

ISSN 1692-0791

GEOTRÓPICO

Online

<http://www.geotropico.org>

Publicación científica semestral, arbitrada y de acceso abierto, editada por
GEOLAT con el patrocinio de la Universidad de Córdoba, Montería, Colombia

An open access, peer-reviewed geographical journal

Editor

H.F. Rucinque, Ph.D.

Separata pdf
pdf reprint

[Índice del Número al final del archivo]

Gónima, Leonardo, y Durango Vertel, Jairo. 2005. Aplicaciones ambientales de imágenes digitales de satélite. *GeoTrópico*, vol. 3 (1), 21-30, documento *web*, acceso [escribir la fecha de consulta]: http://www.geotropico.org/3_1_Gonima.pdf



© Grupo GEOLAT, 2005

Bogotá DC, Colombia

Aplicaciones ambientales de imágenes digitales de satélite

*Leonardo Gónima y
Jairo Durango Vertel*

Universidad de Córdoba
Montería, Colombia

Remitido: Diciembre, 2004
Aceptado: Febrero, 2005

ABSTRACT. *The following article shows some environmental applications of satellite images for tropical regions. The thematic results were obtained by application of physically based algorithms to the digital processing of satellite images. Some physical concepts like surface reflectance, global radiation and shortwave solar net radiation are used for developing the algorithms. The developed methodology allow a better identification of the different types of vegetation cover, soils and water surfaces, and show the capability of the satellite images for quantifying some biophysical variables of the studied surfaces.*

Keywords: environment, satellite images, digital processing, interpretation

Introducción

Durante los últimos años se ha venido intensificando en el mundo entero la urgente necesidad de orientar determinadas disciplinas de la investigación científica hacia un mejor y mayor conocimiento de los fenómenos asociados a los cambios ambientales producidos por el cambio climático global. El denominado “hueco” del ozono y el calentamiento progresivo de la atmósfera terrestre, como consecuencia de la incontrolada emisión de gases a la atmósfera, han comenzado a causar estragos en el medio ambiente a nivel local y regional en diversas partes del planeta (Wisner 2004). Eventos como la ola de calor y las posteriores inundaciones que afectaron a Europa en el verano y otoño del 2003 respectivamente, no solamente alteraron la producción agrícola sino que también fueron la causa de miles de muertes de seres humanos. Estos fenómenos son una muestra de las graves modificaciones que la actividad humana está produciendo sobre el medio ambiente, como parte integrante del mismo.

Es así como la percepción remota satelitaria ha ido adquiriendo cada vez más una mayor importancia en el estudio del medio ambiente a nivel local, regional y global. La actual constelación de satélites que orbitan alrededor de la Tierra y que son utilizados para el estudio de la superficie y de la atmósfera terrestres, demuestra el creciente interés que se le está dando, a nivel mundial, al estudio del medio ambiente (Metz et al. 2001). En Colombia cada vez hay una mayor utilización de imágenes de satélite, no solamente para estudios temáticos individuales, sino también para realizar evaluaciones de impactos ambientales y sus consecuencias sobre los ecosistemas tropicales. Instituciones, entre otras, como el IGAC, el Instituto Alexander von Humboldt, el IDEAM,

INVEMAR y varias universidades del país desarrollan proyectos de investigación y aplicación, basados en la utilización de imágenes digitales de satélite, orientados principalmente al conocimiento del medio ambiente y sus variaciones producidas por causas naturales y antropogénicas. Sin embargo, la interpretación de las imágenes de satélite en ambientes tropicales no es fácil, ya que tropieza con numerosas dificultades relacionadas con la interacción entre las diferentes superficies existentes y la gran variabilidad de las condiciones atmosféricas presentes durante la adquisición de las imágenes. A esto hay que añadirle que la gran diversidad y complejidad que presentan las superficies de agua, vegetación y suelos, y la caótica relación entre el hombre y su entorno complican aún más la adecuada manipulación de dichas imágenes. Por consiguiente, el procesamiento digital de las imágenes de satélite debe contribuir inicialmente a resolver de la mejor manera posible, la interferencia radiométrica que produce la atmósfera sobre las superficies estudiadas, para así lograr una mejor identificación de ellas y de los fenómenos físicos involucrados. A partir de fines de la década de los 80, la percepción remota satelitaria dejó de ser únicamente descriptiva para convertirse en una poderosa herramienta útil en la modelamiento de los fenómenos físicos que ocurren en la interfase superficie-atmósfera terrestre (Gónima 1996). Es así como la teledetección satelitaria, que antes era considerada como una "técnica", se ha ido convirtiendo poco a poco en una ciencia interdisciplinaria en pleno desarrollo, en donde la física juega un papel cada vez más importante.

El objetivo del presente artículo es el de mostrar la contribución que hace el procesamiento digital, basado en conceptos físicos, en la interpretación temática y ambiental de imágenes de satélite.

Metodología

Puesto que el principio físico sobre el cual está basada la percepción remota satelitaria de la superficie terrestre es la captación y medición de radiación electromagnética proveniente de diferentes superficies, es necesario que el procesamiento digital de las imágenes de satélite esté relacionado directamente con el intercambio radiativo entre la superficie y la atmósfera en primera instancia, y luego con la interrelación entre las diversas variables ambientales que afectan el comportamiento radiativo de dichas superficies. Algunas de esas variables pueden ser, por ejemplo, alteraciones naturales y/o antrópicas en la composición y el estado de superficies de vegetación, suelo y agua, y variaciones a corto y mediano plazo de las condiciones meteorológicas existentes en un lugar determinado tales como, por ejemplo, la aparición y frecuencia de periodos de lluvia y sequía.

La metodología utilizada está basada en la aplicación de algoritmos físico-matemáticos para el cálculo de nuevas imágenes que contribuyan a una mejor identificación, y con mayor rigor conceptual, de las diferentes clases de superficies existentes en una zona de estudio en particular. El cálculo de la reflectancia de la superficie utilizando imágenes de satélite (Gónima 1999), fue el punto de partida para la estimación de imágenes de la radiación global espectral e integral y de la radiación solar neta espectral de onda corta (Gónima 1996). Cada una de estas imágenes no solamente está asociada directa o indirectamente con fenómenos de intercambio energético entre la atmósfera y cada una de las superficies, sino que describen en buena medida la interrelación existente entre diversas superficies, lo cual tiene una gran utilidad práctica en la interpretación

final de ellas. La interpretación posterior de las imágenes calculadas se realizó en forma unidimensional (selección de la imagen adecuada para la interpretación de un tema en particular) analizando detalladamente la radiometría de cada una de ellas con el fin de definir lo más precisamente posible las diferentes clases de superficies, complementán-

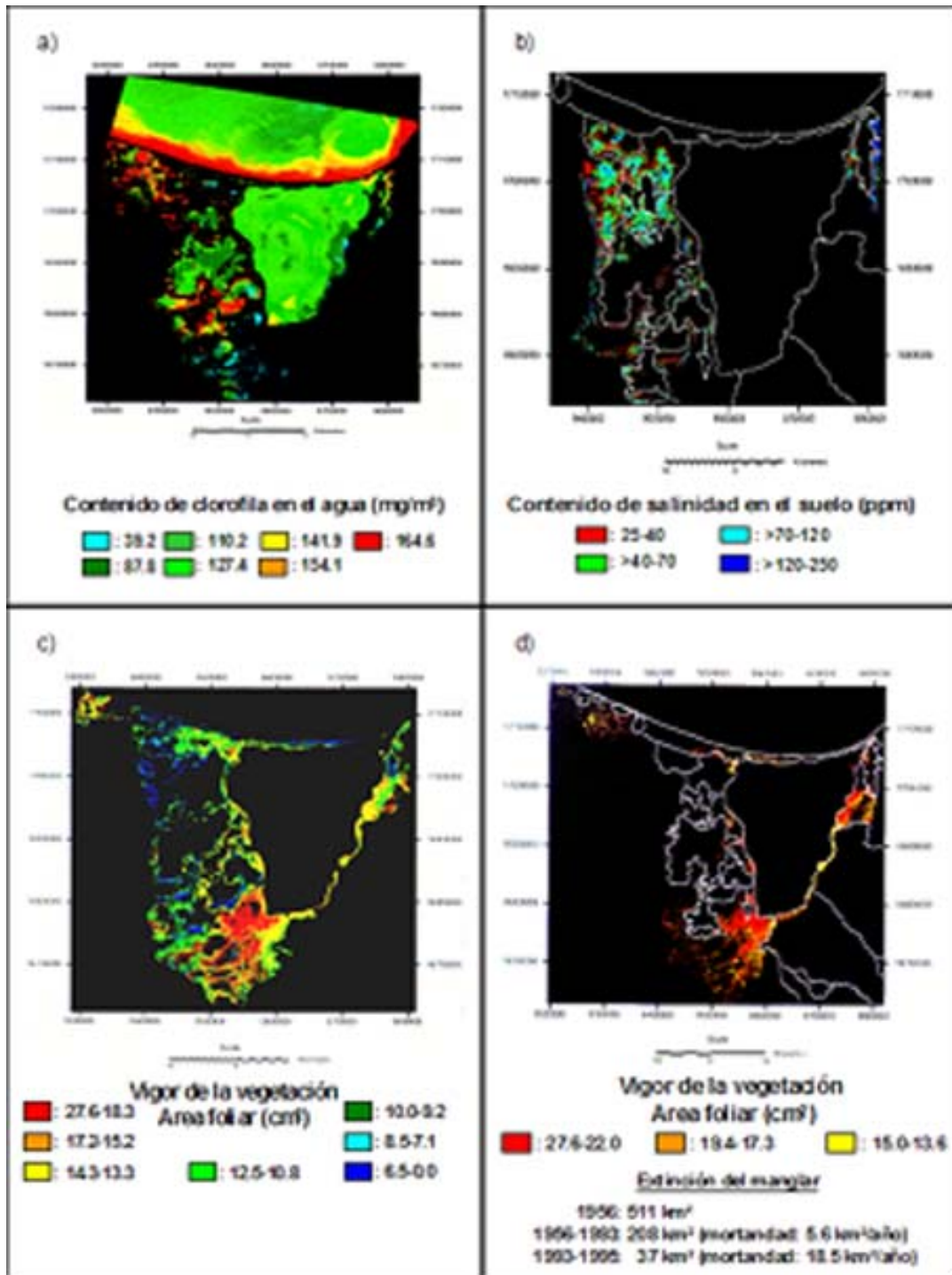


Figura 1. Estudio ambiental de la Ciénaga Grande de Santa Marta utilizando imágenes SPOT. a), b) y c): imagen del 29.12.1993, d): imagen del 01.12.1995.

dola con información externa cuantitativa (datos de campo) y cualitativa (mapas y fotos aéreas) disponible sobre cada tema. Los resultados de la estimación de las variables bio-

físicas de la vegetación, suelos y las superficies de agua fueron validados utilizando los datos de campo recolectados para tal fin, de tal forma que coincidieran o representaran lo más precisamente posible las condiciones ambientales existentes durante la adquisición de las imágenes.

Resultados

La Figura 1 muestra como ejemplo, para diferentes condiciones ambientales, los resultados obtenidos por medio de la aplicación de los algoritmos mencionados anteriormente.

Las cuatro imágenes del complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) muestran algunos de los resultados obtenidos dentro de un proyecto de investigación desarrollado conjuntamente por el INVEMAR y la Universidad Nacional de Colombia (Gónima et al. 1998). Este proyecto tuvo como objetivo principal el monitoreo ambiental de la vegetación de manglar, los suelos y las superficies de agua de la CGSM utilizando imágenes digitales del satélite SPOT. La imagen de la reflectancia calculada de la banda 1, (Figura 1a), se utilizó para identificar y describir los flujos y corrientes de agua existentes en el complejo lagunar, de gran utilidad en la comprensión del intercambio hídrico entre el mar Caribe, los ríos aportantes y la CGSM. Además, con esta imagen fue posible estimar, con suficiente precisión, el contenido de clorofila existente en los cuerpos de agua estudiados, útil para el análisis de la calidad del agua respectiva. Como consecuencia del taponamiento de la mayoría de los caños provenientes del río Magdalena y del mar, los suelos de la CGSM sufrieron un continuo deterioro en su composición. La imagen calculada de la reflectancia (banda 2) permitió cuantificar la salinidad de los suelos expuestos, encontrándose en general una alta concentración salina en la composición superficial de ellos (Figura 1b)). Tal vez el problema más importante que generó la alteración del intercambio natural de agua de la CGSM con el río y el mar, ha sido la extinción o mortandad del manglar a través del tiempo. A través de la imagen calculada de la radiación global se pudo inicialmente, identificar y delimitar adecuadamente la vegetación de manglar, tanto en época seca, (Figura 1c), como en el evento de una gran inundación del área de estudio, (Figura 1d) a consecuencia de las fuertes precipitaciones caídas en los días anteriores a la adquisición de la respectiva imagen. Con esta imagen de la radiación global también fue posible calcular el área foliar (Figura 1c)), variable biofísica estrechamente relacionada con el vigor (biomasa) de la vegetación en general. De esta manera se pudo cuantificar el retroceso en el tiempo (extinción) de la vegetación de manglar en la CGSM como consecuencia del taponamiento de los canales de comunicación entre el río Magdalena y la CGSM y entre ésta y el mar (Figura 1c)). De 511 km² de cobertura de manglar vigoroso existentes en 1956, estimados a partir de la interpretación de fotos aéreas, en 1995 quedaban solamente 37 km² (calculados con la imagen respectiva), lo que implica una mortandad equivalente al 92,7%. Todos estos resultados demuestran la magnitud del impacto ambiental sufrido por el complejo lagunar a consecuencia de la poca o nula planificación ambiental en la definición y posterior construcción de la infraestructura vial, así como el deficiente control legal de las normas existentes sobre la desecación de tierras aledañas a la CGSM con fines agrícolas o ganaderos.

Una de las aplicaciones ambientales de la percepción remota satelitaria de mayor impacto social lo constituyen los estudios sobre la calidad de vida urbana. La Figura 2 muestra dos de los resultados obtenidos utilizando una imagen digital LANDSAT 5 TM adquirida a las 9:52 hora local.

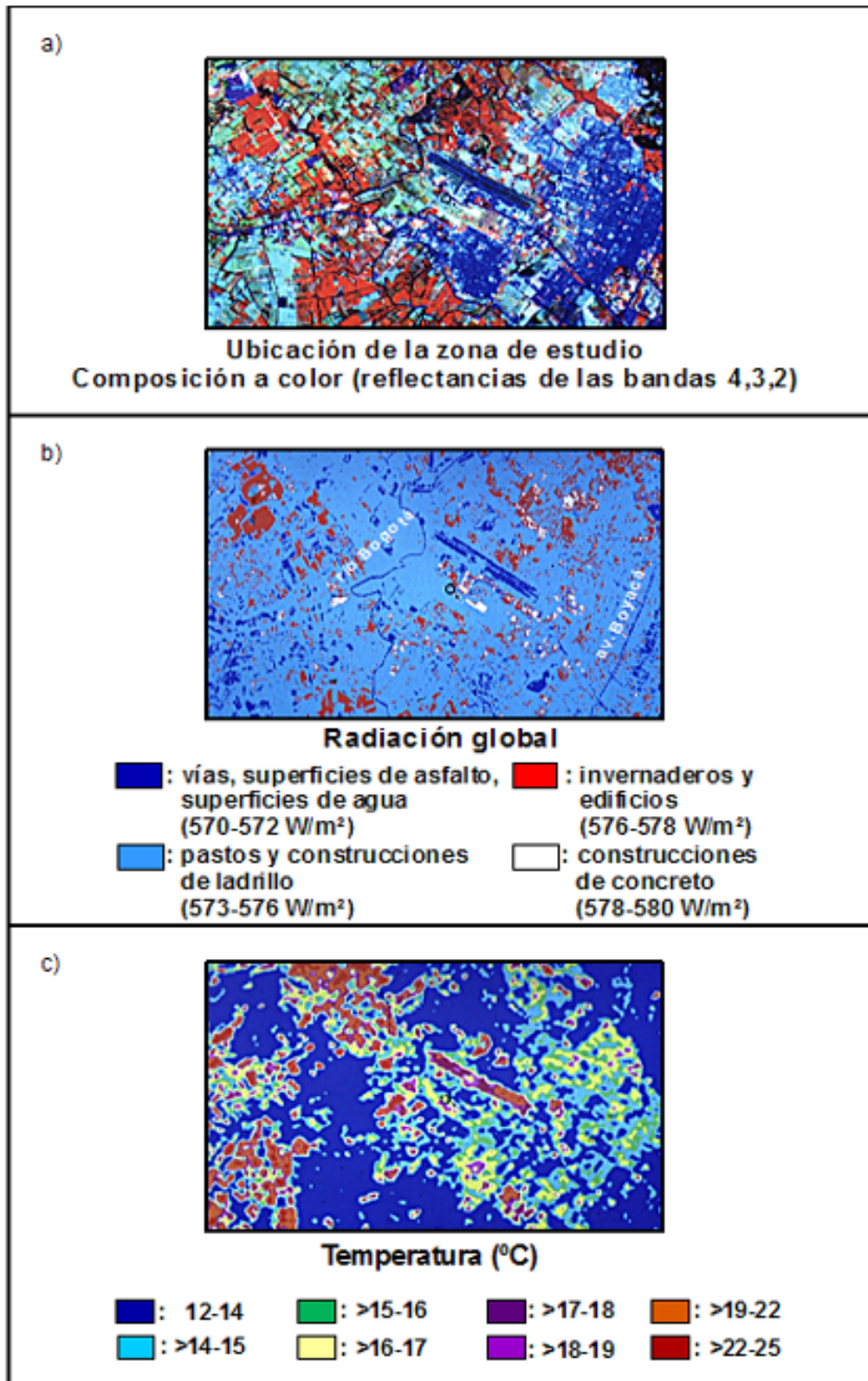


Figura 2. Estudio de la calidad de vida urbana en los alrededores del aeropuerto Eldorado - Santafé de Bogotá. Imagen LANDSAT 5 TM del 22.03.1988.

La zona de estudio seleccionada correspondió a los alrededores del aeropuerto Eldorado de la ciudad de Santafé de Bogotá. La imagen de la radiación global calculada,

Figura 2b), sirvió para confirmar la alta contaminación del agua del río Bogotá para la fecha del estudio. En ella se puede observar que la radiometría relacionada con el agua del río Bogotá es similar a la de la avenida Boyacá, lo que permite comprobar la extremadamente baja calidad del agua de dicho río. La Figura 2c) muestra la imagen calculada de la temperatura aparente de varias superficies. Esta imagen permite identificar claramente las superficies plásticas de los invernaderos de la Sabana de Bogotá, que son las superficies que están a las más 25° C). Estas temperaturas están relacionadas con una—altas temperaturas (19° C gran emisión de calor por parte de dichas superficies, la cual al propagarse en la atmósfera circundante la calienta produciendo el conocido fenómeno del “efecto invernadero”. Este emisión de calor es uno de los factores responsables, entre otros, de las modificaciones climáticas (aumento de la temperatura media del aire durante el día y heladas en la madrugada) que se han presentado sobre la Sabana de Bogotá en los últimos años. Por otra parte, las diferencias en la temperatura de la pista de aterrizaje del aeropuerto, indican claramente la existencia de diferentes materiales empleados en el sistema de reparcho de la cinta asfáltica del mismo. Justamente en la zona en donde se efectúa el decolaje de los aviones comerciales (dirección este) es en donde se presentan las temperaturas más altas, lo que podría tener alguna incidencia en la maniobra de despegue. A pesar de que la imagen fue adquirida a media mañana, los techos de las viviendas situadas en el extremo noreste de la pista de aterrizaje presentaban relativamente bajas temperaturas (15° C-17° C). Este comportamiento radiativo de los techos se relacionó con la poca confortabilidad térmica del interior de las viviendas, lo cual pudo comprobarse “in situ”. El material con que estaban fabricados los techos (tejas metálicas o de asbesto) de muchas casas y edificios de apartamentos, no aislaban térmicamente en forma adecuada el interior de ellos, permitiendo durante el transcurso de la noche pérdidas de calor desde adentro hacia el exterior, alcanzando sus valores máximos hacia el amanecer.

Aunque la práctica de la agricultura aparentemente no está tan estrechamente relacionada con el medio ambiente, sus efectos sobre éste pueden adquirir en muchos casos una notable importancia, como por ejemplo: empobrecimiento de los suelos, deforestación y desertización. Tanto para la agricultura extensiva como para el minifundio, las imágenes de satélite procesadas físicamente muestran resultados relativamente precisos en la identificación fenológica de los cultivos y en la delimitación de las superficies cultivadas. Un ejemplo de la aplicación de imágenes de satélite a inventarios y estadísticas agrícolas lo muestra la Figura 3 (Convenio 1989). Una imagen multispectral SPOT del 15.07.1989 fue utilizada para la estimación del estado fenológico y la cuantificación de áreas sembradas con caña de azúcar. Para determinar la extensión superficial de parcelas de pequeño tamaño como representativas del minifundio, se hizo un ensayo preliminar con una imagen SPOT del 19.08.1987, basado parcialmente en la metodología expuesta en Gónima (1991).

En la Figura 3a) se pueden observar los diferentes estados fenológicos de la caña de azúcar, de acuerdo a la fecha en que fueron sembradas las plantas de cada parcela. Parcelas con caña de azúcar con más de 12 meses de haber sido plantadas eran las más aptas para su cosecha. En la estimación de la superficie de las parcelas estudiadas se obtuvieron errores que oscilan entre 2.7% y 1.5%, lo cual corresponde a una imprecisión de 1890 m² y 1500 m² para 7 Ha y 10 Ha sembradas, respectivamente. Para el minifundio (Figura 3b)), la estimación del área de las parcelas cultivadas muestra que existen dificultades reales, debidas a la resolución espacial de las imágenes, para obtener resultados

satisfactorios. Sólo para parcelas mayores a 2 Ha la estimación comienza a ser relativamente precisa.

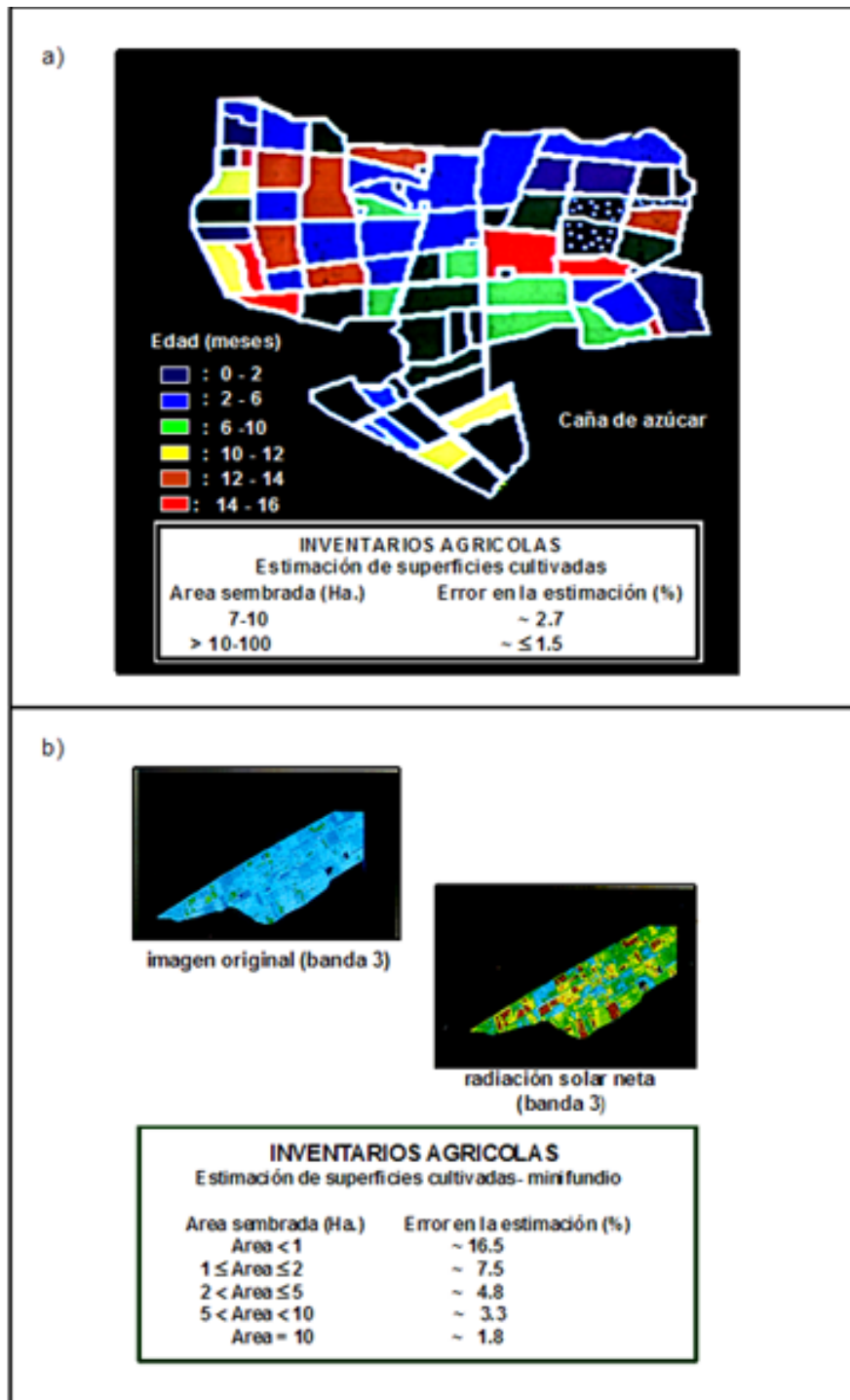


Figura 3. Inventarios agrícolas. a): zona seleccionada del Ingenio Providencia (Palmira), imagen SPOT del 15.07.1989, y b): Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), imagen SPOT del 19.08.1987.

Finalmente, la percepción remota satelitaria es muy útil en la descripción y monitoreo de fenómenos naturales y los causados por la actividad humana, como erupciones volcánicas, sismos, avalanchas, inundaciones, etc.. A partir de imágenes espectrales de

la reflectancia de la superficie, la radiación solar neta y la temperatura aparente de la superficie fue posible establecer el reinicio de la actividad del Volcán Galeras. De igual manera se actualizó la cartografía temática de la zona de estudio, como por ejemplo, el mapa geológico que muestra la Figura 4 (Gónima y Cristancho 1995).

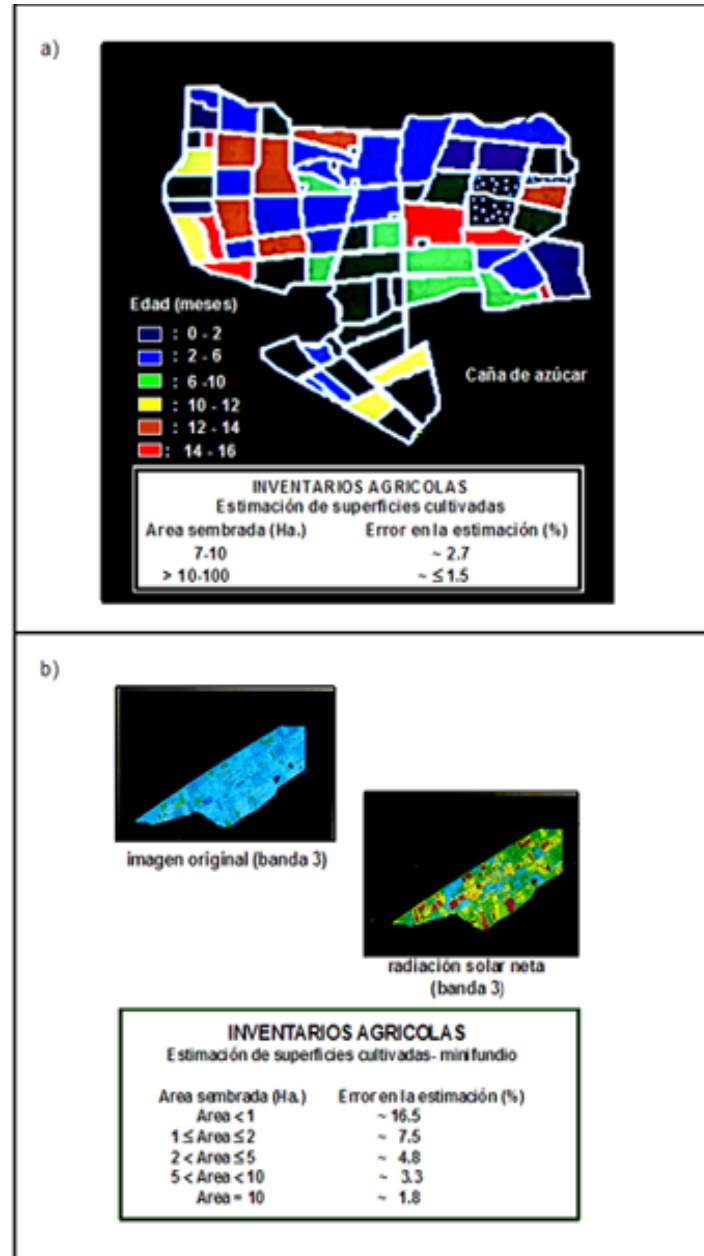


Figura 4. Estudio de riesgos naturales, volcán Galeras (Nariño). Imagen LANDSAT 5 TM del 07.08.1989.

Conclusiones

Los resultados presentados en este artículo dan una idea de las posibilidades que ofrecen las imágenes de satélite, procesadas físicamente, en la obtención de una mayor y mejor identificación de las diferentes clases de superficies, lo cual redundará en la

calidad de la cartografía temática respectiva y en la posterior interpretación medioambiental integral de una zona de estudio en particular. Sin embargo, la principal limitación de los algoritmos físicos desarrollados, reside en la imposibilidad teórica y práctica de representar simultáneamente todas o la mayoría de las interacciones físicas que están involucradas en el instante de la adquisición de una imagen. A esto hay que añadir que al ser una imagen de satélite el compendio de múltiples fenómenos no solamente de carácter biofísico, sino también directamente relacionados con las consecuencias de la actividad humana (social, económica y política), cualquier algoritmo físico (teórico, semi-empírico o empírico) desarrollado con el fin de contribuir en la interpretación posterior de una imagen de satélite, debe considerarse como una visión parcial y no determinista del fenómeno que se intenta describir precisamente.

RESUMEN. *El presente artículo muestra algunas de las aplicaciones ambientales de la percepción remota satelitaria para regiones tropicales. Los resultados temáticos fueron obtenidos con la aplicación de algoritmos físicos al procesamiento digital de imágenes de satélite. Reflectancia de la superficie, radiación global y radiación solar neta de onda corta son algunos de los conceptos físicos utilizados en la generación de los algoritmos. La metodología desarrollada no solamente permite una mejor identificación de diversas clases de vegetación, superficies de suelo y agua, sino que también muestra la potencialidad que ofrecen las imágenes de satélite en la cuantificación de variables biofísicas de las mencionadas superficies.*

Palabras clave: medio ambiente, imágenes de satélite, procesamiento digital, interpretación

Referencias

- Convenio. 1989. Convenio Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)-Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC)-Misión Francesa de Cooperación Técnica. Santafé de Bogotá, IGAC.
- Gónima, L., Suárez, A., y León, J. 1991. Estudio radiométrico de zonas agrícolas utilizando imágenes de satélite SPOT. *Revista CIAF*, 12 (1), 63-68.
- Gónima, L., y Cristancho, A. 1995. Aplicaciones de imágenes de satélite a estudios de alta montaña. II Simposio Internacional Desarrollo Sostenible en Ecosistemas Frágiles de Montaña. Lago Titikaka-Bolivia, *Publicaciones ORSTOM-Universidad de San Andrés*, Bolivia.
- Gónima, L. 1996. La percepción remota: un amplio campo de desarrollo de la física. *Revista Momento*, 12, 3-15.
- Gónima, L., Mancera-Pineda, E., y Botero, L. 1998. Aplicación de imágenes de satélite al diagnóstico ambiental de un complejo lagunar estuarino tropical: Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales*, No. 4, Santa Marta.
- Gónima, L. 1999. Importance de la correction atmosphérique des images de satellite utilisées pour des études de l'environnement tropical. *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 156, 20-25.
- Metz, B., Davidson, O., Swart, R., d J. Pan, eds. 2001. *Climate change 2001*. Cambridge University Press.

Wisner, B.. 2004. *At risk : natural hazards, people's vulnerability, and disasters*, 2nd edition. Routledge.

Correspondencia:

Prof. Leonardo Gónima, Ph.D., Departamento de Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Córdoba, Carrera. 6 No. 76-103, Montería, Telefax: (4) 7860156 ext. 227. lgonima@sinu.unicordoba.edu.co

Prof. Jairo Durango Vertel, M.Sc., Departamento de Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Córdoba, Carrera. 6 No. 76-103, Montería, Telefax: (4) 7860156 ext. 227. vacademi@unicordoba.edu.co

Forma de citar este artículo:

Suggested citation

Gónima, Leonardo, y Durango Vertel, Jairo. 2005. Aplicaciones ambientales de imágenes digitales de satélite. *GeoTrópico*, vol. 3 (1), 21-30, documento *web*, acceso ----- [escribir la fecha de consulta] -- http://www.geotropico.org/3_1_Gonima.pdf

Publicación semestral electrónica – <http://www.geotropico.org/>

Editorial

Ambientalismo

Héctor F. Rucinque

4

Artículos

Reclus: Un geógrafo incómodo, una geografía de compromiso

Carlos José Gil-Jurado

9

Aplicaciones ambientales de imágenes digitales de satélite

Leonardo Gónima y

Jairo Durango Vertel

21

Documentos

La muerte del ambientalismo

Michael Shellenberger y

Ted Nordhaus

31

Notas

Instrucciones para reseñadores, publicistas y/o autores

Guidelines for reviewers, publishers and/or authors

65