelo

9 <http://www.microsoft.com/windowsserver2003/technologies/directory/activedirectory/default.msp>

A finales de este año se tendrá implementado el módulo de Control Geodésico y para los años 2010 y 2011, los módulos de Nombre Geográficos y Productos Geográficos y Cartográficos, respectivamente.

Conclusiones

GEOCARTO es un sistema de información que gestiona la producción de información de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, este proyecto nace a partir de la necesidad de integrar en un solo sistema las diferentes aplicaciones y bases de datos que se encontraban dispersas en el proceso de producción.

La arquitectura de GEOCARTO se construye sobre Portlets, que son componentes web, diseñados específicamente para ser agregados en el contexto de una página compuesta. Al ser componentes basados sobre especificaciones estándares brindan la posibilidad de in-

tegración e interoperabilidad con otros portales web.

GEOCARTO está compuesto por cuatro grandes módulos que abarcan todo el proceso de producción de la Subdirección, estos módulos son: Imágenes, Control Geodésico, Nombres Geográficos y Productos Cartográficos y Geográficos. Cada módulo se compone de diversas funcionalidades clasificadas en ejes temáticos que, finalmente, se construyen sobre Portlets.

El sistema es una muestra representativa de la interoperabilidad entre tecnologías abiertas y propietarias, que brindan una adaptabilidad de los recursos con los que dispone el mercado y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

A medida que se construye e implementa en producción cada módulo del sistema GEOCARTO, es notable cómo optimiza el proceso de producción de la Subdirección, apoyando así, el objetivo estratégico de innovar productos y servicios geográficos de acuerdo con las tendencias y las tecnologías del mercado.

La Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, avances y perspectivas

Tatiana Delgado Fernández¹.

Resumen

Las Infraestructuras de Datos Espaciales emergen sobre la web, y al igual que su predecesor, se basa en la función de coordinación para compartir información y servicios (geográficos) en una localidad, nación, región o globalmente. Cuatro años después de la creación de un marco legal para establecer la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba (IDERC), con la aprobación del Acuerdo 5535 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros el 16 de septiembre de 2005, se muestran sus principales avances, mediante 9 aspectos principales: Organización, políticas, datos-metadatos y servicios; desarrollo informático, normalización, educación, comunicación, financiamiento y evaluación.

Finalmente, se ofrece un esbozo perspectivo del desarrollo de la IDERC tomando como base las proyec-

nes estratégicas 2010-2014 que se están elaborando por la Comisión Nacional de la IDERC y que deben quedar aprobadas a finales de 2009. En síntesis, puede decirse que la IDERC deberá enfrentar en el futuro una fase de "despliegue" en todos los ámbitos y niveles de la sociedad, para lo cual jugará un papel decisivo una ponderada combinación entre un enfoque *top-down* y un enfoque *bottom-up*.

Las metas de la IDERC, hasta el 2014, deberán marcar el trabajo de la Comisión Nacional de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, potenciando que esta se convierta realmente en el espacio donde usuarios de cualquier nivel puedan tomar sus decisiones asistidas por la dimensión espacial (geográfica) disponible en ella, de una forma natural y con un creciente protagonismo por parte del propio usuario.

8

La Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, avances y perspectivas

¹ Comisión Nacional de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, UDIO- CUJAE, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", tdelgado@udio.cujae.edu.cu



Introducción

Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) es un concepto bien conocido, al menos en las comunidades de información geográfica, aunque no tanto como se desearía en otros círculos menos profesionales. En este trabajo es de interés retomar, no obstante, la definición de IDE, enfatizando aquellos aspectos de mayor interés para un mejor entendimiento de cuáles son los principios en los que se basa el desarrollo de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba.

El punto de partida inicial para definir una IDE en este trabajo es hacer un paralelo entre Sistemas, Redes e Infraestructuras partiendo de un reporte de National Science Foundation (Edwards, et al, 2007) y de algunas reflexiones hechas por Delgado & Cruz (Delgado & Cruz, 2009).

Los sistemas están compuestos por elementos. Se conocen las entradas y las salidas, así como los procesos que tienen lugar en ellos. Las fronteras de los sistemas son cerradas y estables. Con estas características, en un sistema todo es controlable, por lo que el *Control* es una función principal.

Las redes están compuestas por sistemas. De esta forma, aunque pueden considerarse que existe un nivel de conocimiento de los componentes que las integran, las fronteras de las redes son abiertas y reconfigurables, esto hace que además de *Control* se requieran funciones de *Coordinación*.

Las infraestructuras están compuestas por redes. Sus fronteras, además de abiertas y reconfigurables, se pueden considerar como virtuales. No existe control sobre los elementos que interactúan con las infraestructuras, sino que basan su funcionamiento de forma absoluta en funciones de *Coordinación*.

La web es un genuino ejemplo de infraestructura en una fase de consolidación, donde se comparten ampliamente recursos que operan en escalas locales, nacionales o globales. La web está soportada por estándares, protocolos y otros mecanismos de coordinación que hacen posible su uso en el esquema más global que se haya utilizado nunca un recurso en el planeta.

Las Infraestructuras de Datos Espaciales emergen sobre la web, y al igual que su predecesor, se basa en la función de *Coordinación* para compartir información y servicios (geográficos) en una localidad, nación, región o globalmente.

En este trabajo se presentarán los avances de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba (IDERC), haciendo énfasis principalmente en aquellos aspectos de coordinación que están siendo conducidos por la Comisión Nacional de la IDERC.

Se esbozan algunos elementos de la Estrategia 2010-2014 que está bajo elaboración y debe salir a la luz a finales de 2009, con un marcado énfasis en el "despliegue" tanto sectorial como territorialmente.

Estado de la IDERC

Para mostrar el estado actual de la IDERC (2006-2008), se describirán nueve direcciones que abarcan las prioridades de la IDERC, ofreciendo un estado de situación y futuros retos. Estas direcciones de trabajo se relacionan a continuación:

- Organización
- Políticas
- Datos y servicios
- Desarrollo informático
- Normalización
- Educación
- Comunicación

- Financiamiento y sostenibilidad
- Evaluación y monitoreo de la IDERC

IDERC: Organización

Esta dirección estratégica está relacionada con potenciar la instrumentación de los acuerdos que están expresados en el marco legal de la IDERC: Acuerdo No. 5535 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, con vistas a fortalecer una estructura que soporte la actividad de la Comisión Nacional de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba (CIDERC).

En la actualidad, la CIDERC trabaja con la estructura organizativa siguiente:

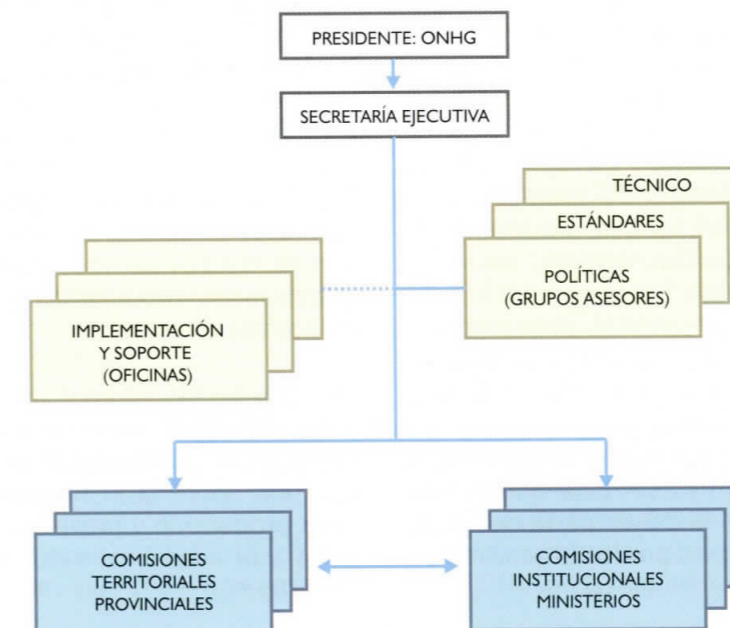


Figura 1. Estructura Organizativa de la CIDERC.

Analizar de forma integral los requerimientos organizativos que tienen estas instancias en relación con las funciones que desempeña cada una es un propósito en el marco de esta dirección estratégica. En tal sentido, su objetivo es fortalecer institucionalmente los actuales órganos estructurales de la CIDERC.

Las acciones fundamentales en desarrollo en esta dirección son:

Fortalecimiento institucional de la CIDERC (Presidencia y Secretaría Ejecutiva).

Fortalecer las Comisiones Territoriales de la IDERC para potenciar un trabajo armónico y descentralizado.

Fortalecer las Comisiones Institucionales (Temáticas) de la IDERC.

IDERC: Políticas

Esta es una de las direcciones de mayor prioridad, si consideramos que la clave del funcionamiento de una IDE está precisamente en el sistema de políticas que se establezcan.

Esta dirección se propone la sistematización, la elaboración e implementación de las políticas de datos geográficos para publicar en la IDE por los proveedores.

En abril de 2007, fueron aprobados los lineamientos de políticas de la CIDERC sobre el uso, acceso, distribución, licencia, derecho de autor, precios de los datos geográficos. En la actualidad se están elaborando las políticas sobre los conjuntos de datos que brindan los diferentes proveedores. Sin embargo, a este proceso será preciso impregnarle un dinamismo en los próximos meses para que puedan ser servidos la mayor parte de los datos disponibles por los organismos.

IDERC: Datos y Servicios

En su labor de Coordinación, la CIDERC debe facilitar la creación y publicación de los datos-metadatos y servicios geográficos en la web.

El alcance de esta dirección estratégica contempla básicamente a los productores y debe estar encaminado a incentivar la industria de la cartografía. Sin embargo, en futuras proyecciones habrá que darles más peso a los propios usuarios a la par que se habiliten nuevas herramientas orientadas a la web 2.0 donde los usuarios se convierten también en proveedores de información.

La filosofía de la IDERC es potenciar la provisión de servicios desde un Centro de Datos Nacional, considerando el hecho de que tanto la infraestructura de comunicaciones como la conectividad web en Cuba no permite que los usuarios sirvan sus datos desde sus propias organizaciones. La idea de "extender" la capacidad de los proveedores no está en contradicción con la distribución de los servicios. Por el contrario, es una facilidad que permite la actualización remota de los proveedores, funcionando como una extensión virtual de sus propias capacidades tecnológicas, a la vez que se garantiza que el servicio pueda ser accedido por los clientes de la web. Por otra parte, los *Data Center* brindan por sobre todo eficiencia, y ese es un principio importante para la IDERC.

No obstante, que la CIDERC potencie esta idea, es también posible la provisión de datos y servicios desde las organizaciones productoras, siguiendo las normas establecidas.

La provisión de metadatos es otro aspecto de interés, y se rige por la Resolución de la CIDERC aprobada en abril de 2008 sobre la institucionalización de la producción y provisión de metadatos asociados a los datos espaciales en la IDERC.

IDERC: Desarrollo informático

Las aplicaciones clientes dirigidas a los diferentes escenarios y sectores de la sociedad son los puntos de acceso de estos a la IDERC. Por ello, es de vital importancia mantener una línea de desarrollo de nuevas aplicaciones que satisfagan cada vez más sectores e impacten en las prioridades que tiene el país.

La filosofía general es la integración de servicios de la IDERC y la invo-

cación de estos desde aplicaciones clientes diseñadas según los requisitos establecidos por el usuario.

En los últimos años, se destaca de forma muy marcada la aplicación Movilweb, un sistema de Gestión y Control de Flotas basado en los servicios de mapas de la IDERC y las señales GPS que capturan los vehículos equipados con estos sistemas de posicionamiento (Figura 2).

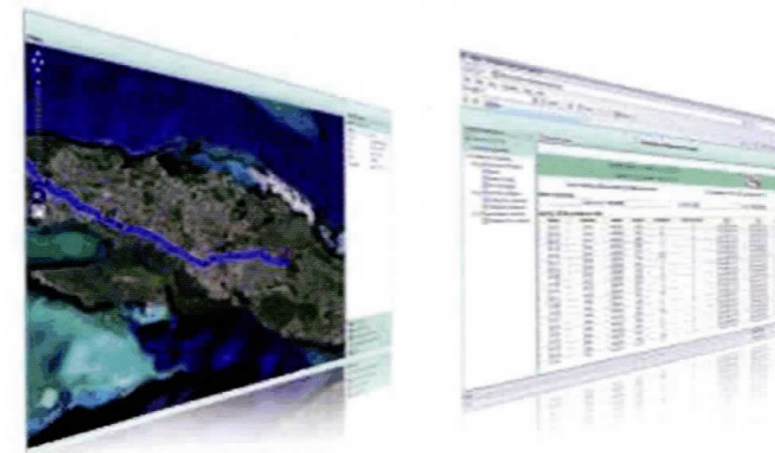


Figura 2. Aplicación de Control de Flota basada en la IDERC (Movilweb).

Movilweb es una aplicación 24x7 y ha demostrado la necesidad de tener un sistema de organización adecuado para soportar este tipo de aplicaciones.

Una aplicación que debe ser mantenida sistemáticamente es el Portal Geoespacial Nacional, cuya última actualización se realizó en abril de 2008 (ver www.iderc.co.cu).

Durante el 2008 se emprendió un grupo de aplicaciones derivadas de la IDERC, como por ejemplo:

- Banco de imágenes de la IDERC: organizar y proveer en la IDERC el patrimonio de imágenes.
- Aplicaciones derivadas del Proyecto Piloto en Villa Clara, que incluye ca-

llejero de Santa Clara, Portal Geoespacial Provincial, Ordenamiento Forestal Provincial y Estudios de riesgos contra desastres.

IDERC: Normalización

En octubre de 2007, por Resolución de la Oficina Nacional de Normalización y a petición de la CIDERC, se crea el Comité Técnico de Normalización 113 de Geomática (CTN 113), espejo del Comité Técnico ISO TC 211.

Durante el año 2008, se trabajó en un conjunto de normas ISO 19100 que debieron derivar en similares normas cubanas a mediados de 2009. Las normas incluidas entre las primeras tareas de este CTN son las siguientes:

Tabla 1.
Proyectos en desarrollo por el Comité Técnico de Normalización 113 - Geomática

Código	Título	Referencia
113.001-08	Lenguaje de esquema conceptual	ISO TC211-19103
113-002-08	Terminología	ISO TC211-19104
113-003-08	Esquema temporal	ISO TC211-19108
113-004-08	Reglas para esquemas de aplicación	ISO TC211-19109
113-005-08	Principios de calidad	ISO TC211-19113
113-006-08	Procedimientos de evaluación de calidad	ISO TC211-19114
113-007-08	Metadatos	ISO TC211-19115
113-108-08	Información Geográfica. Referencia espacial por coordenadas	ISO TC211-19111
113-009-08	Conformidad y prueba	ISO TC211-19105
113-010-08	Interface de servidor de mapas web.	ISO TC211-19128

IDERC: Educación

La educación en la IDERC es una política que ha estado presente desde los primeros momentos de su creación. Inicialmente, esta estuvo dirigida a satisfacer las demandas de capacitación

que surgían en la sociedad y en el propio seno de la Comisión y sus actores fundamentales.

La tabla 2 muestra las principales actividades llevadas a cabo desde el año 2002 y hasta el 2008 en función de la creación de capacidades a nivel nacional:

Tabla 2.
Actividades de Capacitación de la IDERC 2002-2008

TALLER-CURSO-SEMINARIO
Febrero 2002 – Seminario de Infraestructura de Datos Espaciales a cargo de la Secretaría Ejecutiva del Comité Permanente de la Infraestructura de Datos Espaciales de las Américas
Febrero 2003 – University of Wisconsin-Madison / GEOCUBA Workshop on Clearinghouse, Metadata, and Map Server Technologies to Support Spatial Data Infrastructure Development in Cuba
Diciembre 2003 – Taller Nacional de la IDERC celebrado en la Universidad de Ciencias Informáticas
Noviembre 2004 – University Wisconsin-Madison "IDERC Workshop on Geospatial Metadata Documentation and Clearinghouse Tools to Support Environmental Applications in Cuba"
Abril 2006 – Generalidades de las IDE. Implementación a nivel local y nacional Universidad de Wageningen, Holanda Con apoyo del PNUD
Diciembre 2007 – Taller de fortalecimiento de capacidades y potenciación de contenidos de Información Geográfica en los gobiernos provinciales y municipales. En el marco de un Proyecto PNUD. CGPC, CubeWerx y Spatial Knowledge Engineering, Canadá
Septiembre 2008 – Curso de catalogación de metadatos para actores de la Comisión Provincial de la IDE en Villa Clara y de la IDERC, en el marco del proyecto de IDE de Villa Clara actualmente en vigor con el PNUD bajo fondos TTF 2008. UPM, España
2008 – Durante todo el año se han impartido cursos de Metadatos en varias agencias del sector medioambiental en apoyo a proyectos de Estudios de Riesgo y Cambios Climáticos

Otra vertiente, que ha cobrado interés en los últimos años, la constituye la creación de alianzas y una mayor relación con el sector académico.

Trabajo de la CIDERC con la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI)

La CIDERC ha trabajado ascendentemente con la UCI para fortalecer sus capacidades en el terreno de la Información Geográfica y, en particular, respecto a las IDE.

El año 2008 marca un hito en las relaciones que se venían fomentando, ya que se aprueba el perfil de especialización de Geoinformática en la Facultad 9 de la UCI y, producto de ello, existe un claustro trabajando sistemáticamente con grupos de estudiantes en proyectos que impactan en el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica e infraestructura de Datos Espaciales.

Trabajo de la CIDERC con la Universidad Central de Las Villas (UCLV)

Inicialmente, la alianza se potenció a través de GEOCUBA, uno de los actores principales de la CIDERC, no sólo por ser el proveedor fundamental, sino porque tiene a su cargo el desarrollo de los principales servicios informáticos de apoyo a la IDERC.

Desde entonces, se identificó la necesidad de crear un Laboratorio de Geomática en el CEI de la UCLV. En el año 2008, bajo el paraguas del Proyecto "Infraestructuras de Datos Espaciales en apoyo al gobierno en el nivel local" (DTTF 2008 - PNUD), que precisamente se focalizó en potenciar las capacidades del territorio de Villa Clara para impulsar la creación de la IDE provincial, se incluyó la construcción de este Laboratorio de Geomática en la UCLV, que sin lugar a dudas abrirá un nuevo período de actividades académicas en función

de las IDE y apoyará la capacidad territorial en tal sentido.

IDERC: Comunicación

La comunicación (excluyendo de ella lo que se obtiene en transferencia de conocimientos por capacitación) en la IDERC, si bien es una de las proyecciones que ha tenido la CIDERC desde sus primeras estrategias, no ha logrado madurar de forma adecuada, quedando rezagada toda la actividad relacionada con difusión, imagen y otras esferas de la necesaria comunicación entre la IDERC y la Sociedad.

En la reunión de la CIDERC de noviembre de 2008 se identificó esta como una de las debilidades principales y, por tanto, uno de los aspectos en los que se debe trabajar de forma priorizada en el 2009 y en el futuro.

IDERC: Financiamiento y sostenibilidad

Desde los primeros momentos, la IDERC ha contado con el apoyo financiero de la Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia para su desarrollo, y las actividades de la Secretaría Ejecutiva.

Por otra parte, se ha desarrollado una actividad importante de colaboración con organismos multilaterales. El principal aliado en este sentido ha sido el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, quien, como se vio en acápite anteriores ha financiado actividades de capacitación, pero también otras acciones que fortalecen las capacidades de los actores de la IDERC a diferentes niveles; así como en la creación de nuevos servicios y contenidos de Información Geográfica.

Los retos para la autosostenibilidad de la IDERC y de sus nuevas misiones en esta etapa de despliegue se centran en la necesidad de aumentar las fuentes de contribuyentes financieros para la IDERC

en el marco de la sociedad cubana y potenciar otras fuentes de financiamiento internacional para complementar las necesidades de equipos y materiales no accesibles con recursos propios.

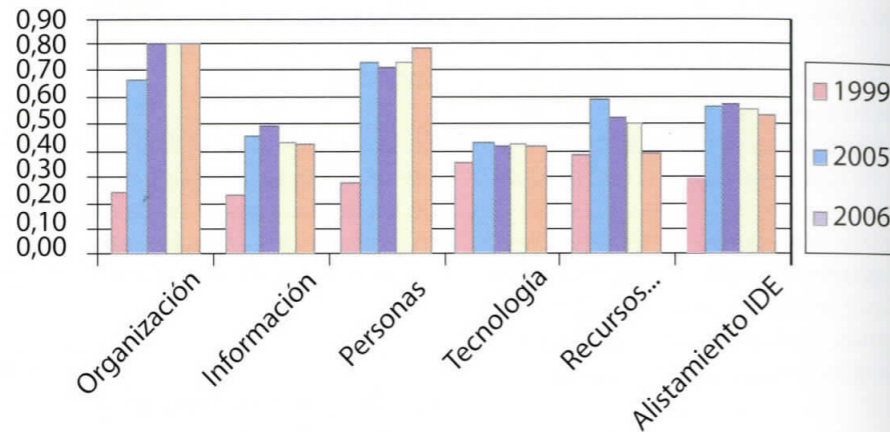
IDERC: Evaluación y Monitoreo de la IDERC

Desde que se aprobó en el 2005 el Acuerdo 5535 que establece la CIDERC, se ha dedicado especial atención

a la retroalimentación que se obtiene al evaluar sistemáticamente los indicadores principales de desarrollo de la IDERC; así como su impacto en la sociedad cubana.

En la figura 3 se muestra esta evaluación evolutiva de la IDERC entre 1999 y el 2007, basada en un índice de alistamiento y los factores que lo integran: organizativos, de información, recursos humanos, tecnológicos, recursos financieros.

Figura 3. Comportamiento histórico del Índice de Alistamiento en IDE en Cuba y los factores que lo determinan.

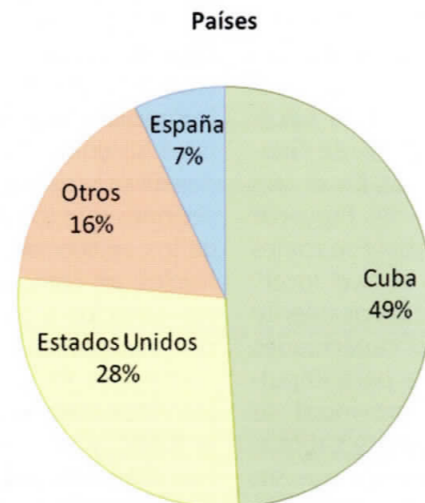


En el acceso a los mapas como promedio mensual, tomado como base el comportamiento de los últimos 6 meses del año 2008, se realizan 1.7 millones de accesos y se sirven 35 TB de mapas.

La IDERC recibe 1.066 visitas, 39.000 accesos y 674 clientes como promedio mensual.

Por países, la distribución muestra un comportamiento como el de la figura 4:

Figura 4. Distribución de visitantes del sitio de la IDERC por países (Delgado & Cruz, 2009).



Hacia una IDERC "desplegada" en territorios y sectores

En este acápite se abordarán las perspectivas de la IDERC en su nueva fase de "despliegue".

Si bien, las primeras etapas de la IDERC estaban centradas en la creación de capacidades y la consolidación de los órganos de coordinación a nivel central; hoy nos encontramos ante una etapa de "despliegue" que debe ser definida y proyectada para que pueda repercutir en un mayor uso de los servicios y datos de la IDERC por un número cada vez mayor de usuarios en un entorno de mayor heterogeneidad y diversidad, y en el menor tiempo posible.

Por ello, en un proceso de elaboración de las Estrategias 2010-2014 para la IDERC, que está siendo desarrollado por la Comisión Nacional de la IDERC, se comienzan a proyectar algunas ideas sobre el tema de despliegue.

A continuación se relacionan los principales temas que están bajo desarrollo en estas estrategias.

1. Despliegue organizacional a nivel provincial y municipal.
2. Despliegue institucional de proveedores de datos.
3. Despliegue de adquisición de datos (nuevos datos geoespaciales).
4. Despliegue de infocomunicaciones.
5. Despliegue de normas y procedimientos.
6. Despliegue de capacidades de programación en Geoinformática en la Industria del Software.
7. Despliegue de la formación (laboratorios u otra modalidad en pregrado o posgrado) en universidades.

8. Despliegue servicios básicos.
9. Despliegue de aplicaciones clientes (ordenadas por prioridades del país).

Adjuntas a estas temáticas se analizan cuestiones básicamente de soporte, siendo las más importantes las siguientes:

- Gestión del conocimiento (Capacitación- Difusión)
- Financiamiento

Las metas de la IDERC hasta el 2014 deberán marcar el trabajo de la Comisión Nacional de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, potenciando que esta se convierta realmente en el espacio donde usuarios de cualquier nivel puedan tomar sus decisiones asistidas por la dimensión espacial (geográfica) disponible en ella, de una forma natural y con un creciente protagonismo por parte del propio usuario.

Conclusiones

Este es un trabajo tipo reporte, por lo cual más que conclusiones haremos un sumario de los principales temas tratados.

Las IDE están soportadas sobre pre-infraestructuras existentes y su funcionamiento es básicamente en *Coordinación* y no en *Control*.

Los avances que pudieran apreciarse en la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba están derivados fundamentalmente de la coordinación de la Comisión Nacional de la Infraestructura de Datos Espaciales con su visión a largo plazo (estrategias) y su implementación sistemática (planes de trabajo anuales) en un esquema de amplia participación de los actores de la sociedad (nivel central y niveles provinciales y municipales).

La IDERC marcha hacia una fase de "despliegue", que será formalizada en sus estrategias 2010-2014.

Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Nacional de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba y a otros actores locales, quienes son los responsables del trabajo desplegado en la IDERC durante estos años.

Referencias Bibliográficas

- CECM- Comité Ejecutivo Consejo de Ministros, 2005. Acuerdo 5535 para la creación de la Comisión Nacional de la República de Cuba.
- DELGADO, T., 2005. Infraestructuras de Datos Espaciales en países de bajo desarrollo tecnológico. Implementación en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Marzo 2005.
- DELGADO, T. & Cruz, R., 2009. Construyendo Infraestructuras de Datos Espaciales a nivel local. Editorial CUJAE, 130 págs, Cuba, 2009.
- EDWARDS, P.; Jackson, S.; Bowker, G. Knobel, C. 2007. "Understanding Infrastructures: Dynamic, Tensions and Design". Report of a Workshop on "History & Theory of infrastructure: Lessons for new scientific cyberinfrastructures", NSF Grant 0630263.

9

Integración cartográfica para la mejora de la operación y administración de una empresa de servicios públicos

Integración cartográfica para la mejora de la operación y administración de una empresa de servicios públicos

Edwin Bernal Durán, Jorge Iván Calderón¹

Resumen

Dada la demanda de sistemas de información que manipulen desde diferentes ángulos la cartografía adquirida por una empresa y de forma integral, nosotros decidimos mostrar un caso de éxito realizado en una empresa de servicios públicos donde implementamos las herramientas de visualización, análisis geográfico y OMS de INTERGRAPH, y se obtuvo una solución modular que mejora significativamente las áreas relacionadas y que puede ser implementada en cualquier escenario empresarial; los módulos a exponer son:

- Sistema integral de operación en terreno: Se recibe la información del cliente, se despacha por medio del OMS y se informa automáticamente a la operación por PDA.
- Sistema unificado de mantenimiento e idas a terreno: Este recibe la información de las áreas que tienen actividades en terreno, al recibir una llamada de validación del cliente se realiza la consulta espacial y con esta se informa oportunamente al cliente o al personal de investigaciones, además

mantiene un seguimiento del personal que ha estado en las diferentes empresas contratistas.

- Sistema GIS Administrativo: Dadas las diferentes fuentes de información como BD clientes, facturas, registros de robos de infraestructura, entre otros, se muestra en una distribución espacial que permite la toma de decisiones eficaces y eficientemente para la mejora de cada área.

Para cada módulo se estima presentar el entorno, herramienta GIS implementada y su efecto en la disminución de tiempos y costos para la compañía, dando una visión del alto potencial que tiene la inversión en Cartografía para una compañía de gran operación.

Palabras Clave

OMS (Outage Management Systems), InService, Geomedia, GIS, Atención de emergencias, aseguramiento de la operación, visualización web de mapas, análisis espaciales, control de hurtos.

¹ EBC Ingeniería S.A. Dirección: Carrera 18 No. 86^a - 54, Teléfono: 6108210, Correo Electrónico: edwin.bernal@ebc.com.co , jorge.calderon@ebc.com.co

Abstract

Due to the demand of information Systems that can manage from different perspectives the cartographic information acquired by a company in an integral way, we decided to show a success case in an utility company where we implemented some INTEGRAPH tools, for visualization, Geographic Analysis and OMS (Outage Management system), obtaining with this a modular solution which greatly improved the areas involved and which can be implemented in any other enterprise scenery. The modules to show are:

- Operation Integral System on the field: Receives the information from the customer, dispatch it by mean of the OMS and notify automatically the operation to the PDA.
- Unified System of maintenance and visits to the field: This receives the information from the different areas which have operations in the field, after receiving a validation call from the customer a spatial consult is made and with this it is possible to inform in an effective way to the customer or to the team of the investigation

department. Besides, this module keeps track to the personnel that have been in the different contractor companies.

- Administrative GIS System: As there are different information sources such as Customer care Database, Billing system, Database of records of robberiestothenetworkinfrastructure, among others, it is possible to show the spatial distribution of several variables which makes it possible a better decision making to improve every area.

For each module we estimate to show the framework, the GIS solution implemented and the effects of this in the reduction of times and costs for the company, giving so a vision of the great potential that have the investment in cartographic information for a company which has a strong operation.

Keywords

OMS (Outage Management Systems), InService, Geomedia, GIS, attention of emergencies, map web viewer.

**Introducción**

La empresa de Servicios Públicos (ESP) durante los últimos años había realizado varias inversiones en lo que respecta a la cartografía, base de su área de operación, así como la actualización de su maestro de direcciones, que permite tener el componente geoespacial de cada elemento de la infraestructura de la ESP; durante este proceso realizaron varios proyectos con EBC ingeniería S.A. - EBC para el suministro de herramientas capaces de manipular, actualizar y visualizar filtros a nivel de datos y geoespaciales; la información proveniente de diferentes sistemas de la compañía que están implementado sobre diferentes motores de Bases de Datos (BD) o fuentes de información, como lo son:

- Oracle
- Access
- Sql Server
- BD Fox pro
- Excel

De estas fuentes se debía pasar a un proceso de manipulación más efectivo que los reportes de tabulación o barras, que permitieran ver geográficamente la información para la toma de decisiones.

En paralelo, la ESP estaba buscando una herramienta que apoyara el proceso de emergencia desde la atención

al cliente, pasando por el despacho de cuadrillas según distancia, prioridad, riesgo vial, entre otros factores; gestión de los tiempos de ejecución, apoyo de la operación, mano de obra, materiales y rutas.

Por el volumen de trabajo en terreno y las diferentes actividades de carácter comercial, mantenimiento, operación, gestión social, lectura y reparto de recibos, entre otras, era de vital importancia obtener una herramienta que centralizara las actividades en terreno para poder comunicar eficazmente al cliente en el momento de llamar al Call Center para validar una actividad, tipo de actividad, personal, vehículos, contrato, entre otros datos, y de igual forma fortaleciera el control de las áreas permitiendo verificar las actividades en terreno.

Según lo anterior, se plantearon tres proyectos que tienen una fuerte relación entre sí con lo que respecta a la cartografía, dado que comparten:

- Fuentes de información.
- Herramientas para la manipulación geoespacial de los datos.
- Cartografía Base.
- Infraestructura tecnológica (red, servidores, soporte).

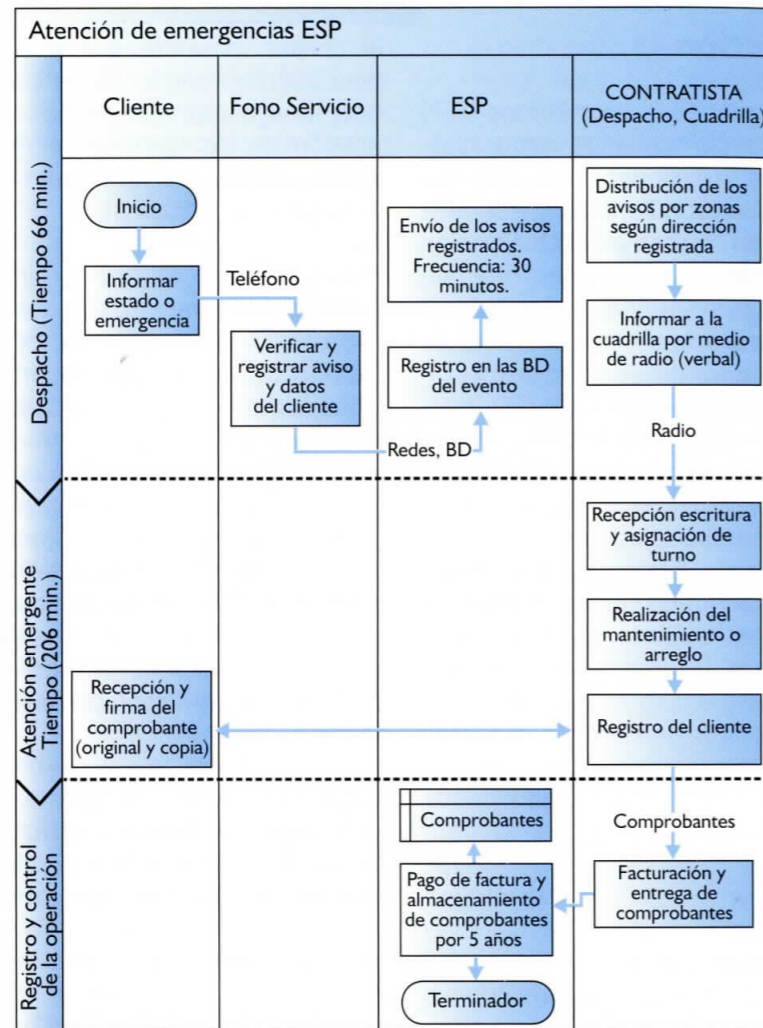
A continuación se explicará de forma más detallada el contexto de cada uno de los proyectos o módulos implementados por EBC en la ESP.

Sistema integral de operación

El siguiente módulo es el encargado de relacionar los sistemas comerciales, técnicos, de gestión de la operación y Call Center de la compañía para prestar la atención de emergencias por falta de suministro.

El proceso de atención que tenía la ESP era un proceso manual que tomaba mucho tiempo en la atención de las emergencias y con varios aspectos a mejorar, a continuación se muestra el proceso anterior en el cual se evidencia la ausencia de comunicación y despacho de las emergencias.

Figura 1. Diagrama proceso de atención de emergencias anterior.
Fuente: Elaboración propia.



Sistema unificado de mantenimiento e idas a terreno

Este módulo tiene como fin disminuir el hurto y suplantación de personal de la ESP o de las empresas contratistas.

La ESP, por el volumen de operaciones en terreno y la infraestructura que tiene para sus clientes que en gran medida es de fácil acceso, presenta un alto volumen de robos de elementos y casos

en los cuales los delincuentes se hacen pasar por personal de ESP o de las empresas contratistas y con esta excusa ingresaban a los predios a realizar actividades ilícitas y no sólo contaban con una herramienta que validaba si el número de cédula estaba registrado como empleado directo o indirecto.

Para contrarrestar esta situación se decidió implementar una herramienta que permitiera validar las actividades,

teniendo como requerimientos principales:

- Comunicación efectiva a los clientes en el momento de validar:
 - * Personal de la ESP o de los contratistas.

* Vehículos.

* Actividad a realizar en el sector.

* Otros datos de las actividades.

- Visualización cartográfica de las actividades por parte del Call Center para la consulta de información del sector.
- Gestión inmediata con la Policía para realizar las capturas de los casos de hurto y suplantación de personal.
- Visualización cartográfica de las actividades de cada área como herramienta de apoyo administrativo para la generación de reportes e informes.

Sistema GIS Administrativo

Este módulo tiene como objetivo integrar la información no espacial de los registros de bases de datos de hurtos con la información espacial de cartografía para producir diferentes análisis espaciales que permitan visualizar de manera espacial en un ambiente web las diferentes tendencias y variaciones de los diferentes eventos de hurtos a la infraestructura de la empresa, y el cual fuera útil para:

- Ver dónde están las concentraciones estadísticas de incidentes dentro de su territorio de servicio.
- Ser capaz de tomar mejoras con base en un mejor entendimiento de la distribución de incidentes.

- Posibilitar la elaboración de indicadores de desempeño que se focalicen en la repetición de incidentes.

- Elaborar campañas estratégicas para la reducción de los eventos de hurtos.

Materiales y métodos

Por cada módulo del sistema se detallará los materiales y métodos utilizados para la manipulación de la cartografía.

Materiales y métodos del Sistema integral de operación

Luego que la ESP realizara un análisis de los principales puntos a mejorar y una revisión del proceso de operación en diferentes empresas, decidieron realizar una inversión sobre las herramientas para la interacción del personal en terreno con un sistema de gestión del contrato, los sistemas internos de operación y comerciales; EBC implemento el Outage Management System (OMS) de INTERGRAPH, junto con algunos desarrollos a la medida para mejorar de forma significativa el proceso, dejando un rastro a nivel de aplicación y Base de Datos de las actividades realizadas.

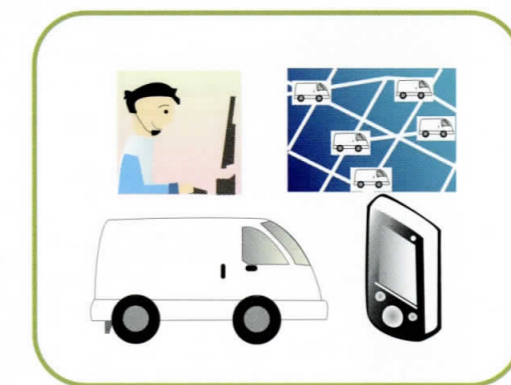


Figura 2. Distintivo del módulo.
Fuente: Elaboración propia.

Se fortaleció la comunicación entre la operación y el centro de control implementando el OMS para el despacho, control y administración de emergencias de forma automática. Para realizar la comunicación se evaluó la implementación de una herramienta de interacción como lo es mobile TC y un desarrollo a la medida sobre la PDA que les permitiría a los equipos de trabajo, ya sea que tengan o no vehículo, el poder transmitir y recibir información por medio de GPRS e igualmente su ubicación utilizando GPS; a continuación se detalla un diagrama de interrelación y la arquitectura general del sistema de operación.

Figura 3. Diagrama de interrelación.

Fuente: Elaboración propia.

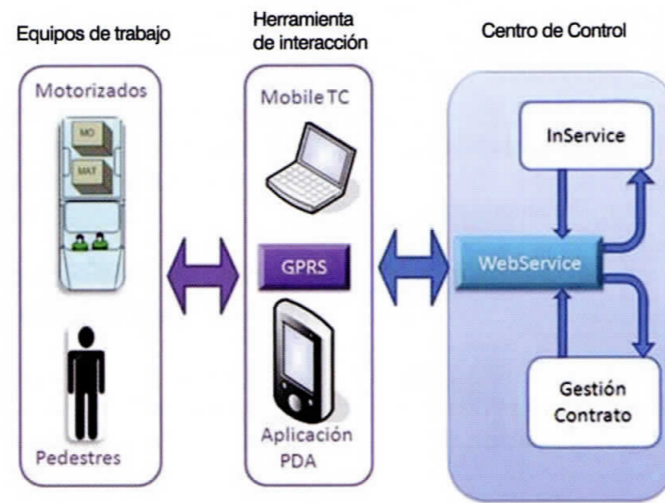
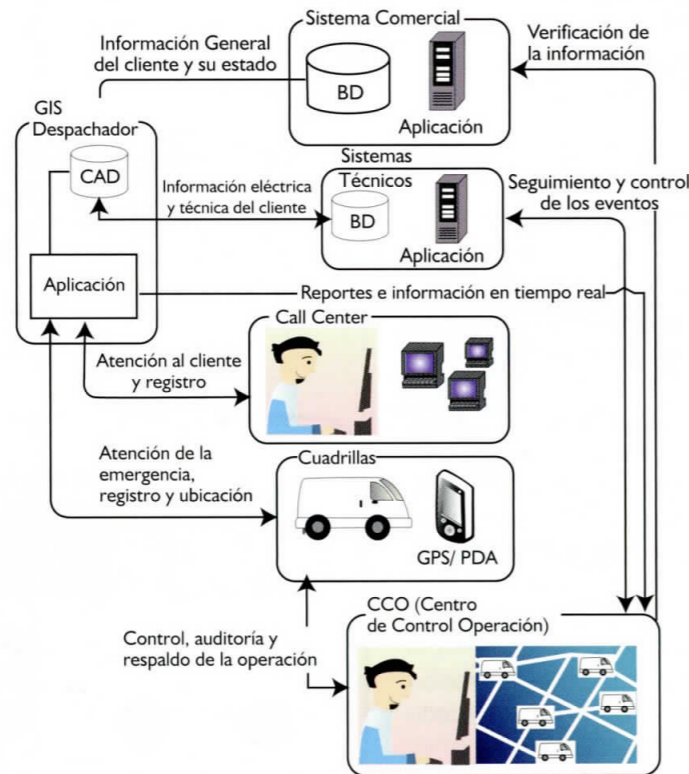


Figura 4. Arquitectura General del Sistema Implementado.

Fuente: Elaboración propia.



El proceso de atención de las emergencias, por parte de la ESP, mejoró significativamente, como se puede evidenciar en el diagrama del proceso actual (Figura 5).

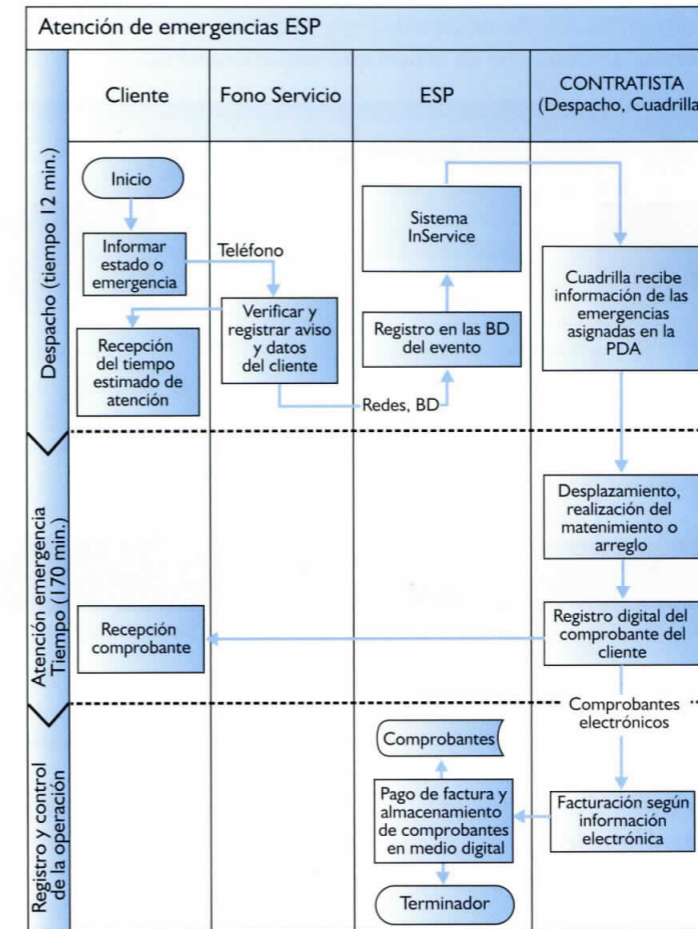


Figura 5. Diagrama proceso de atención de emergencias actual.

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar se detallan unas pantallas del sistema inservice que es de fácil interacción dado que maneja un ambiente

Windows como se evidencia en las siguientes pantallas que muestran alguno de los componentes.

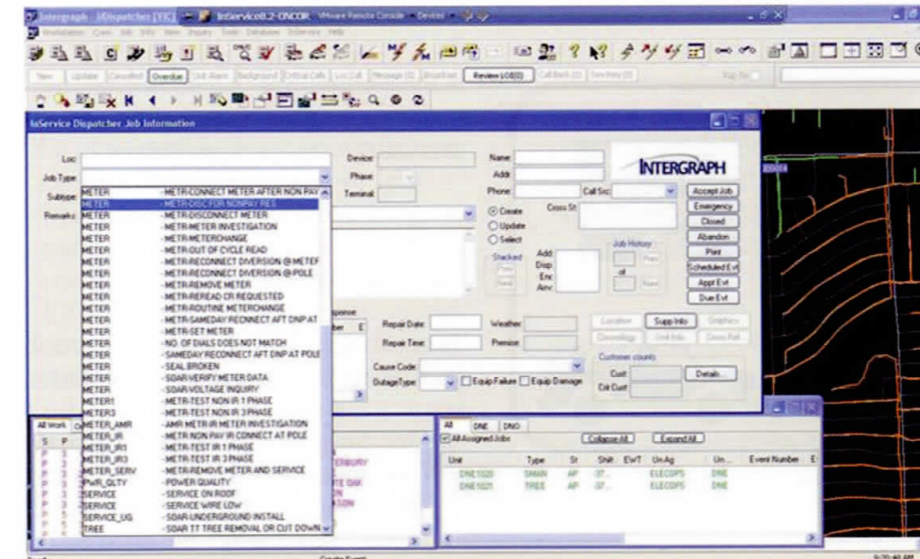
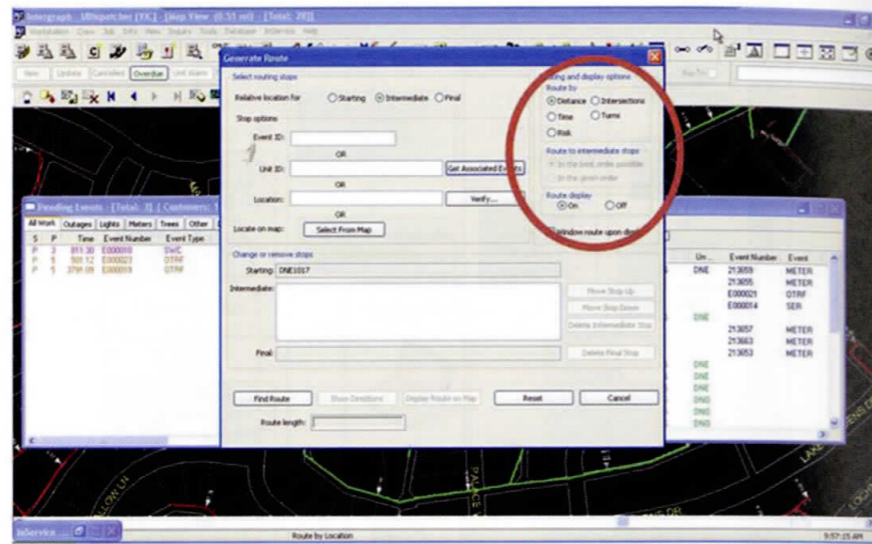


Figura 6. Pantalla de InService mostrando los diferentes tipos de trabajos.

Fuente: elaboración propia

Figura 7.
Pantalla de InService de Despacho de actividades según distancia.



Fuente:
Elaboración propia.

Materiales y métodos del sistema unificado de mantenimiento e idas a terreno

La metodología utilizada para la implementación de la herramienta se basa en el registro de información, comunicación con el cliente y gestión de las actividades ilícitas. A continuación se detalla cada uno de estos aspectos.

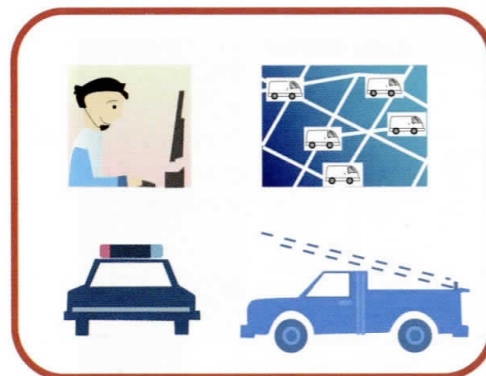


Figura 8.
Distintivo del módulo.

Fuente:
Elaboración propia.

Registro de información

Se diseñó el sistema para tener por cada actividad en terreno, con los siguientes datos como mínimo:

- Fecha.
- Tiempo.
- Lugar dado por la dirección o zona de acción.
- Personal.
- Contrato.
- Vehículo(s).
- Tipo de actividad.

Para ello se implementaron dos posibles formas de registro de las actividades:

1. Por Sistema: es la comunicación a las aplicaciones que contengan la información anterior, comunicándose por medio de enlaces entre las Bases de datos o Webservice.

2. Por Planilla: en esta opción se registran en un archivo Excel los datos de la actividad y se registra en el sistema de forma fácil ya sea por el área de la ESP o por parte de la empresa contratista por medio de una conexión segura Virtual Private Network (VPN). vale aclarar que esta opción es implementada en el caso que el sistema que maneje el área de la ESP no contenga toda la información o que no se tenga un sistema para gestionar las actividades.

Gestión de las actividades ilícitas

En el momento que se identifique que una actividad ilícita está sucediendo la ESP con EBC implementaron el siguiente proceso:

1. Se recibe llamada del cliente informando de la actividad.
2. El operador del Call Center registra la información suministrada, revisa sobre el sistema que georreferencia la dirección dada por el cliente y visualiza las actividades autorizadas en el sector.

Interacción con el cliente

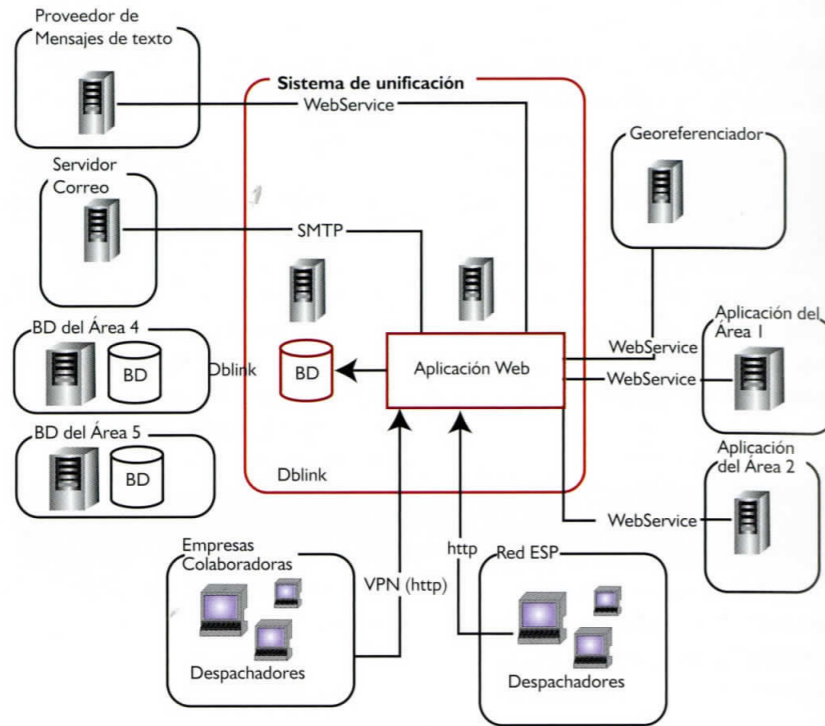
Se tiene una fuerte relación dado que el mejor veedor de las actividades que realizan en terreno o en los predios es el cliente, esta interacción se puede clasificar igualmente en:

3. Luego de evaluar por parte del operador que la actividad que se está desarrollando puede ser clasificada como:
 - a) Hurto de infraestructura.
 - b) Suplantación de personal.
 - c) Actividad diferente de la autorizada.
 4. El operador cierra la consulta realizada según la clasificación y le informa al cliente que la ESP ya está gestionando con la validación o con las autoridades competentes la asistencia en el sitio.
 5. Cuando el operador cerró la consulta se genera automáticamente un correo electrónico y mensajes de texto a celulares y/o avatares del personal encargado de realizar la investigación y según el caso enviar la Policía e ir al sitio para que realicen el proceso de captura y judicialización que sea concerniente.
- Validación de actividad en el predio: cuando un empleado de la ESP o de las empresas contratistas realiza una actividad solicitando el ingreso al predio del cliente, el empleado debe informar al cliente la actividad a realizar en el predio y suministrar la cédula y carné para que este, por medio del Call Center, llame y valide si son trabajadores de la ESP y/o si la actividad está programada.
 - Validación de actividad en el sector: cuando un cliente llama a validar si la actividad que están realizando cerca a su predio sobre la infraestructura de la ESP es autorizada, para ello la ESP realiza campañas con los clientes para que ellos informen cuando vean actividades sospechosas, ya sea por el horario, indumentaria, señalización, entre otras características que les haga dudar de la validez de estas.

La arquitectura general del sistema a nivel tecnológico se detalla a continuación tomando cuatro áreas de ejemplo y teniendo los diferentes actores del sistema.

Figura 9
Arquitectura del sistema.

Fuente:
Elaboración propia.

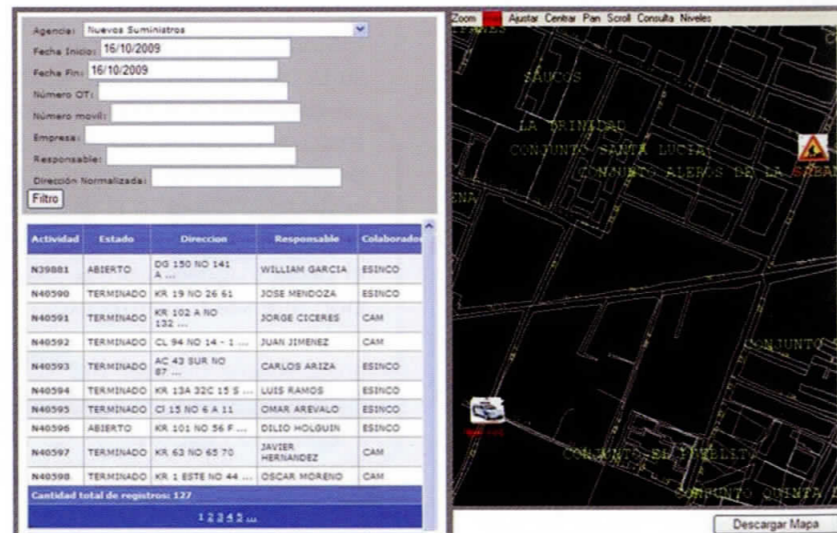


Para la visualización cartográfica se utilizó el componente de visualización web de InService que tiene una alta usabilidad por la interacción que se tiene con el usuario con el mapa de la aplicación

web que permite un fácil acceso y control de la información visualizada, a continuación se muestran algunas pantallas del sistema.

Figura 10
Sistema unificado de mantenimiento e idas a terreno – Consulta de actividades.

Fuente:
Elaboración propia.



Materiales y métodos sistema GIS Administrativo

Se implementó una solución en ambiente Web mediante personalización en .Net de la herramienta Geoespacial GeoMedia web Map de INTERGRAPH, la cual permitió integrar las diferentes fuentes de información de los departamentos que reportan hurtos sobre la infraestructura de la red y realizar análisis espaciales sobre esta.

El sistema integra las diferentes fuentes de información no espacial con la información de cartografía disponible en una base de datos Oracle espacial. Una vez integrada la información tabular de los hurtos, esta se traduce en información espacial útil mediante la integración de un Geocodificador de direcciones para obtener así la localiza-



Figura 11.
Distintivo del módulo.

Fuente:
elaboración propia.

ción espacial de los diferentes registros de hurtos que son desplegados en el mapa, y que permite así los diferentes análisis espaciales requeridos.

La integración de Google Earth dentro del sistema suministra un mayor contexto espacial a los diferentes análisis que posibilita la herramienta.

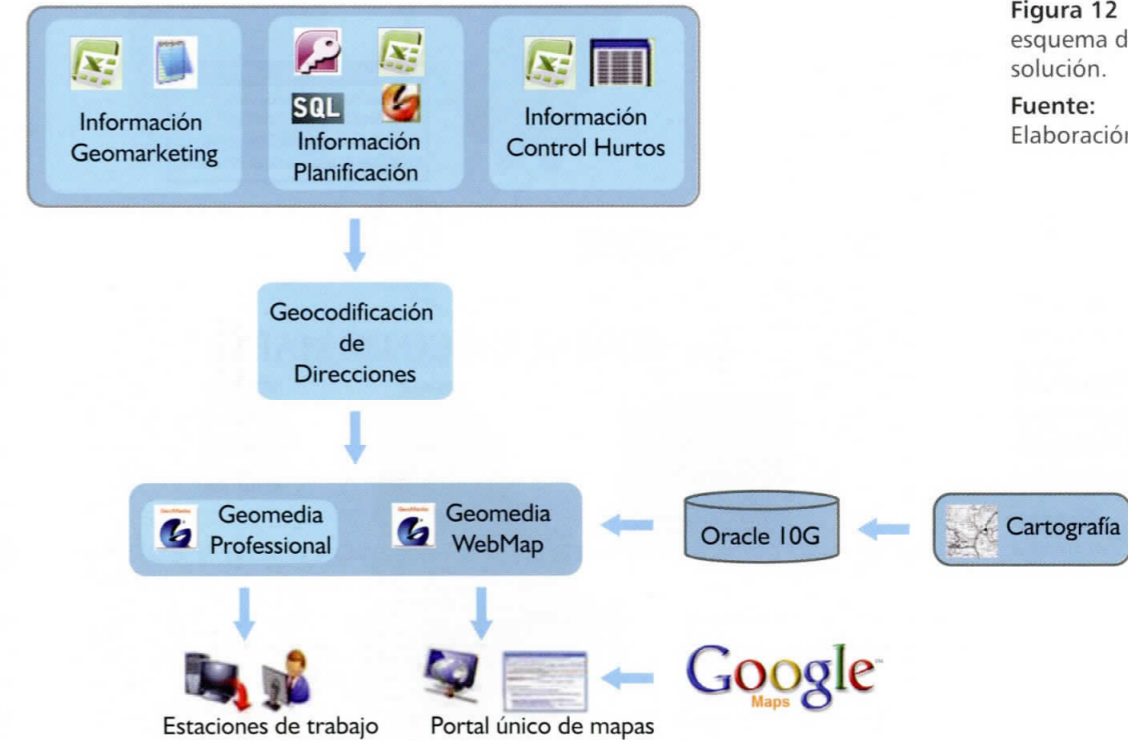


Figura 12
esquema de esta solución.

Fuente:
Elaboración propia.

El sistema suministra funcionalidades tales como:

- Conectividad a diferentes fuentes de datos.
- Comandos para el mapeo automatizado de incidentes de hurtos.
- Reportes temporales.

- Impresión de mapas y generación de PDF.
- Visualización en web.
- Exportado a Excel.
- Integración con Google Maps.

A continuación se muestran algunos de los análisis espaciales implementados en la herramienta:

Figura 13. Distribución espacial de costos totales de hurtos por Localidad.
Fuente: Elaboración propia.

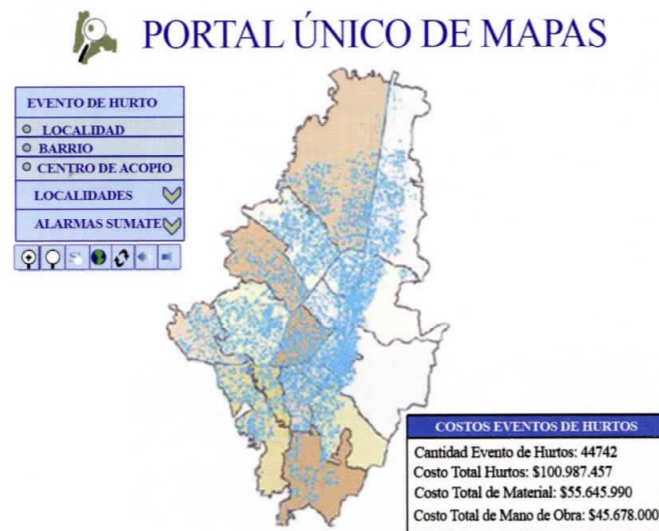


Figura 14. Distribución espacial de Hurtos Totales por Localidad
Fuente: elaboración propia

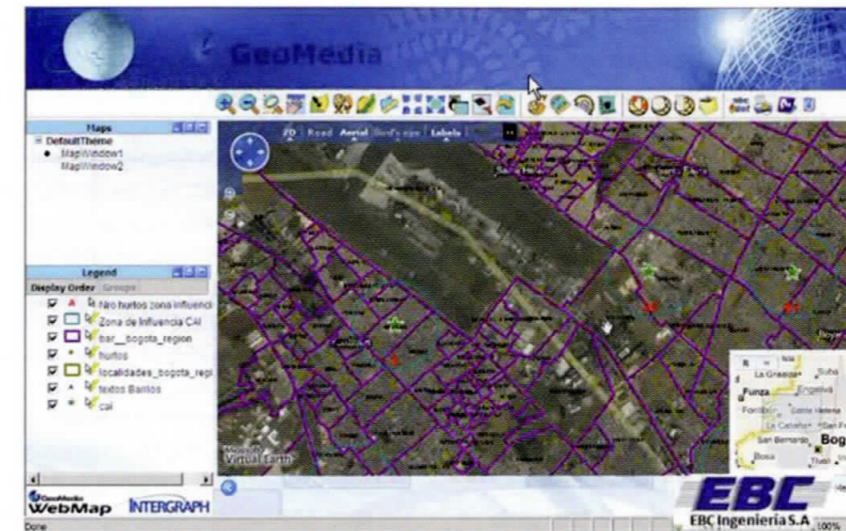


Figura 15. Integración con Google Maps.
Fuente: Elaboración propia.

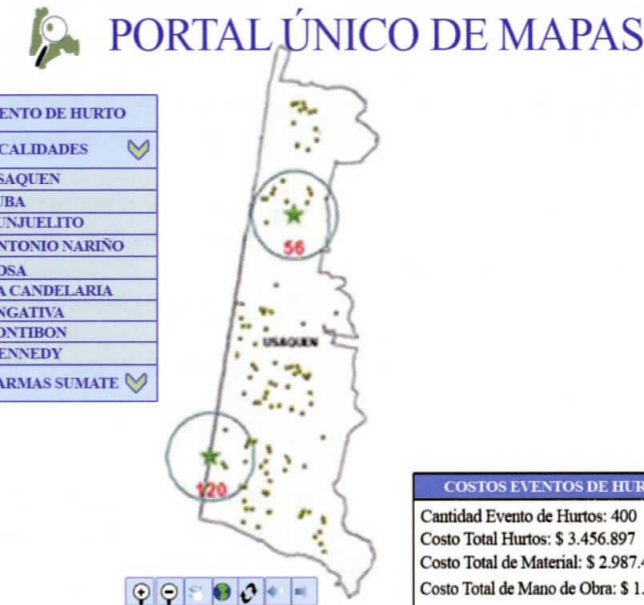


Figura 16. Distribución de hurtos en una localidad específica en la zona de influencia de los CAI.
Fuente: elaboración propia.

Resultados y discusión

A continuación por cada sistema o módulo implementado se evaluarán los resultados más relevantes obtenidos, vale aclarar que por la relación tan estrecha que se tiene en el desarrollo de las aplicaciones a la medida de las necesidades de la ESP no se encuentran casos de éxito comparables en su totalidad.

Sistema integral de operación

Teniendo como base la arquitectura planteada (Figura 4), el proceso de atención de emergencias actual tuvo una mejora muy significativa desde varios puntos de vista, los aspectos más relevantes son:

- Disminución de más del 81% del tiempo en el despacho o asignación de trabajo a la cuadrilla.

- Se ahorran tiempos en los procesos manuales de traspaso de información, registro de materiales y mano de obra.
- Se ahorró el espacio físico de los comprobantes digitales, ya que por día se utilizaba en promedio 30 cm x 24 cm x 8 cm que era lo que ocupaba el folder de almacenamiento de los comprobantes de operación por cada día del año.

Sistema unificado de mantenimiento e idas a terreno

En este momento el sistema está en las últimas actividades de implementación, la ESP espera tener como resultados:

- Una alta Eficiencia en la comunicación con el cliente.
- Disminución de los hurtos.
- Control de las operaciones realizadas por los contratistas.
- Diminución muy significativa de la suplantación de personal.
- Gestión inmediata de las capturas por actividades ilícitas.
- Administración más efectiva de las actividades realizadas en campo.
- Fortalecimiento de comunicaciones.

Durante el transcurso de los últimos 2 meses, las ESP y EBC han evidenciado en cierta medida estos resultados pero no pueden ser medibles hasta que concluya el proceso de divulgación con el cliente.

Sistema GIS Administrativo

Al permitir visualizar la información tabular de los registros de hurtos en forma espacial, mediante el proceso de Geocodificación de direcciones, integrado con la

información de cartografía de la empresa y las imágenes de Google Earth, el sistema permitió los siguientes beneficios:

- Mostrar en forma efectiva sitios con y sin repetición de eventos de hurtos en el mismo mapa.
- Hacer comparaciones rápidas entre lugares con repetición de eventos y el número de incidentes, a través de la lectura del mapa.
- Encontrar en forma rápida concentraciones de hot places (i.e. un área que contiene varias repeticiones de eventos de hurtos).
- Mostrar información compleja en una única imagen simple.
- Ofrecer productos de comunicación efectiva para la toma de decisiones.
- Ayuda a direccionar esfuerzos a donde son más requeridos.
- Visualizar cambio sobre el tiempo.
- Evaluar el impacto de iniciativas de reducción para determinar su efectividad.
- Identificar áreas emergentes que pueden ser de preocupación o atención espacial.
- Ofrece una amplia perspectiva de dónde ocurren los incidentes sin tener que interpretar un gran número de localizaciones individuales.
- Crear reportes temporales en una base diaria.
- Suministrar la información más actualizada sobre tendencias y modelos en una localidad.
- Ayudar a los gerentes para determinar si los modelos y tendencias actuales están teniendo el efecto deseado.

Conclusiones

La implementación de aplicaciones para la mejora de la atención al cliente son de vital importancia dado que permiten dar un mejor servicio y si a esto le sumamos el componente geográfico encontraremos una solución muy eficiente.

En la gestión de la operación en terreno es muy efectivo manejar la distribución geoespacial que permite despachar y distribuir los recursos de forma eficiente para la operación y a nivel administrativo y de gestión se puede realizar controles más detallados de las acciones realizadas.

Al permitir analizar datos de múltiples fuentes e identificar tendencias espaciales a partir de localizaciones puntuales, el sistema permitió a la empresa mantener un control de hurtos eficaz en coordinación con las agencias de seguridad, mediante la combinación de los siguientes factores:

- Evaluación estratégica:

* Identificar áreas de prioridad y las condiciones experimentadas dentro de ellas.

- Evaluación de estrategias:

* Localizar dónde se han establecido estrategias y visualizar su impacto.

- Análisis de patrones:

* Identificar áreas críticas emergentes y predecir los problemas que puedan resultar.

- Análisis de riesgos:

* Identificar áreas de riesgo de un tipo específico de evento de hurto.

- Medio efectivo para la comunicación:

* Dentro de un departamento.

* Entre agencias.

* Público.

* Publicidad.

Integración de información geográfica mediante el uso de técnicas de alineamiento de ontologías

William Ernesto Guerrero Rodríguez¹

Resumen

En los últimos años la integración de información geográfica ha cobrado especial relevancia, la idea de tener datos geográficos eficientes, sin redundancia e interoperables ha sido asumida como una forma de ampliar el potencial de los datos vistos como un capital de las organizaciones. Algo que evidencia esta preocupación es el desarrollo creciente de iniciativas como las IDES, la creación de la WEB-Semántica, la generación de estándares en los procesos de manipulación o administración de la información (ISO,OGC), entre otros. El problema de esta integración radica en que las fuentes de información geográfica cuentan con un alto nivel de heterogeneidad sintáctico, semántico y estructural. Actualmente, el uso de ontologías, entendida, como la especificación explícita de una conceptualización, se ha convertido en una herramienta eficaz que intenta unificar la expresión de un contexto en un determinado dominio. Comúnmente al integrar

ontologías o elementos de distinta ontología es posible encontrar discrepancias que impiden su interrelación. Para hallar equivalencias entre elementos de una ontología, se ha planteado el uso de las denominadas técnicas de alineamiento de ontologías que pretenden definir métricas de similitud entre objetos con el fin de establecer paridades entre los conceptos. La investigación se ha orientado a identificar las diversas técnicas de alineamiento de ontologías haciendo especial énfasis de su uso en el dominio geográfico, y la forma en que estas técnicas pueden aportar a la integración de información en los niveles de instancia y concepto en los SIG o en las BDE.

Palabras Clave:

Heterogeneidad, Integración, Ontologías geográficas, Alineamiento de Ontologías, Información Geográfica.

¹ guerrero.william@gmail.com, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

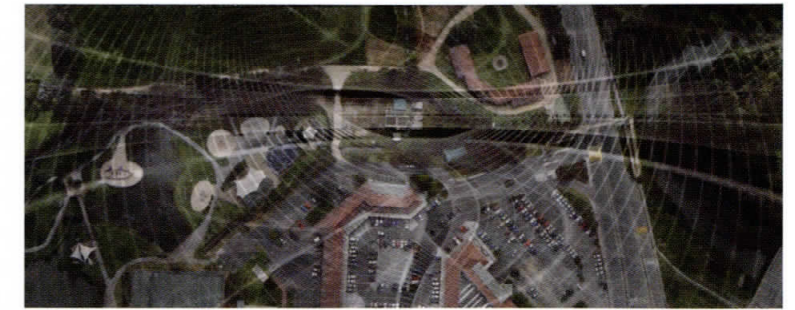
Abstract

In recent years the integration of geographic information has had special relevance, the idea of spatial data efficient, non-redundant and interoperable, has been assumed as a way to expand the potential of data seen as a capital of organizations. Something that shows this concern is the increasing development of initiatives such as the spatial data infrastructures SDI, the creation of the Semantic Web, the generation of standards in the process of handling or information management (ISO, OGC), among others initiatives. The problem of this integration is that geographic information sources have a high level of syntactic, semantic and structural heterogeneity. Currently the use of ontologies understood as the explicit specification of a conceptualization has become a powerful tool that attempts to unify the expression of a domain in a given context. Usually when you run

the integration process of ontologies is possible to find differences in the elements that prevent the creation of relationships between ontologies. To find equivalences between elements of an ontology, have been defined ontology alignment techniques that aim to define a similarity metric between objects in order to establish parity between the concepts. The investigation has focused on identifying the various techniques of ontology alignment with particular emphasis on its use in the geographical domain, and how these techniques can contribute to the integration of information at the instance and concept in geographic information systems (GIS) or in spatial databases.

Keywords:

Heterogeneity, Integration, Geographical ontologies, Ontology Alignment, Geographical information.

**Introducción**

El problema de la heterogeneidad de la información ha sido tratado con gran interés por los investigadores de las ciencias de la información, esto se debe a la necesidad que ha surgido de integrar datos derivados de distintas fuentes con una alta heterogeneidad sintáctica, estructural y semántica. El problema se ha abordado desde distintas perspectivas y las soluciones han sido desarrolladas paralelamente a la evolución de las estructuras y dispositivos de administración de la información. En la actualidad el uso de mecanismos de representación de conocimiento como las ontologías son usados para servir como intermediario debido a su rica estructura semántica basada en teorías lógicas, que provee definiciones formales explícitas de entidades y sus relaciones, que pueden facilitar las definiciones de métodos para proyectar, trasladar e integrar información. A su vez se han desarrollado diversas técnicas que permiten obtener correspondencias conceptuales entre distintas ontologías con el objetivo de crear comunicación entre las fuentes de información, a dichas técnicas se les han llamado métodos de alineamiento de ontologías. Cuando se desean establecer correspondencias conceptuales en la heterogeneidad de conceptualización comentada, es posible abordar el problema desde distintas perspectivas; en el presente documento pretende mostrar cómo establecer estas correspondencias, aplicando técnicas de alineamiento de ontologías (tanto a nivel de instancia como de esquema) en las bases de datos geográficas desde un marco de comparación semántica.

Este documento tiene dos objetivos el primero mostrar las generalidades de las ontologías en el dominio geográfico y su uso en la integración de información, y el segundo mostrar un modelo comparativo a nivel semántica. Para cumplir con estos dos objetivos el documento se organizó así: En la primera parte se menciona el problema de heterogeneidad de la información, en la segunda se define una ontología haciendo especial énfasis de su uso en el dominio geográfico, en la tercera parte se muestran las principales técnicas y métodos de alineamiento, en la cuarta se muestran los trabajos más destacados en el área de alineamiento de ontologías a nivel geográfico centrándose en mostrar uso de instancias para la identificación de correspondencias semánticas, posteriormente se muestra algunos escenarios de comparación de información a nivel conceptual y, finalmente, se propone un modelo de comparación aplicándolo en BDE.

Aproximación al problema de heterogeneidad de la información geográfica

El modelamiento de cualquier estructura de organización de la información parte de la caracterización de cada uno de los elementos y relaciones percibidas de la realidad de acuerdo con un contexto específico, de esta forma la abstracción de un mismo fenómeno puede cambiar de acuerdo a la "visión" sobre la cual se construye el modelamiento, los objetivos y los requerimientos para la elaboración de la base de datos. De-

bido a la propia naturaleza del proceso de conceptualización antes mencionado, cada uno de los elementos y estructuras en general, mostrados en los esquemas de las bases de datos, presentan propiedades muy particulares.

En un ambiente de transferencia de información o de conocimiento, estas particularidades de diseño e implementación de los repositorios de datos, se perciben como un problema de heterogeneidad, en donde la particularidad de la estructura de los objetos, impide la comunicación entre elementos de distintas bases de datos. El problema de la heterogeneidad en bases de datos geográficas puede verse desde dos puntos de vista, uno derivado del proceso de conceptualización y otro asociado a la implementación.

La heterogeneidad asociada a la implementación se ha abordado desarrollando estándares que faciliten la transferencia y comunicación de información. Organizaciones como la ISO la OGC o la W3C (para datos y repositorios web) han tenido especial relevancia, pues han definido procedimientos y formatos que permiten la comunicación entre distintas fuentes de información geográfica o los distintos repositorios, en este sentido formatos como GML (Geography Markup Language) para datos geográficos y esquemas de bases de datos geográficas, XSD (XML Schema Definition) o XMI (XML Metadata Interchange) para esquemas en general, permiten un lenguaje común que vuelve transparente el intercambio de información desde el punto de vista de la implementación.

La heterogeneidad asociada a la conceptualización hace referencia a las diferencias en el modelado y/o abstracción de la realidad, es decir, a las discrepancias en la forma en que un mismo concepto puede ser modelado. En términos de ingeniería de dominio esto hace referencia a medir las diferencias semánticas entre dos conceptos afines en esquemas conceptuales distintos

[1], esto implica determinar los "rasgos semánticos" y/o características que especifican un concepto y que hacen que sea interpretado como un determinado elemento en una base de datos. Como se puede observar el problema se ha afrontado desde una perspectiva de las ciencias cognitivas y desde allí se ha desarrollado.

En la web el problema de la heterogeneidad es el principal inconveniente a la hora de consultar y recuperar información, por este motivo actualmente una gran parte de la comunidad investigativa de las ciencias de la información ha venido orientando sus trabajos al desarrollo de mecanismos que aumenten la calidad de las consultas en la web, con el objetivo de desarrollar lo que se conoce como web semántica. Para facilitar este proceso de consulta se han desarrollado estructuras de modelado de información conocidas como ontologías que manejan una estructura jerárquica entre conceptos que puede llegar a ser muy útil a la hora de acceder a la información. Las ontologías como elementos orgánicos de la realidad modelada son los elementos fundamentales que representan las unidades conceptuales.

Cuando son utilizadas dos o más ontologías (o geo-ontologías en un ámbito geográfico) para describir a un objeto o dominio geográfico, la información contenida en estas puede representar a dicho objeto de manera diferente en cada una de las geo-ontologías, generando la posibilidad de que esas representaciones no sean reconocidas como equivalentes, lo que implica nuevamente enfrentarse al problema de la heterogeneidad asociada a la conceptualización. Con el fin de establecer un conjunto de objetos equivalentes pertenecientes a diferentes ontologías, se han desarrollado procedimientos que faciliten relacionar estos objetos y encontrar correspondencias entre los conceptos pertenecientes a ontologías diferentes; a dichos procedimientos comúnmente se les llama alineamiento de ontologías.

Existen diversas técnicas que persiguen un alineamiento de ontologías dependiendo de las características semánticas que se estudien; sin embargo, de forma general, el alineamiento de geo-ontologías se trabaja en dos categorías [2]: A nivel de concepto y a nivel de instancia. Como se ve el problema de determinar conceptos semejantes ya sea en esquemas o en ontologías es el mismo; en este sentido, podríamos afirmar que las técnicas de alineamiento de geo-ontologías pueden ser usadas para encontrar elementos correspondientes en bases de datos geográficas.

Ontologías en el dominio geográfico – Geontologías

Aunque aún no se tiene una definición común para esta expresión, en el ámbito de administración de la información, de forma general el término ontología hace referencia a una organización conceptual detallada dentro de uno o varios dominios, con el objetivo de facilitar la comunicación de la información entre diferentes sistemas o conjuntos de datos. La palabra ontología en este contexto en realidad hace referencia a una definición filosófica, en donde ontología se entiende como el estudio de la esencia o sustancia de los fenóme-

nos, ocupándose de la definición del ser y de establecer las categorías fundamentales a partir de sus propiedades, estructuras y sistemas. En ciencias de la información se han acuñado otras definiciones como la dada por Gruber [3] quien define que: "Una ontología es una especificación explícita de una conceptualización"; como vemos, esta definición presenta un alto nivel de abstracción. De manera formal podríamos decir que una ontología se define como una tupla de la forma $O = \langle C, R, I, A \rangle$ donde C es el conjunto de conceptos, R es el conjunto de relaciones, I el conjunto de instancias y A el conjunto de axiomas.

En una ontología, un concepto se asocia a una clase, las clases están organizadas en una taxonomía, generalmente en una jerarquía de subsunción de conceptos mediante relaciones semánticas. Una ontología en el dominio geográfico se caracteriza porque los conceptos contenidos se presentan en una posición espacial; un ejemplo de un concepto geográfico podría ser un bosque, un río o un volcán; estos conceptos, además de asociar características temáticas, siempre se asocian a un espacio geográfico. En la figura 1 puede verse un ejemplo de una ontología geográfica presentada en un diagrama.

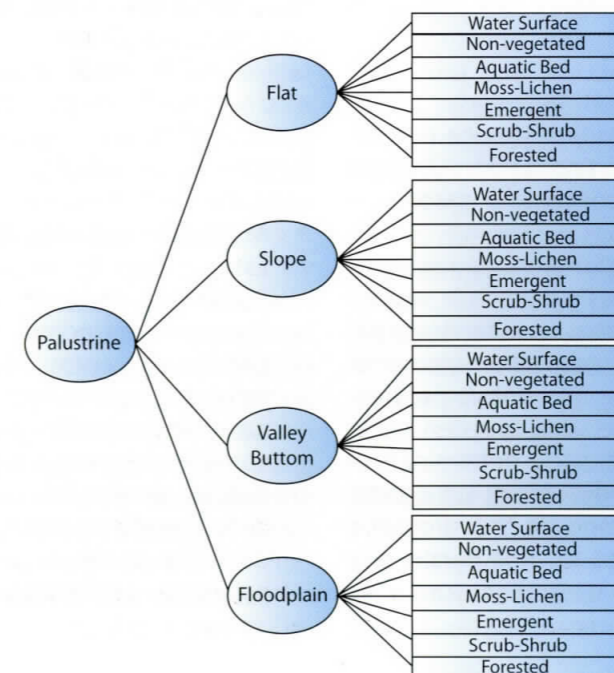


Figura 1. Ontología geográfica de las áreas pantanosas.

Fuente: Extraído de Cruz, Sunna y Makar, 2007.

Las relaciones son asociaciones binarias entre conceptos, estas relaciones binarias son las que les dan sentido al mundo abstraído en el modelado ya que a partir de ellas se realizan inferencias del comportamiento entre los conceptos. En las ontologías geográficas existe una clase especial de relación llamada relación espacial, estas relaciones especifican cómo están ubicados los elementos en el espacio en relación con los otros objetos. Desde este punto de vista, plantea restricciones de comportamiento de los objetos observados en la realidad. Para construir las relaciones espaciales es necesario obtener las relaciones topológicas, entre las entidades o conceptos geográficos, las cuales se refieren a propiedades tales como la conectividad, la adyacencia y la intersección entre clases geoespaciales.

En un contexto de ontologías, los atributos son vistos como una relación especial en donde su destino es un tipo de dato ya sea string un integer o un double, mientras que en una relación común el rango de relaciones es una clase. En un objeto geográfico se presentan atributos o propiedades muy particulares como la posición espacial y la geometría, las cuales definen de una forma u otra el comportamiento de un elemento geográfico y su abstracción de realidad.

Las instancias son entendidas como elementos o individuos de una ontología, es decir, que representan un caso particular de un concepto o clase.

Los axiomas son afirmaciones que siempre son verdaderas y definen la restricción de las relaciones en el contexto del problema y son usadas para determinar la consistencia de una ontología; desde este punto de vista, pueden verse como restricciones que determinan el comportamiento del objeto. Un axioma común en el campo de la hidrografía podría ser: "Todos los ríos tienen una nacimiento y una desembocadura".

En el dominio geográfico las ontologías son usadas para modelar cada uno de los fenómenos geográficos, representando los conceptos y sus relaciones, provee descripciones formales de los conceptos.

Técnicas de alineamiento de ontologías

La clasificación de los métodos de alineamiento de ontologías están directamente relacionados con los tipos de heterogeneidades que se pueden encontrar en la comparación de dos conceptos, o por la forma en que los mapeos o alineamientos se hacen, según la Knowledge Web Consortium (KWC), el alineamiento de ontologías a nivel local (que será el objeto del presente trabajo) se pueden clasificar en:

Métodos terminológicos

Estos métodos parten de la premisa que si dos clases tienen el mismo nombre hacen referencia a un mismo concepto, de esta forma su objetivo se centra en obtener el significado de la etiqueta que representa un determinado concepto en un nivel de granularidad sin ambigüedades, o por lo menos que las etiquetas provenientes de entidades en ontologías diferentes sean comparables. Estos métodos terminológicos a su vez pueden dividirse en dos: métodos basados en cadenas y métodos basados en el lenguaje.

- **Métodos basados en cadenas:** Estos miden las semejanzas entre las cadenas de caracteres de las etiquetas de los nombres que describen los conceptos. Existen muchos caminos para comparar las cadenas, de caracteres dependiendo de cómo la cadena sea vista (como una cadena de letras exacta, un error de secuencia de letras, un conjunto de letras, o como un conjunto de palabras). Los métodos más usa-

dos para determinar similitudes entre cadenas son: String equality, Hamming distance, Substring test, Substring similarity, N-gram distance, Edit distance, Jaro similarity. [4]

- **Métodos basados en lenguaje:** Los métodos basados en lenguaje usan técnicas de procesamiento del lenguaje natural para encontrar asociaciones entre instancias de conceptos o clases. Estos métodos pueden ser intrínsecos (usando las propiedades lingüísticas de las instancias como la morfología y propiedades sintácticas) o extrínsecos (requiriendo el uso de fuentes externas).

Métodos Intrínsecos: Estos métodos se centran en realizar la adecuación terminológica, con la ayuda de análisis morfológicos y sintácticos. Son utilizados con frecuencia en la recuperación de información para mejorar la búsqueda. El estudio morfológico se enfoca principalmente en identificar sufijos, prefijos y pluralidad, identificando declinación o conjugación; el problema al usar algoritmos que tomen en cuenta variaciones morfológicas es que su uso se ve limitado, por el manejo morfológico que se le den a cada una de las frases en cada idioma. Como se ve, los análisis de orden lingüístico intrínseco responden a las variaciones de la forma en que las palabras que representan los términos pueden ser expresadas dependiendo de las conjugaciones o contextos que se presenten.

Métodos extrínsecos: Estos métodos que hacen uso de recursos externos tales como tesauros o diccionarios y/o lexicones o considerando las relaciones semánticas entre palabras como la sinonimia, la hiponimia, meronimia. Generalmente cuando se utilizan estos métodos extrínsecos se analiza con detalle la jerarquía taxonómica que presentan los términos en cada uno de los diccio-

narios utilizados, es decir, que las medidas de distancia o similitud semántica se calculan en función de la estructura manejada por el diccionario. En la actualidad el diccionario más utilizado para las consultas terminológicas es el WORDNET; sin embargo, en el contexto biofísico ambiental también ha sido usado el GEMET (General Multilingual Environmental Thesaurus).

Métodos estructurales

Los métodos estructurales pueden ser subdivididos en los que consideran la estructura interna y la estructura relacional.

- **Métodos basados en estructura interna:** Estos métodos son entendidos como métodos basados en restricciones. Estos usan el nombre de propiedades (los atributos o las relaciones), su cardinalidad, o su tipo de dato para calcular una similitud. Regularmente son combinados con algún método terminológico.
- **Métodos basados en estructura relacional:** Comparan la estructura de las entidades que pueden encontrarse. La estructura de ontología puede ser tratada como un grafo etiquetado, donde la etiqueta (una arista) es el nombre de la relación. La comparación de la similitud de los dos nodos que pertenecen a las ontologías diferentes, respectivamente, se basa en su posición dentro del grafo al cual pertenece. Esta idea se basa en que si dos nodos de dos ontologías son similares a sus vecinos y los vecinos son similares, entonces los nodos en cuestión deberían ser similares.

Métodos Extensionales

Los métodos extensionales o basados en instancias calculan la similitud entre individuos (las instancias). Estos méto-

dos intentan inferir la relación entre los nodos de las ontologías analizando sus instancias, ya sea determinando patrones en las instancias o hallando subconjuntos de valores.

Trabajos destacados en la integración de información geográfica desde una perspectiva de alineamiento de ontologías

La alineación de ontologías ha sido estudiada por diferentes autores en la medida en que el problema de la integración de información heterogénea ha cobrado importancia. Como se verán las técnicas de alineamiento no sólo son usadas para alinear ontologías sino que han sido extendidas a la integración de otras estructuras y modelados que soporten información geográfica como los esquemas de bases de datos geográficas o los geoservicios.

En general, los métodos de alineamiento utilizados en ontologías convencionales pueden ser usadas para alinear ontologías geográficas a nivel de conceptos como PROMPT o SMATCH [5]. Sin embargo, las principales limitaciones de estos métodos es que no toman en cuenta las características particulares del dominio geográfico. Alrededor de este tema se han desarrollado múltiples investigaciones, a continuación citaremos las más representativas:

Uno de los primeros trabajos en el área de alineamiento de ontologías en el dominio geográfico fue realizado por Rodríguez, Egenhofer, y Rugg [6], en donde se establece una medida de similitud semántica asimétrica, el cálculo de similitudes se basa en los rasgos distintivos de las mismas entidades, como las funciones y los atributos. Para definir esta medida de similitud usa relaciones semánticas "parte - todo". Para la construcción de las relaciones semánticas

toma en cuenta conceptos lingüísticos entre las palabras y los significados, como la sinonimia y la polisemia (homonimia).

Voltz [7] en su trabajo menciona la importancia que adquiere la integración de bases de datos geospaciales de distintas fuentes dentro del marco de las infraestructuras de datos espaciales. Divide la integración en dos, una a nivel de esquema y otra a nivel de objeto, en la primera menciona que se fundamenta en la identificación de elementos semánticamente correspondientes en diferentes esquemas, en la segunda se enfoca en aprovechar el nivel de instancia de las representaciones para hallar similitudes entre diferentes esquemas, obteniendo de esta forma medidas de correlación que describen el grado de correspondencia entre los objetos de conjuntos de datos diferentes.

Schwering y Raudal [8] a través de la definición de un espacio geométrico, representan los conceptos geospaciales cada uno como una región convexa dentro de un espacio vectorial, donde cada una de las características que define un concepto es tomado como una dimensión; de esta forma cada objeto espacial presenta dimensiones. Cada una de las medidas de similaridad son obtenidas a partir del promedio entre cada vector de las dos regiones comparadas; de esta forma, según lo sugieren logran obtener similitudes semánticas con resultados más precisos. Para efectos prácticos cada espacio conceptual es tomado de las instancias de un concepto.

Duckham y Worboys [9]. Su trabajo se centra en el problema de automatización del proceso de fusión de información geográfica, para ello usan las instancias de los conceptos y definen un método algebraico que toma en cuenta la distribución espacial de los datos. En su trabajo asumen que la información temático espacial se com-

porta como un Semilattice² y es comparado con una jerarquía de conceptos, de acuerdo a este planteamiento es posible generar un conjunto combinado producto de la fusión de dos semilattice a partir de la generación de una función que proyecta las relaciones topológicas de contención a las relaciones temáticas de los objetos comparados. De esta forma la fusión y las clases resultantes son producto de las proyecciones que se efectúan sobre la asociación de cada elemento en el semilattice y de la relación de contención.

En el año 2006 en el VIII simposio Brasileiro de Geoinformática, Nudelman, Lochpe, y Castano [10], presentaron un algoritmo (G-Match) para realizar alineamiento de ontologías geográficas, este algoritmo consta principalmente de tres fases en el cálculo de medidas de similitud. En la primera, el nombre de los conceptos y los atributos son comparados usando métodos terminológicos de dos formas una por Word-Net y la otra comparando cadenas de caracteres. En la segunda fase, una vez conocidas las medidas de similitud de los nombres, se establece una similitud de la estructura taxonómica de los conceptos dentro de las ontologías, las relaciones entre clases y las relaciones topológicas. En la última fase se establece una función de integración de similitudes a partir de la suma ponderada de las similitudes calculadas con anterioridad. Lo que más se puede resaltar en esta propuesta, es el uso de las relaciones topológicas que enriquece el proceso de comparación entre entidades y que introduce reglas del espacio geográfico dentro de la comparación de conceptos.

Nudelman y Lochpe [11] proponen la utilización de ontologías como mediadores para la integración semántica en

esquemas de bases de datos geográficas, en el documento plantean una arquitectura de software que maneja la integración de heterogeneidades sintácticas usando un lenguaje estándar GML. Además, muestran adaptaciones a métodos matemáticos para la medición de conceptos y la aplicación a esquemas conceptuales en bases de datos geográficas (BDG). Proponen un algoritmo determinístico y secuencial que establece medidas de similitud semántica en cada una de las características de las entidades conceptuales. En un inicio se crea una ontología a partir de un esquema conceptual 1, posteriormente cada una de las características de los conceptos del esquema 2 son comparados. El algoritmo primero verifica si el nombre del concepto del esquema comparado se presenta en la ontología, si se establece un concepto afín se crean medidas de similitud a nivel de atributos estableciendo las diferencias, si el nombre del concepto no es encontrado se realizan medidas de similitud semántica asociadas a las relaciones, nombres y atributos, estableciendo los posibles conceptos afines, si la medida de similitud total (es decir la función de similitud que integra todas las medidas) supera un umbral definido, los conceptos afines se establecen, si la medida está cercana al umbral, un experto (usuario) verifica que se encuentren conceptos afines, si por el contrario las medidas de similaridad no superan el umbral, se adiciona el concepto en la ontología. El resultado final del proceso es una ontología que representa la integración de los dos esquemas conceptuales. Con esta ontología se establece la comunicación entre las dos bases de datos.

Navarrete [12] en su tesis doctoral propone una integración de información temática aplicada a un contexto mul-

2 Desde el punto de vista de conjuntos se puede entender como un conjunto parcialmente ordenado en donde cualquiera de los elementos contenidos en él tienen un máximo o un mínimo valor de jerarquía dependiendo de la relación binaria que se señale ya sea subsumisión o agrupación.

timedia. Define un marco de trabajo semántico que le permita efectuar la fusión de información geográfica de manera semiautomática, su aporte más importantes es la generación de una medida de similitud asimétrica entre nombres de entidades a nivel de cadenas de caracteres y la generación de una medida de similaridad basada en las relaciones entre superposiciones de las instancias espaciales³.

Navarrete y Blat [13] realizan una mezcla de los conjuntos de datos basándose en la distribución espacial de las instancias, plantean que es posible medir un nivel de solapamiento espacial usando un umbral. Un alto solapamiento entre dos instancias u objetos geográficos indicaría que probablemente se refieran a un mismo concepto (relación semántica de equivalencia), Si la extensión espacial del primer valor está contenida en la extensión espacial del segundo valor, probablemente indique la existencia de una relación de contención entre las clases (relación semántica parte - todo), es decir, que la clase correspondiente al primer conjunto de datos es un subconjunto de la clase del segundo conjunto de datos comparado.

Kieler [14] en su documento expresa que no es suficiente una integración por aproximación lingüística ya que una interpretación en este nivel no arroja un resultado óptimo debido a la variedad de representaciones en las etiquetas, describe que incluso así se encuentren semejanzas en los términos pueden dar una definición semántica distinta dependiendo del contexto que se trabaje. Por ello, en su trabajo quiere omitir estas comparaciones de etiquetas y plantea identificar relaciones semánticas sólo en función de las características geométricas de las instancias geográficas, parte de la hipótesis que las descripciones de objetos pertenecientes a un mismo fenómeno tienen objetos en una misma posi-

ción geográfica o tienen propiedades geométricas similares. Su estudio lo divide en dos escenarios, en el primero muestra como se pueden obtener las relaciones semánticas a partir de la superposición geométrica; sin embargo, resalta cómo al comparar dos conjuntos de datos aunque las entidades representen el mismo concepto puede que no compartan las mismas instancias y por lo tanto, el criterio de superposición no puede ser aplicado. Por lo cual en el segundo escenario se plantea que la obtención de las relaciones semánticas pueden ser inferidas a partir de un patrón geométrico calculado por métodos de minería de datos, en un primer paso construye un modelo para describir el conjunto de clases de datos o conceptos basados en datos de entrenamiento aplicados en un primer conjunto y en la segunda etapa utiliza este modelo, para predecir la clase en la cual se clasificarían los nuevos elementos de datos del segundo conjunto. En la demostración mide la elongación y la rectangularidad de los ríos (elemento de geometría lineal) y lagos (elemento de geometría poligonal) de un grupo de datos y genera árboles de decisión para dichas variables con el algoritmo J48.

Recientemente Vaccaril, Shvaiko y Marchese [15] publicaron un artículo en donde muestran el problema de la heterogeneidad semántica como uno de los principales desafíos que enfrentan las IDE, plantean un contexto de integración de geoservicios basado en una coordinación semántica, implementado bajo el lenguaje LCC (Lightweight Coordination Calculus)⁴. En concreto, la integración de "web services" es realizada a partir de la determinación de concordancias semánticas entre las descripciones de los propios geoservicios. Para cumplir con este objetivo introducen una solución que denominan "structure preserving semantic matching".

Escenarios de integración de datos geográficos a nivel semántico

La integración semántica de información geográfica puede realizarse de distintas formas dependiendo de las estructuras de entrada y los objetivos de la comparación que se pretenda realizar. A continuación se presentan 4 escenarios de integración desde una perspectiva de alineamiento de estruc-

turas conceptuales, detectados a partir de la investigación realizada.

Escenario 1: Este escenario es el más común dentro de la integración semántica de datos en la web, plantea la entrada de dos ontologías a un algoritmo de alineamiento y mapeo cuyo producto es una estructura conceptual compartida, a partir de la cual se crea una ontología resultante de un mayor nivel de conceptualización ver figura 2, que comunica las dos ontologías de entrada.

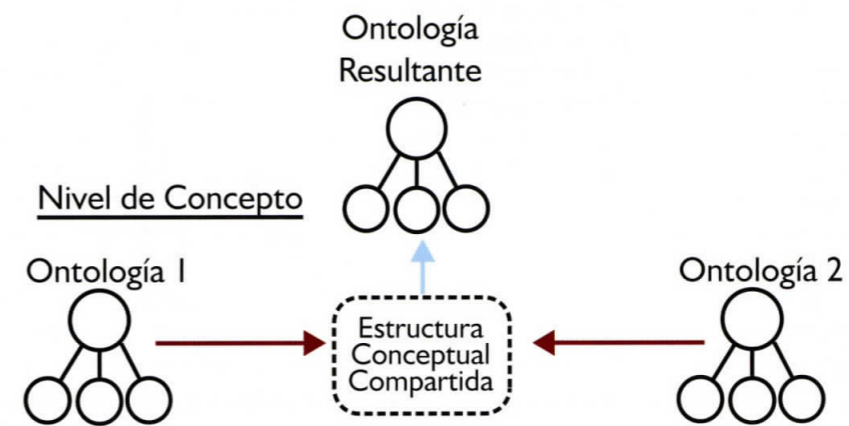


Figura 2. Esquemización del escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.

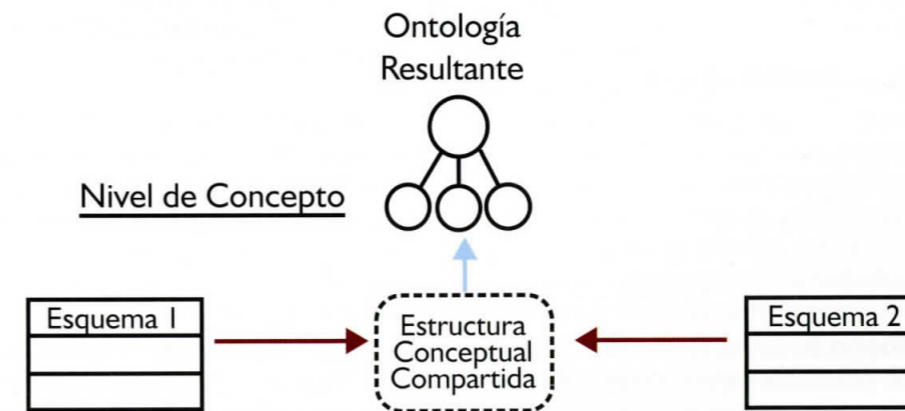


Figura 3. Esquemización del escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.

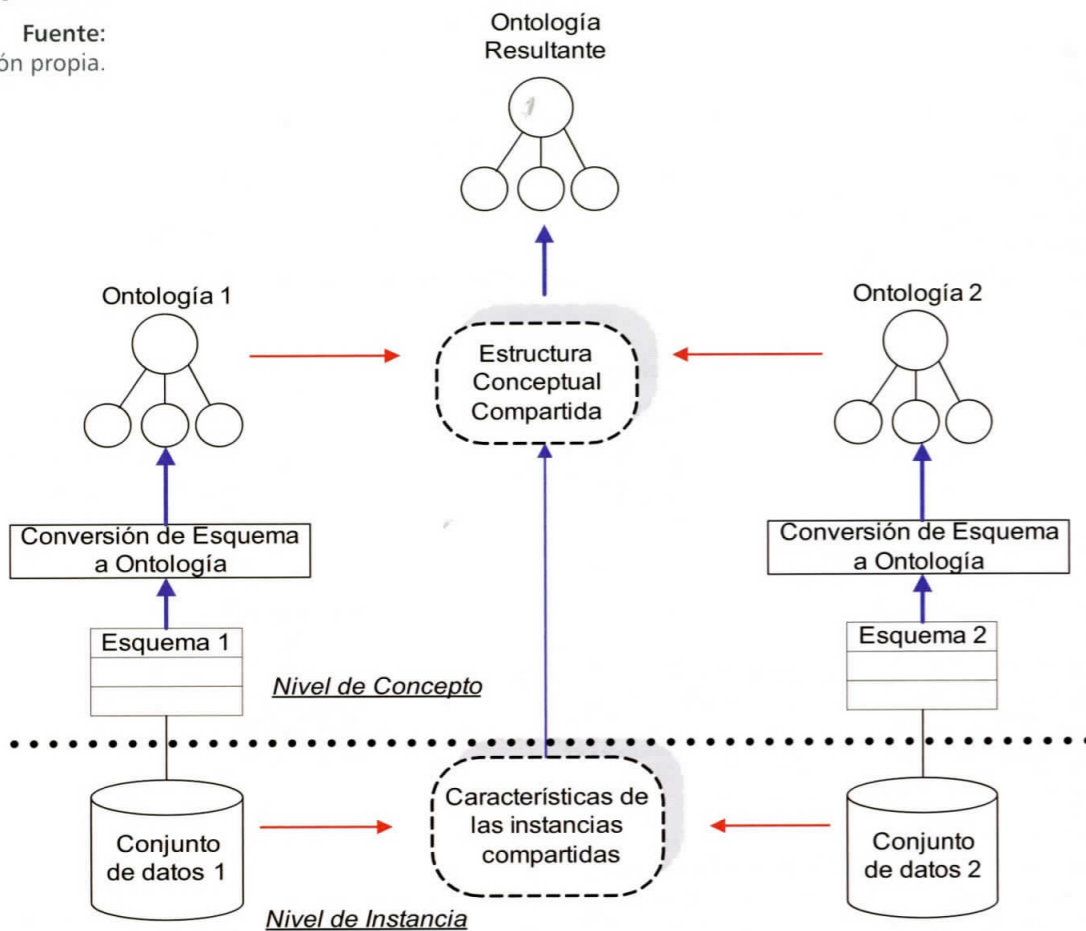
Escenario 2: Este escenario muestra el mismo esquema que el anterior, la diferencia radica en los datos de entrada, ya que en cambio de utilizarse ontologías se cuentan con esquemas de bases de datos, esto hace que la implementación del algoritmo de alineamiento varíe en función de las características del modelo (ya sea un

modelo Objeto Relacional o Entidad Relación) que represente el esquema, al finalizar el proceso se obtiene una ontología que comunica los dos esquemas de entrada y por lo tanto las dos bases de datos, este resultado puede ser de gran utilidad a la hora de resolver conflictos semánticos cuando se construyen bases de datos federadas.

3. Basada en la propuesta de Duckham y Worboys 2005.
4. Lenguaje utilizado para describir las interacciones entre los procesos distribuidos, como los agentes y los servicios web.

Figura 4.
Diagrama del
escenario de
integración 3.

Fuente:
Elaboración propia.



Escenario 3: En los escenarios anteriores se planteaba una comparación semántica sólo a nivel de esquemas, sin embargo, como hemos visto también es posible usar las instancias para obtener una estructura conceptual compartida. En este escenario se muestra cómo obteniendo la comparación de las características de las instancias en un conjunto de datos geográficos es-

tructurados (en concreto una BDE) es posible llegar a deducir correspondencias entre conceptos. Además, muestra que es necesario generar una ontología a partir de cada esquema⁵ que facilite la generación de la ontología de mayor nivel y por lo tanto la comunicación de las dos bases de datos, al final el algoritmo de alineamiento generará las correspondencias a partir de las similitudes de instancia y de esquema.

⁵ Este proceso es muy común en el escenario de la web semántica e integración de Sistemas de información ya que generalmente se dé esquemas de bases de datos en la construcción de ontologías.

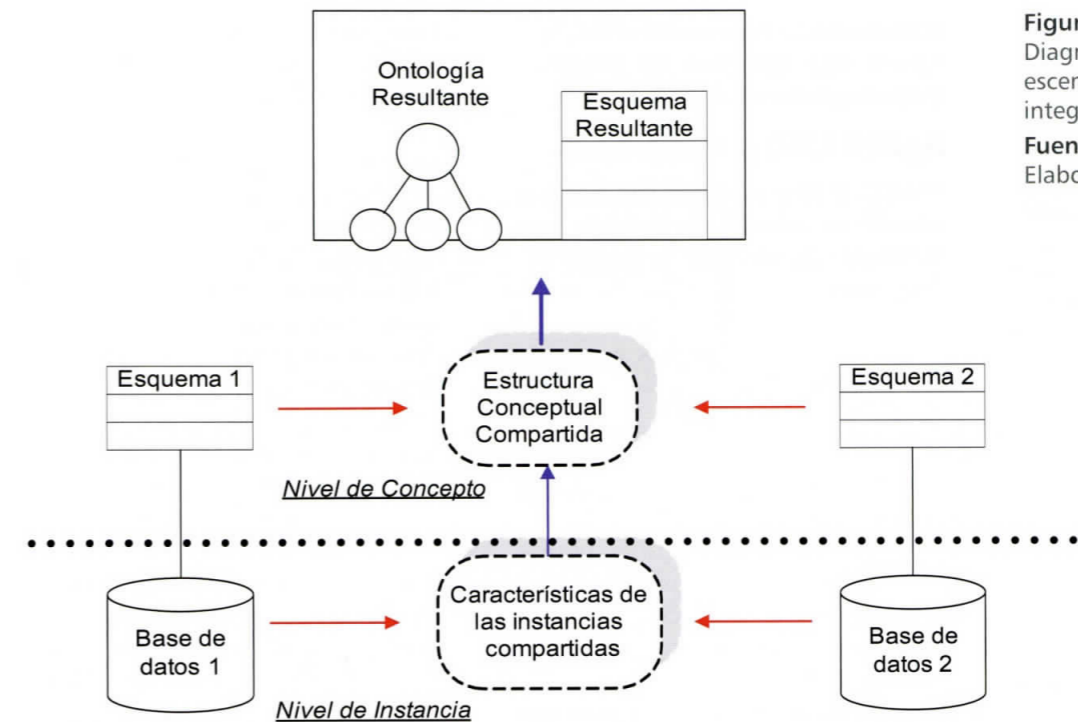


Figura 5.
Diagrama del
escenario de
integración 4.

Fuente:
Elaboración propia.

Escenario 4: Este escenario conserva muchas características del escenario 3, sin embargo, en él se sugiere no generar una ontología por cada esquema de entrada de la integración, sino que la estructura conceptual compartida es obtenida a partir de la propia semántica derivada de los esquemas, ver figura 5. Como resultado de este escenario se puede generar una ontología o un nuevo esquema resultante dependiendo de los objetivos que se planteen.

de bases de datos si se está realizando un proceso de reingeniería o un marco de migración automatizado.

Criterios para el cálculo de similitudes

- **Similitud entre los nombres de la entidad:** Este criterio parte de la lógica que si dos elementos comparten el mismo nombre representarán el mismo concepto. Sin embargo, es posible que en esquemas conceptuales modelados con cierta independencia los nombres no sean exactos sino que se compartan ciertas partes del nombre de la cadena, o que aunque representen el mismo concepto tengan nombres sinónimos. Para el cálculo de esta similitud primero se realizará un método basado en cadenas usando la distancia de Levenshtein como métrica (también llamada distancia de edición), su cálculo establece el número mínimo de operaciones necesarias para transformar una cadena en otra su cálculo se puede ver en [16] para efectos prácticos denotare-

Modelo de comparación semántica propuesto

A continuación mostramos un marco de comparación semántica basado en el escenario de integración 4. Las entradas en el modelo serán cada una de las entidades de dos bases de datos espaciales y se espera obtener un listado con entidades concordantes y los valores de similitud calculados entre cada comparación. Con este resultado se facilitará la generación de una ontología compartida que comunique las dos bases de datos, un nuevo esquema

mos a esta métrica como $D(S1, S2)$. Como esta distancia es simétrica y se encuentra acotada por:

$$0 \leq D(S1, S2) \leq \max(|S1|, |S2|)$$

El cálculo de similaridad del nombre usando el método de cadenas con la métrica Levenshtein se puede definir como:

$$SimNombre = 1 - \frac{2 * D(S1, S2)}{|S1| + |S2|}$$

Si usando este método no se puede concluir que dichas entidades son concordantes, se usará un método lingüístico conectándose a una base de datos léxica, buscando una relación de sinonimia entre los nombres comparados.

- **Similaridad entre atributos de la entidad:** Este criterio se basa en la idea que entidades asociadas a un mismo concepto comparten atributos que identifican las propiedades que a su vez definen la naturaleza del elemento. La comparación se realiza por el nombre o etiqueta del atributo. La similaridad en este caso es calculada en función del número de atributos que comparten las entidades comparadas. Esta similaridad será el resultado de la relación entre la suma de las concordancias de atributos y el número total de atributos encontrados en ambas entidades. Esta similaridad será denotada como $SimAt$.
- **Similaridad entre Relaciones:** Esta similaridad se calculará como la proporción entre el número de relaciones comunes entre las entidades y el número total de relaciones encontradas en ambas entidades. Para este caso esta similaridad se le designará como: $SimRel$
- **Similaridad entre las relaciones topológicas:** Otra forma de comparar entidades geográficas en esquemas es ver sus relaciones to-

pológicas tanto horizontales como verticales⁶, analizando cada una de las propiedades que las define y las entidades presentes en la relación. De la misma forma que la similaridad anterior calculando, la proporción entre el número de relaciones topológicas comunes entre las entidades y la unión de relaciones topológicas encontradas en ambas entidades. Para el presente documento esta similaridad se denotará como: $SimTop$. Se debe tener en cuenta que esta relación solo se puede calcular si la relación topológica se encuentra explícita dentro del modelo.

- **Similaridades entre el componente geométrico de la entidad geográfica:** Las similaridades nombradas anteriormente son calculadas en un nivel de esquema, sin embargo como se ha recalado, es posible realizar una comparación a nivel de instancias para deducir una estructura conceptual compartida. En este caso, se aprovechará el componente geométrico de la entidad para calcular la similaridad. Existen distintos criterios a nivel geométrico para realizar estas comparaciones algunos ejemplos son: **Posición de los nodos, Envoltente, Longitud, Sinuosidad, Rectangularidad, Valor Área, Alargamiento:** Aplicado a geometrías línea y polígono. El cálculo de esta similaridad esta en función de la proporción entre el número de instancias detectadas como geoméricamente coincidentes y el número menor de instancias de los conjuntos de datos comparados. Esta similaridad será denotada como: $SimGeo$.
- **Similaridades entre el componente alfanumérico de la entidad geográfica:** Este criterio propone detectar los registros comunes en las bases de datos comparados, para ello es necesario utilizar métodos de alineamiento terminológicos (ya sean basados en cadenas de caracteres o méto-

dos lingüísticos). El grado de similaridad se calculará como la relación entre el número de registros detec-

tados como semejantes y el número menor de registros en las entidades comparadas. Se denominará $SimAlf$

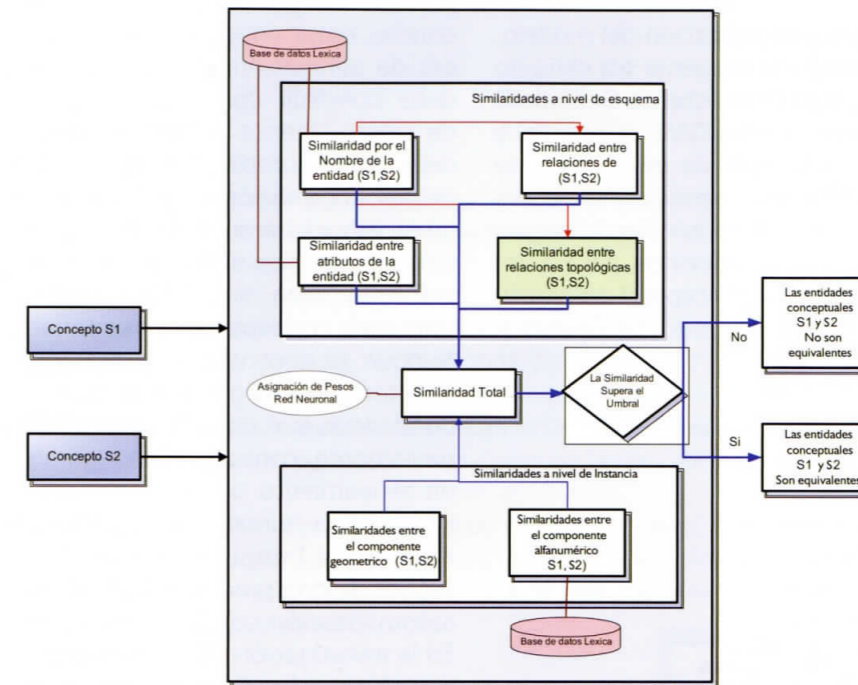


Figura 6. Diagrama del modelo de integración propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Estructura del modelo de integración semántica

Una vez se ingresan las entidades de entrada, el modelo calcula similaridades a nivel de instancia y esquema según los criterios definidos con anterioridad. Después de esto se propone una combinación de estas similaridades

$$SimTotal = Wn * SimNom(S1, S2) + Wa * SimAt(S1, S2) + Wr * SimRel(S1, S2) + Wt * SimTop(S1, S2) + Wg * SimGeo(S1, S2) + Wf * SimAlf(S1, S2)$$

Donde:

$$W \sum = 1$$

Al final la función de similaridad total tendrá valores en un rango de 0 a 1. En donde 0 definirá que no existe similaridad y 1 define que las entidades son iguales. Definiendo un umbral de

aceptación podremos definir que los dos términos son equivalentes o no.

Si $SimTotal(S1, S2) \geq \lambda$, Las entidades son equivalentes

6 En este documento topología Horizontal hará referencia a topologías dentro de una misma entidad geográfica y topología vertical describirá las relaciones topológicas entre dos entidades geográficas distintas.
7 Basado en el algoritmo G-Match.

Si $SimTotal(S1, S2) < \lambda$, Las entidades no son equivalentes

Marco de implementación

En un marco de aplicación del modelo, se plantea que el esquema sea extraído como un XSD (Xml Schema Definition) y los datos como GML (Geography Markup Language); de esta forma, se facilitará el cálculo de similitudes en el nivel de esquema e instancia según los criterios ya establecidos, para obtener la estructura conceptual compartida. Ver figura 7.

Conclusiones y trabajo futuro

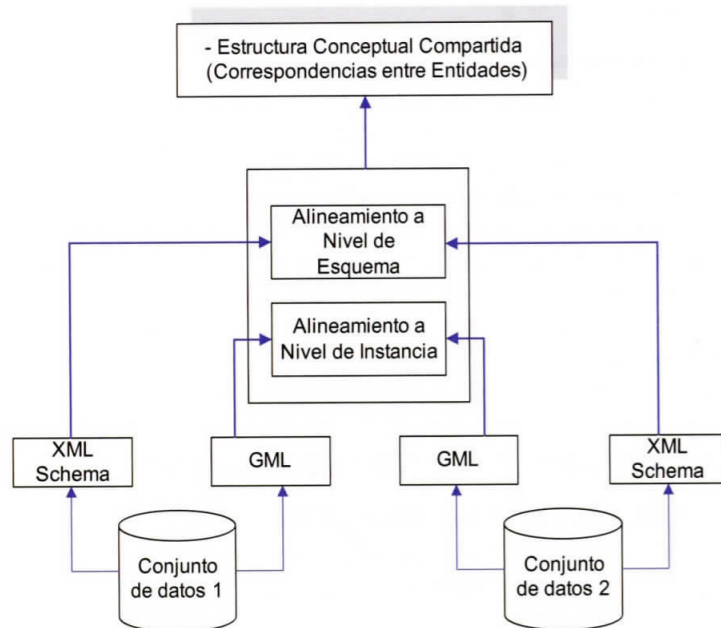
Como se vio en el documento la generación de un modelo que automatice el proceso de generación de correspondencias entre entidades usando técnicas de alineamiento de ontologías se debe construir con una combinación de varios criterios y métodos, esto se debe a la complejidad que conlleva extraer información semántica de cualquier estructura conceptual, que hace que los criterios aplicados de manera individual sean muy débiles para extraer unas correspondencias confiables. Aunque se encontraron formas de semiautomatizar la generación de correspondencias aún no se tiene un método plenamente confiable que garantice un alineamiento sin la intervención de la experticia humana, por lo cual hace necesario la búsqueda de nuevas alternativas de este proceso que permitan la automatización completa del proceso. En la investigación realizada además se detectó que las diferencias en la temporalidad y granularidad de la información pueden dificultar la aplicación de los alineamientos por lo cual deben incluirse mecanismos que permitan enfrentar esta problemática. Debe resaltar que es como muchos investigadores del área han enfocado sus trabajos al uso de mecanismos excepcionales de alineamiento, esto se debe a que han encontrado en las instancias (sobre todo geográfica) una variedad amplia de alternativas para determinar estructuras conceptuales compartidas. Otro punto que se comenta es el problema de usar diccionarios léxicos dentro de la aplicación de métodos terminológicos, esto se debe a la dificultad de encontrar dichos diccionarios aplicados a un contexto particular de trabajo.

En el documento se planteó el marco básico del modelo propuesto y se esquematizó su forma de implementación de manera general el trabajo a corto plazo se orientará a experimentar con datos reales que retroalimenten el modelo. Además, se pretende adelantar la

integración al modelo de un razonador mediante el uso de lógica difusa de los mecanismos de decisión del modelo. También se pretende profundizar en la investigación en el uso de nuevos me-

canismos de comparaciones a nivel de instancias geométricas que aumenten la confiabilidad en los resultados de las correspondencias semánticas.

Figura 7.
Marco de implementación.



Fuente:
Elaboración propia.

Bibliografía

- [1] George, D. "Understanding Structural and Semantic Heterogeneity in the Context of Database Schema Integration". Department of Computing, University of Central Lancashire, Preston UK. 2005.
- [2] Nudelman, G. H., Lochpe, C., Ferrara, A., and Castano, S., "Towards Effective Geographic Ontology Matching," en GeoS 2007, pp. 51-65. 2007.
- [3] Gruber, T. R., "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing," International Journal of Human-Computer Studies, vol. 43, pp. 907-928, 1995.
- [4] Euzenat, J., Bach, T. L., Barrasa, J., Bouquet, P., Bo, J. D., Dieng, R., Ehrig, M., Hauswirth, M., Jarrar, M., Lara, R., Maynard, D., Napoli, A., Stamou, G., Stuckenschmidt, H., Shvaiko, P., Tessaris, S., Acker, S. V., and Zaihrayeu, I., "State of the Art on Ontology Alignment," 2004.
- [5] Giunchiglia, F., Shvaiko, P., and Yatskevich, M., "S-Match: an algorithm and an implementation of semantic matching," publicado en Proceedings of ESWS 2004, Heraklion (GR), pp. 61-75, 2004.
- [6] Rodríguez, M. A., Egenhofer, M. J., and Rugg, R. D., "Assessing Semantic Similarities among geospatial Feature Class Definitions," in Interoperating Geographic Information Systems, Second International Conference, Interop '99, Zurich, Switzerland, pp. 189-202, 1999.
- [7] Volz, S., "Data-Driven Matching of Geospatial Schemas" en Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin / Heidelberg, pp 115-132, 2005.
- [8] Schwering, A. and Raubal, M., "Measuring Semantic Similarity Between Geospatial Conceptual Regions," in GeoS 2005, pp. 90-106, 2005.
- [9] Duckham, M. and Worboys, M., "An Algebraic Approach to Automated Geospatial Information Fusion," International Journal of Geographic Information Science, vol. 19, pp. 537-557, 2005.
- [10] Hess, G. N., Lochpe, C., and Castano, S., "An Algorithm and Implementation for GeoOntologies Integration," in VIII Brazilian Symposium on Geoinformatics, Campos do Jordão, Brazil, pp. 129-140, 2006.
- [11] Nudelman G.H., Lochpe C., "Ontology-driven resolution of semantic heterogeneities in GDB conceptual schemas" Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Informática, 2006.

Publicaciones Especiales

- [12] Navarrete T. "Semantic integration of thematic geographic information in a multimedia context", PhD Thesis, Doctorate in Computer Science and Communication Department of Technology, Universitat Pompeu Fabra, 2006.
- [13] Navarrete, T. and Blat, J., "An algorithm for Merging Geographic Datasets Based on the Spatial Distribution of Their Values," en GeoS 2007, pp. 66-81, 2007.
- [14] Kieler, B. "Derivation of Semantic Relationships between different Ontologies with the Help of Geometry" en "Semantic Web meets Geospatial Applications", Germany, 2008.
- [15] L. Vaccari, P. Shvaiko y M. Marchese, "A geo-service semantic integration in Spatial Data Infrastructures" in International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, Vol. 4, 24-51., 2009.
- [16] G. Navarro, "A guided tour to approximate string matching," ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 33, no. 1, pp. 31-88, March 2001.

Publicaciones Especiales

- Geografía para Niños CD-Rom** (2009): \$20.500
- Fundamentos Físicos de Teledetección** (2007): \$14.500
- Nombres Geográficos de Colombia** (2010): \$34.000
- Geografía para Niños** (2007): \$46.500
- Los Nombres Originales de los Territorios de Colombia** (1995): \$52.500
- Principios Básicos de Cartografía Temática** (1998): \$52.500
- Suelos para Niños** (2009): \$48.000
- Mapas de Ruta Paquete** (2006): \$13.000
- Mapas de Ruta Argollado** (2006): \$13.000
- Problemas de Fotogrametría Elemental** (1981): \$2.500
- Modelo de Datos Urbanos CS 2000** (1996): \$27.000
- Conceptos Básicos Sobre SIG y Aplicaciones en Latinoamérica** (1995): \$9.500
- Zonificación Ambiental para el Plan Modelo Colombo-Brasileño** (1997): \$30.500
- Libro de Gravimetría** (1998): \$58.000
- Bogotá un Museo de cielo Abierto** (2008): \$51.000
- Los Cañones Colombianos: Una Síntesis Geográfica** (2007): \$38.500
- Atlas de Colombia Libro o CD-Rom** (2002): Libro \$115.000, CD-Rom \$46.500
- Atlas Básico de Colombia 2 tomos** (2008): \$61.500
- Reservas Forestales Protectoras Nacionales de Colombia Atlas Básico** (2005): \$52.500
- Atlas de la Salud Impreso y en CD-Rom** (2008): \$77.000
- Atlas de Mortalidad por Cáncer en Colombia** (2003): \$23.500
- Atlas de Cundinamarca** (2007): \$71.500
- Atlas Histórico de Bogotá Cartografía 1791-2007** (2007): \$203.000
- Videos Geográficos de Colombia** (2005): \$45.500
- Mapas de Colombia**
 - Mapa de Fronteras Terrestres y Marítimas (2009): \$14.000
 - Mapa Físico Político de Colombia (2009): \$14.000
 - Mapa de Entidades Territoriales (2006): \$14.000
 - Mapa de Suelos de Colombia (2005): \$14.000
 - Mapa de Zonificación Agroecológica (2002): \$14.000
 - Mapa de Cobertura y Uso de las Tierras (2002): \$14.000
 - Mapa de Vocación de Uso de las Tierras (2002): \$14.000
 - Mapa de Uso Adecuado y Conflictos de Uso de las Tierras (2002): \$14.000
 - Mapa Gravimétrico de Colombia Anomalía Total de Bouguer (1996): \$58.000