

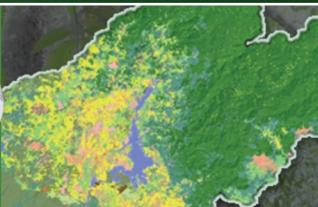


Mapeo de la Cobertura Forestal

► Volumen, Biomasa y Carbono Forestal

Sistemas de Monitoreo de Bosques

Herramientas



Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

**INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN
BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES**

Programa Regional
REDD/CCAD-GIZ

Mapeo de la Cobertura Forestal

► **Volumen, Biomasa y Carbono Forestal**

Sistemas de Monitoreo de Bosques

Herramientas

Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN
BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES

Programa Regional
REDD/CCAD-GIZ

Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Esta publicación presenta los principales elementos metodológicos utilizados para la generación del Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra de la Cuenca del Canal de Panamá, en el marco de las actividades del Acuerdo de Cooperación Técnica entre la Autoridad del Canal de Panamá, la Autoridad Nacional del Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente) y la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional, con el apoyo del Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradoación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ). Componente III de Monitoreo y Reporte del Programa.

Publicado por:

Programa REDD/CCAD-GIZ
Oficina Registrada Apartado Postal 755
Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana,
Urbanización Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad
El Salvador, C.A.
T +503 2121-5100
F +503 2121-5101
E info@reddccadgiz.org
I www.reddccadgiz.org

Autoridad el Canal de Panamá (ACP)
www.micanaldepanama.com

Responsable:

Abner Jiménez, Especialista Sectorial.
Programa REDD/CCAD-GIZ
abner.jimenez@giz.de

Autores:

Patricio Emanuelli Avilés - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Fabián Milla Araneda - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Efraín Duarte - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Michelle Szejner - Asesora Nacional para Panamá. Programa REDD/CCAD-GIZ
Lisbeth Karina Vergara P. - Especialista en Protección Ambiental, División de Ambiente. Autoridad del Canal de Panamá

Diseño Gráfico:

Alfonso Quiroz Hernández - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)

Agosto 2015

Componente: Monitoreo y Reporte

Área Temática: Volumen, Biomasa y Carbono Forestal

País: Panamá

ISBN 978-956-358-206-2



Reservas de Carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

By Programa REDD/CCAD-GIZ is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en www.reddccadgiz.org

C	O	N	T	E	N	I	D	O	S	
1.	INTRODUCCIÓN	•			7					
2.	MARCO TEÓRICO	•			9	• 2.1 Teledetección aplicada a estudios de vegetación • 2.2 Satélite RapidEye (Blackbridge)				
					10	• 2.2.1 Aplicación de la banda Red-Edge				
					11	• 2.2.2 Aplicaciones de las imágenes RapidEye				
					13	• 2.3 Pre-procesamiento de imágenes satelitales • 2.3.1 Calibración radiométrica • 2.3.2 Corrección atmosférica • 2.3.3 Corrección geométrica				
					14	• 2.4 Segmentación de imágenes satelitales				
3.	METODOLOGÍA	•			15	• 3.1 Ubicación del área de estudio				
					16	• 3.2 Fases metodológicas para la elaboración de mapa de cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá • 3.3 Pre-procesamiento de las imágenes RapidEye • 3.3.1 Proceso de calibración radiométrica y corrección atmosférica				
					17	• 3.3.2 Corrección atmosférica de imágenes RapidEye				
					18	• 3.3.3 Segmentación de imágenes RapidEye				
					19	• 3.4 Secuencia metodológica aplicada para la generación del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la CHCP				
					20	• 3.5 Sistema de clasificación definido para la CHCP				
					21	• 3.6 Definición de coberturas forestales y uso de la tierra				
					25	• 3.7 Clasificación inicial de la cobertura de la tierra • 3.7.1 Uso del modelo automatizado				
					26	• 3.8 Ajuste Temático • 3.8.1 Edición de la Clasificación inicial de la cobertura forestal • 3.8.2 Procedimiento para extracción y corrección de área con nubes y sombras				
					28	• 3.8.3 Traslape de imágenes vecinas				
4.	RESULTADOS	•			30	• 4.1 Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra				
					32	• 4.2 Estadísticas de la cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá				
5.	CONCLUSIONES Y CIFRAS DE INTERÉS	•			34					
6.	BIBLIOGRAFIA	•			35					
7.	GLOSARIO	•			37					

- Figura 1. Sensibilidad de reflectancia en la banda Red-Edge según la vegetación. Fuente: BlackBridge.org 11
- Figura 2. Ejemplo de imagen RapidEye utilizada para la generación del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra en la CHCP. Escala 1: 20,000. 12
- Figura 3. Ejemplo de imagen RapidEye segmentada (Img. Izquierda), imagen RapidEye original (Img. Derecha). 14
- Figura 4. Mapa de ubicación general de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. 15
- Figura 5. Proceso técnico para la elaboración del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca del Hidrográfica del Canal de Panamá. 19
- Figura 6. Comparación de una imagen con y sin nubes. 27
- Figura 7. Comparación de una clasificación con y sin nubes al final del proceso. 27
- Figura 8. Edición de traslape entre imágenes vecinas utilizando insumos cartográficos. 29
- Figura 9. Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá. 31
- Figura 10. Cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca Hidrográfica de la Cuenca del Canal de Panamá agrupadas en seis macro categorías. 33

- Tabla 1. Características del satélite RapidEye – BlackBridge. • 10
- Tabla 2. Categorías y códigos utilizados en el presente estudio. • 20
- Tabla 3. Superficie y participación de la cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. • 32

L I S T A

D E

A C R Ó N I M O S

ACP	:	Autoridad del Canal de Panamá
ANAM	:	Autoridad Nacional del Ambiente
CHCP	:	Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá
CMNUCC	:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
ENVI	:	Environment for Visualizing Images.
FLAASH	:	Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes.
GIZ	:	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
MIAmbiente	:	Ministerio de Ambiente
PIEA	:	Programa de Incentivos Económicos Ambientales
REDD/CCAD-GIZ	:	Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degrado de Bosques en Centroamérica y República Dominicana
SIG	:	Sistema de Información Geográfica
TOA	:	Top Of Atmosphere (Parte superior de la atmósfera)

1. Introducción

La Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP) es una de las cuencas más importantes del istmo panameño por sus diferentes usos. Los aportes hídricos del río Chagres y otros ríos principales que drenan al sistema de lagos de la Cuenca del Canal son utilizados en múltiples formas: para el consumo humano en las ciudades de Panamá, Colón y alrededores (más del 50% de la población del país); para el funcionamiento del Canal de Panamá, usos agropecuarios y en la generación de energía hidroeléctrica. Debido a la importancia estratégica de la CHCP se han promovido y ejecutado diferentes iniciativas y proyectos, enmarcadas en la estrategia ambiental “Ruta Verde” y el Plan de Desarrollo Sostenible y Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (DS-GIRH), destinados especialmente a la conservación y manejo de la cobertura forestal, siendo esta cobertura clave para evitar y controlar procesos erosivos y de sedimentación en el área, proporcionando protección al recurso hídrico.

En los últimos años, la representación gráfica de la cobertura y uso de la tierra a través de mapas se reconoce como una herramienta de planificación y gestión valiosa para la toma de decisiones en el marco del manejo forestal sostenible. Este tipo de insumo representa un punto importante en diferentes ámbitos como medio para entender las características biofísicas que permiten impulsar las decisiones técnicas y políticas enmarcadas en el uso de la tierra a nivel nacional, regional o local; el uso de imágenes y datos provenientes de sensores remotos brindan la posibilidad de obtener información de la superficie terrestre con un amplio cubrimiento espacial y en algún caso temporal. Desde la aparición de las primeras imágenes de sensores remotos hasta la fecha, se han incrementado notoriamente las aplicaciones para el seguimiento de las coberturas de la tierra, incluido el bosque (Achard & Hansen, 2012).

La Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), a través del Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ), junto a la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), y la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM, hoy Ministerio de Ambiente), suscribieron el año 2012 un Acuerdo de Cooperación Técnica destinado a generar experiencias piloto relacionadas con los bosques y el Cambio Climático en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP). En el marco de este acuerdo, se manifestó la necesidad de revisar el proceso de generación de información del componente forestal y usos de suelos, considerando otros elementos de relevancia internacional como la fijación de carbono.

De esta manera surge la idea de construir un mapa de cobertura forestal y uso de la tierra que fuera capaz de establecer referentes en términos del estado del recurso forestal, su oferta, su uso y aprovechamiento, así como su potencial de fijación de carbono y su gestión a tal grado que permita tomar decisiones y realizar análisis a escalas de cuenca, microcuenca y a nivel de proyecto de manera confiable.

El presente documento detalla la metodología utilizada para la generación del mapa, así como los principales resultados obtenidos en términos de superficie predominante por cada tipo de bosque cartografiado. Esta metodología consideró el uso de imágenes de alta resolución del año 2014 y fue validado mediante actividades de medición en terreno enmarcadas en un inventario forestal multipropósito desarrollado bajo el citado Acuerdo de Cooperación.

El objetivo general del presente trabajo es la generación de una nueva metodología que permita cuantificar la superficie de la cobertura forestal y uso de la tierra de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá con un mayor nivel de detalle para el componente forestal y sus diferentes estratos, teniendo como resultado la construcción de un mapa temático generado mediante la aplicación de técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica que sirve de base para el cálculo de las reservas de carbono de la CHCP.

Como objetivos específicos se plantearon:

- Generar un mapa de cobertura forestal y uso de la tierra con mayor nivel de detalle para la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá para cuantificar el recurso forestal existente y su potencial de fijación de carbono.
- Generar un conjunto de procedimientos técnicos para el procesamiento digital de imágenes de alta resolución espacial que permita cuantificar la cobertura forestal y el uso de la tierra.
- Definir un sistema de clasificación de tipos de cobertura forestal más detallada con la nueva metodología.
- Validar el mapa de cobertura forestal y uso de la tierra mediante información procedente de 96 unidades de muestreo generadas a través de diferentes inventarios forestales multipropósito desarrollados en la CHCP.

2. Marco Teórico

2.1 Teledetección aplicada a estudios de vegetación

La teledetección es el sistema integral de captura de información territorial (a partir de la radiación electromagnética captada por el sensor) que se emplea cada día con mayor frecuencia para la captura tanto de información temática (medioambiental), como de información topográfica (planimetría). Esto ha sido posible gracias al desarrollo que han experimentado, por un lado, las técnicas de tratamiento digital de imágenes, y la obtención de datos significativos del territorio; y por otro, el acceso a la exhaustiva información digital proporcionada por sensores, en su aspecto espacial, radiométrico, espectral y temporal (Arozarena, s.f.).

El uso de la teledetección a través de imágenes de satélite, facilita la elaboración de mapas temáticos que denotan el estado de los recursos agrícolas y forestales. Con el tratamiento informático de las imágenes satélite se pueden discriminar los tipos de vegetación, su estado y el nivel de protección del suelo. A partir de estos datos es posible obtener la superficie cultivada o arbolada, e incluso identificar las especies vegetales. Mediante el análisis multitemporal de imágenes de satélite es posible hacer un seguimiento de la evolución de las diferentes comunidades vegetales y de los cultivos agrícolas (Aullo, 2014).

2.2 Satélite RapidEye (Blackbridge)

La constelación RapidEye está conformada por cinco satélites idénticos (BlackBridge LLC), que para la observación de la tierra producen imágenes de una resolución espacial de 5 metros. La presencia de una banda de borde rojo (Red-Edge) es una característica única que distingue a los Satélites RapidEye de la mayoría de otros satélites multiespectrales. La relevancia de la región espectral Red-Edge para la caracterización de la vegetación ha sido reconocida durante muchos años (Weichelt, et al., s.f.). A continuación se presentan las características principales del satélite encargado de capturar las imágenes utilizadas para generar el mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la CHCP.

Tabla 1. Características del satélite RapidEye – BlackBridge

Características de la misión		Información
Número de satélite		5
Vida estimada		Más de 7 años
Altitud de órbita		630 km heliosincrónica
Hora de cruce ecuatorial		11:00 am hora local (aproximadamente)
Tipo de Sensor		Push Broom Multispectral
Bandas Espectrales	Nombre	Rango espectral (nm)
	Azul	440-510
	Verde	520-590
	Rojo	630-685
	Red-Edge	690-790
	NIR	760-850
Tamaño nominal del pixel (nadir)	6.5 m	
Tamaño de pixel (ortorectificado)	5 m	
Ancho de barrido	77 km	
Capacidad de almacenamiento abordo	Hasta 1.5000 km ² de imágenes por órbita	
Periodo de revista	1 día (off-nadir) / 5.5 días (en nadir)	
Capacidad de captura de imágenes	5 millones de km ² por día	

Fuente: BlackBridge.org

2.2.1 Aplicación de la banda Red-Edge

La banda Red-Edge es una banda centrada estratégicamente en el inicio de la porción donde la reflectividad presenta valores altos debido a la respuesta de la vegetación, radicando su interés en el hecho que se encuentra en la zona de transición entre la reflectancia mínima y máxima, pudiendo ser útil en la medición del estado de la vegetación. Recientes estudios llegan a sugerir el Red-Edge como alternativa al canal rojo, en base a que este podría ser más sensible a cambios en el estado de la salud de la planta. A continuación se muestra un gráfico donde se detallan las principales características de las bandas de RapidEye. (Martín, F. et. al, 2011).

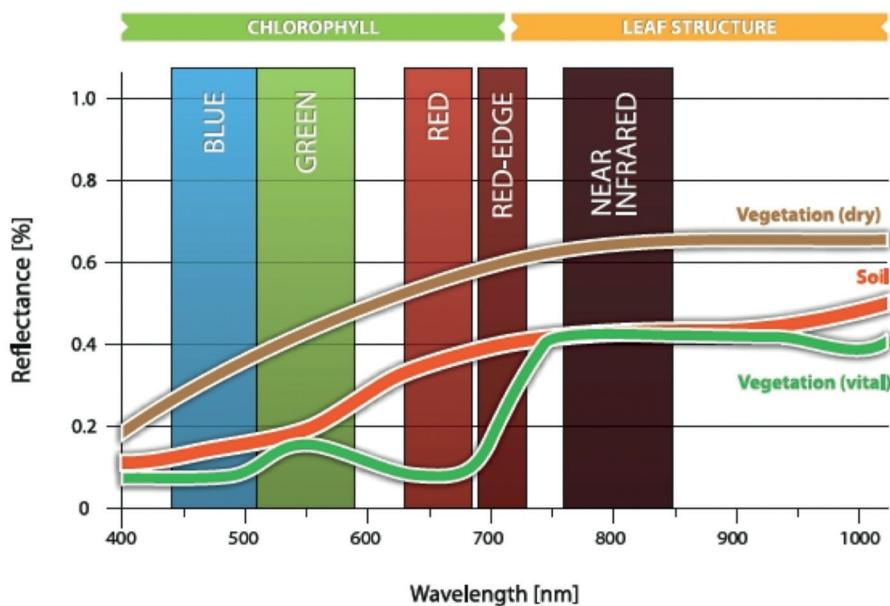


Fig. 1
Sensibilidad de reflectancia en la banda Red-Edge según la vegetación.
Fuente: BlackBridge.org

2.2.2 Aplicaciones de las imágenes RapidEye

Según BlackBridge 2013, las imágenes RapidEye ofrecen soluciones de gestión basada en información geoespacial para las siguientes industrias:

- a) Agricultura:** La constelación de RapidEye está capacitada para el monitoreo de la actividad agrícola a alta frecuencia temporal y a escalas de cultivos individuales, regional y global. La información obtenida de las imágenes puede asistir a agricultores en actividades de agricultura de precisión, a aseguradoras en evaluación de daño y manejo de riesgo, o a gobiernos en temas de seguridad alimentaria y supervisión ambiental.
- b) Forestación:** La información basada en satélites es cada vez más utilizada por los gobiernos, el comercio y la industria para evaluar el estado de los bosques, medir la sustentabilidad ambiental y económica de las operaciones forestales y controlar la tala ilegal y la deforestación.
- c) Seguridad y Emergencias:** La capacidad de respuesta inmediata que poseen los satélites de RapidEye para generar imágenes que muestran las

condiciones del terreno tras un desastre natural o humano, es indispensable en estos casos. Las autoridades de gestión de crisis pueden de este modo evaluar la situación y ayudar a coordinar mejor los equipos de rescate.

d) Medio Ambiente: Las imágenes satelitales pueden proporcionar valiosa información a alta escala espacial y temporal, a los organismos gubernamentales o industrias responsables de medir el impacto de las actividades humanas en el ambiente.

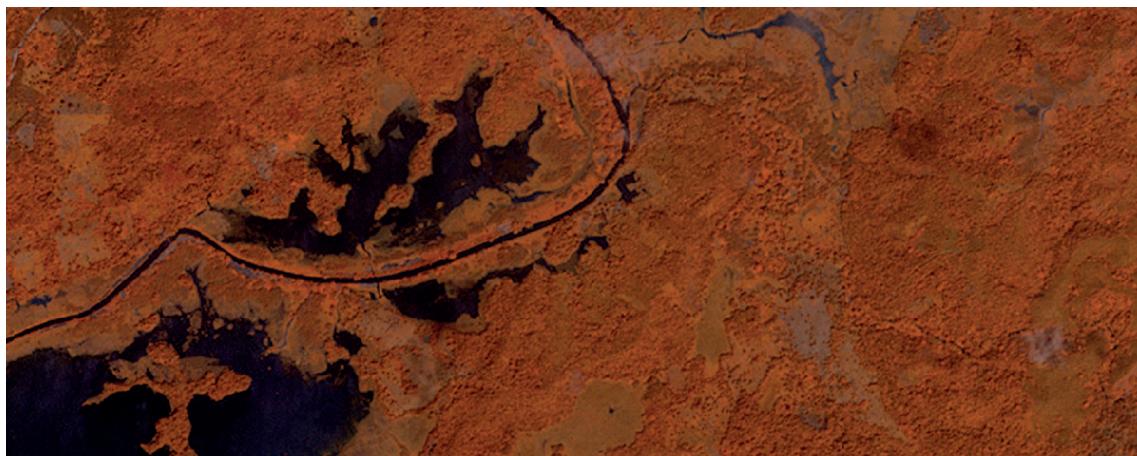


Fig.2

Ejemplo de imagen RapidEye utilizada para la generación del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra en la CHCP.
Escala 1: 20,000.

2.3 Pre-procesamiento de imágenes satelitales

2.3.1 Calibración radiométrica

El proceso de calibración radiométrica permite convertir la información de la imagen original (bruta) de cada pixel, de Niveles Digitales -ND- a Niveles de Reflectancia captada por el sensor en el tope de la atmósfera, es decir, sin los efectos de la misma, lo que permite disminuir los efectos de dispersión o absorción causados por la presencia de partículas en la atmósfera. Adicionalmente, se busca remover el efecto de los diferentes ángulos de incidencia de la energía solar y de la distancia Tierra - Sol, que se producen como consecuencia de las diferencias de tiempo de adquisición de las imágenes. También es conveniente su aplicación en el caso de utilizar imágenes de diferentes tipos de sensores, pues permite normalizar las diferencias de valores de la radiación solar causados por las diferencias de los rangos espectrales entre las bandas de las imágenes. En general con estas correcciones se busca minimizar los errores que influyen en la radiación o en el valor radiométrico de cada elemento captado en la escena (Cabrera *et al.*, 2011a).

2.3.2 Corrección atmosférica

La corrección atmosférica es un proceso que se aplica a las imágenes digitales, con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmósfera. Con el proceso de corrección atmosférica se logra mejorar la calidad visual de la imagen; así como, eliminar el componente intrusivo de la atmósfera (Aguilar *et. al.*, 2014).

2.3.3 Corrección geométrica

Este proceso corrige los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en una imagen, causados por la inclinación del sensor (posición del sensor en el momento de la toma), la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con la imagen. Esta parte del proceso es determinante pues tiene implicaciones directas en la precisión de la posición de los resultados a obtener

en el procesamiento, y en el caso de estimación de cambios entre coberturas garantiza que los cambios reportados entre dos imágenes de la misma zona y distintas fechas, se deban a cambios en las coberturas de la Tierra detectadas durante el periodo establecido, y no a diferencias en la posición de las imágenes en el periodo de análisis (Cabrera *et. al.*, 2011b).

2.4 Segmentación de imágenes satelitales

La segmentación es un proceso digital de agrupamiento de píxeles a objetos más significativos (segmentos) usado para simplificar la imagen. Los segmentos son relativamente homogéneos en relación a una o más características (principalmente variables espectrales) (Cabrera *et. al.*, 2011c).

Los resultados finales del proceso de segmentación son dependientes de ciertos parámetros, entre estos:

- Parámetros de segmentación. En términos generales el proceso de segmentación se basa en dos parámetros fundamentales, relacionados con “que tan similares son los píxeles agrupados” y “cuán grande debe ser el segmento generado”.
- Similitud de los píxeles a agrupar. Esta referido a la distancia mínima espectral (generalmente distancia euclídea) que deben cumplir los píxeles que conformarán los segmentos.
- Tamaño del segmento a generar. Esta referido al número mínimo de píxeles que se van agrupar para conformar un segmento. Este parámetro está relacionado con el nivel de detalle o área mínima que se desea mapear, como también a la escala de trabajo a la que se presentará el estudio y a los objetivos por el cual se realizará el mismo.

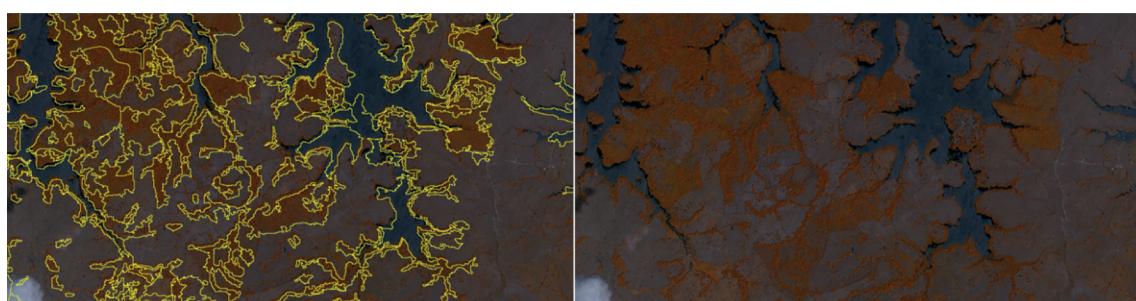


Fig.3

Ejemplo de imagen RapidEye segmentada (Img. Izquierda), imagen RapidEye original (Img. Derecha).

3. Metodología

3.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la República de Panamá, específicamente en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, la cual tiene una superficie aproximada de 343,517 ha.



Fig.4
Mapa de ubicación general de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

3.2 Fases metodológicas para la elaboración de mapa de cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

El proceso metodológico necesario para generar la información temática para la determinación de la cobertura y uso de la tierra en la CHCP se desarrolló de forma general en cinco grandes fases:

- Fase I :** Preparar o pre-procesar las imágenes para el procesamiento efectuando correcciones que eliminan efectos anómalos captados por el sensor.
- Fase II :** Segmentación de las imágenes con el objetivo de poder clasificar de manera espectral los diferentes elementos que se discriminan en las imágenes satelitales. Esta segmentación nos permite poder hacer validaciones en las clasificaciones de las imágenes.
- Fase III :** Se procesan las imágenes utilizando herramientas automatizadas de clasificación a fin de generar clasificaciones de cobertura preliminares.
- Fase IV :** Los resultados obtenidos en la segunda fase son ajustados para la obtención de la información depurada sobre distribución y extensión en las coberturas de la tierra.
- Fase V :** Etapa de validación temática que permite estimar la incertidumbre de la información asociada a los datos generados.

3.3 Pre-procesamiento de las imágenes RapidEye

3.3.1 Proceso de calibración radiométrica y corrección atmosférica

El proceso de corrección atmosférica de las imágenes utilizadas para el análisis de cobertura forestal de la CHCP se realizó con el módulo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) del programa ENVI (Environment for Visualizing Images) y la calibración radiométrica se realizó con la herramienta de “Radiometric Calibration” del mismo programa.

FLAASH es un módulo avanzado de corrección atmosférica disponible en el

programa ENVI, el cual se basa en el algoritmo de transferencia de radiación MODTRAN4 desarrollado por Spectral Sciences Inc. (Kruse, 2004). Este módulo se basa inicialmente en la ecuación estándar de radiancia espectral para cada píxel del sensor (L), que se aplica al rango de longitud de onda solar (emisión termal es omitida) y superficies Lambertianas planas o sus equivalentes (Castillo, 2012).

3.3.2 Corrección atmosférica de imágenes RapidEye

Las imágenes RapidEye son procedentes de los sensores con el mismo nombre, los cuales operan comercialmente desde el año 2009. En el mercado existen tres productos con diferente nivel de procesamiento: el nivel 1B que es el producto básico para ser procesado por el cliente; El nivel 3A que contiene correcciones radiométricas, geométricas y del sensor; y por último, el nivel 3M que corresponde a mosaicos a color con ortorectificación y equilibrados radiométricamente.

Para este estudio se muestra el procedimiento de corrección atmosférica para imágenes con nivel 3A.

La corrección atmosférica se trabajó para las cinco bandas a la misma vez, esto mediante la utilización del archivo de metadatos de la imagen, proporcionados por la empresa distribuidora del producto. Con el archivo de metadatos es factible integrar en un solo proceso la conversión de niveles digitales de la imagen a datos de radiancia mediante la siguiente ecuación utilizada por el programa (BlackBridge, 2013).

$$\text{Radiancia } (L) = \text{ND} * \text{Factor de escala radiométrica} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para realizar este proceso se utilizó la herramienta Band Math de ENVI, en la cual se multiplican los ND de cada banda de la imagen por el factor de escala radiométrica (radiometricScaleFactor) presente en los metadatos disponibles en cada una de las imágenes de las imágenes (Castillo, 2012).

El resultado de este proceso fue la radiantica de un píxel determinado en la parte superior de la atmósfera (TOA) en unidades de watts por estereoradián por metro cuadrado ($\text{W}/(\text{m}^2\text{sr}\text{\AA})$). Además, para que el módulo de ENVI pudiera leer la imagen y realizar la corrección, se requería que se relocalizara la transformación del formato BSQ a BIL (para el caso de ENVI la corrección

atmosférica se debe correr en el sistema de 32 bits en el cual esta soportado el módulo de corrección atmosférica). Una vez ejecutados estos dos pasos se procedió con los datos específicos para realizar la corrección atmosférica. En el módulo de FLAASH se procedió en abrir la imagen que contenía los dos pasos anteriores, pero dado que para FLAASH se requiere que las unidades de radiancia sean $\mu\text{W}/(\text{cm}^2*\text{nm}*\text{sr})$ el factor de escala a emplear para este caso es de 10 (EXELIS, 2014). Luego, con ayuda de los metadatos se ingresaron los valores de la imagen como su tipo de sensor (RapidEye), fecha y hora de captura, coordenadas del punto central de la escena, altitud del sensor, elevación del terreno del punto central, tipo de modelo atmosférico, tipo de modelo de aerosol y visibilidad respectivamente. Según la capacidad del equipo es recomendable asignar un tamaño de ventana de 500 MB o 1000 MB y el resto de parámetros se dejan por defecto. El resultado fue una imagen con corrección atmosférica cuyos valores corresponden a niveles de reflectancia.

3.3.3 Segmentación de imágenes RapidEye

Para la segmentación de las imágenes RapidEye se utilizó el programa Selva de IDRISI. Este provee tres módulos para clasificación de los segmentos de la imagen. Estos módulos juntos proveen una metodología híbrida entre una clasificación basada en pixeles y una basada en la segmentación. El módulo Segmentation crea una imagen de segmentos; el módulo SEGTRAIN desarrolla de forma interactiva los sitios de entrenamiento y las firmas basadas en los segmentos del módulo Segmentation y por último el módulo SegClass es un clasificador de regla de mayoría basado en la clase mayoritaria dentro de cada segmento. La clase mayoritaria dentro de cada segmento se deriva de la imagen clasificada previamente utilizando generalmente un clasificador basado en pixeles como Maxlike. SegClass puede mejorar la precisión de una clasificación basada en pixeles y producir una clasificación suavizada (más parecida a un mapa temático) ya que preserva los límites de la segmentación (Eastman, 2012.).

En el trabajo de las imágenes RapidEye de la CHCP se trabajó con el módulo de Segmentation el cual creó imágenes de segmentos en función de varias interacciones elegidas (10, 50 y 100). El objetivo de las interacciones es poder comparar las diferencias de los segmentos y así poder hacer clasificaciones o verificaciones temáticas en función de varios segmentos y ver de qué manera se ajustaba mejor a los modelos de clasificación.

3.4 Secuencia metodológica aplicada para la generación del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la CHCP

El proceso de elaboración del mapa temático de la CHCP, combinó varios pasos y el uso de varias herramientas como insumos de apoyo para poder lograr un producto más detallado y con mayor edición. Estos procesos parten desde el pre procesamiento de imágenes satelitales hasta los procesos semi-automatizados en diferentes programas (ArcGis, ENVI y ERDAS) (Figura 6). A continuación se representa gráficamente la secuencia metodológica implementada durante la construcción del mapa.

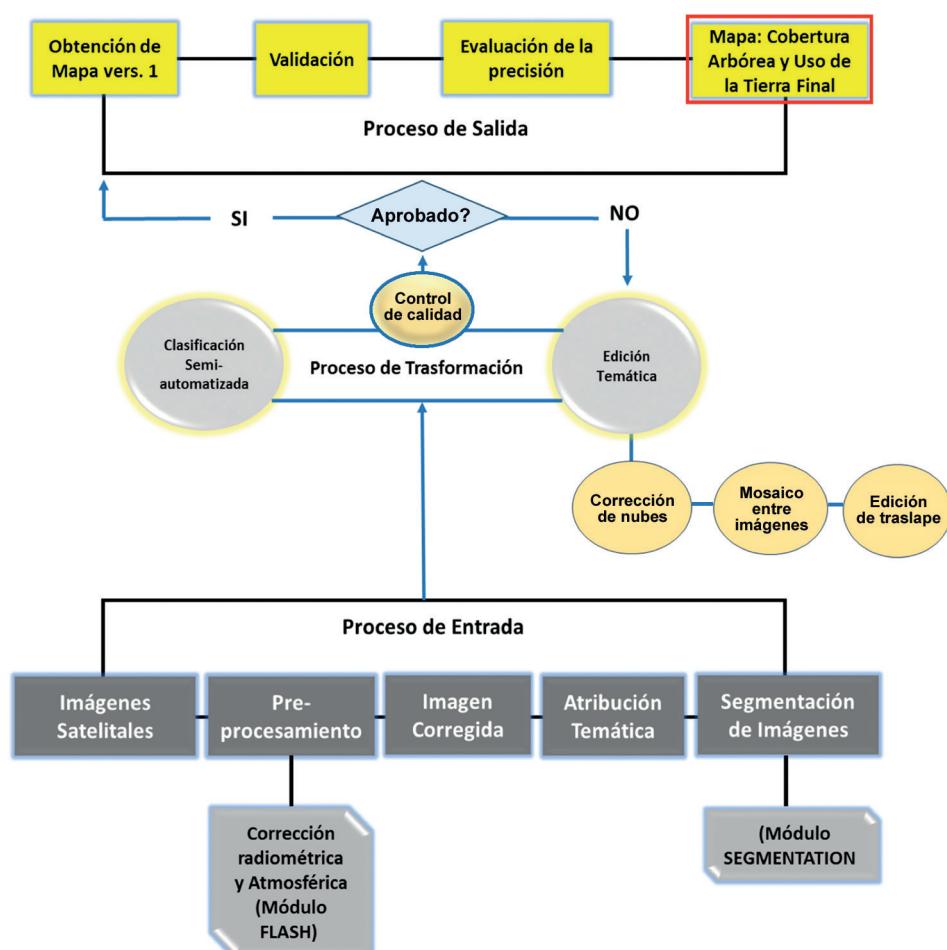


Fig.5
Proceso técnico para la elaboración del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca del Hidrográfico del Canal de Panamá.

3.5 Sistema de clasificación definido para la CHCP

El sistema de clasificación definido para el análisis de cobertura y uso de la tierra de la CHCP contempló un total de 16 categorías, las cuales se describen a continuación: (Tabla 2.).

Tabla 2. Categorías y códigos utilizados en el presente estudio.

Código	Categorías
1	Cuerpos de agua interior
2	Cobertura forestal caducifolia
3	Cobertura forestal madura
4	Cobertura forestal secundaria avanzada
5	Cobertura forestal secundaria intermedia
6	Cobertura forestal secundaria temprana
7	Cobertura de plantaciones de coníferas
8	Cobertura de matorrales
9	Cobertura de plantaciones latifoliadas
10	Cobertura herbácea y agrícola (pastos, cultivos)
11	Otras coberturas no forestales
12	Sistemas agroforestales y silvopastoriles
13	Agroforestería: Programa PIEA
14	Reforestación comercial: Programa PIEA
15	Reforestación para la conservación: Programa PIEA
16	Silvopastoril: Programa PIEA

Fuente: BlackBridge.org

3.6 Definición de coberturas forestales y uso de la tierra

BOSQUES NATURALES



Cobertura arbórea caducifolia:

Vegetación leñosa entre 15-20 m de altura, con una cobertura de dosel mayor al 30%. Presenta dos o más estratos verticales bien definido con árboles emergentes presentes. Durante la época seca más del 70% de los árboles pierden sus hojas. La superficie de este tipo de cobertura en la CHCP es muy reducida, alcanza aproximadamente el 0.01%.



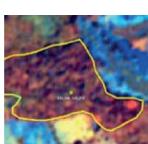
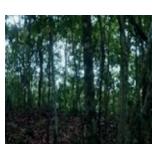
Cobertura arbórea madura:

Vegetación leñosa mayor a 20 m de altura, con una cobertura de dosel mayor al 30%. Presenta una estratificación compleja de tres o más estratos bien definidos con árboles emergentes, se caracteriza por presencia de lianas gruesas y especies características de bosques maduros.



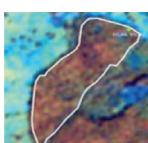
Cobertura arbórea secundaria avanzada:

Vegetación leñosa menor a 20 m de altura, con una cobertura de dosel mayor al 30%. Presenta dos o más estratos verticales bien definido con árboles emergentes presentes.



Cobertura arbórea secundaria intermedia:

Comprende aquella cobertura vegetal originada luego de la intervención o por la destrucción de los bosques, conocida también como sucesión vegetal. Posee entre 10 – 20 m de altura, con una cobertura de dosel mayor al 30%. Por lo general, esta cobertura es producto del abandono de zonas agrícolas o pecuarias y está compuesta por especies arbustivas y forestales de hoja ancha; también recibe el nombre de latizales.



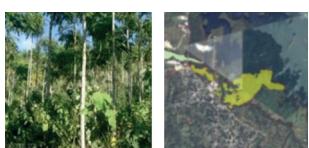
Cobertura arbórea secundaria temprana:

Vegetación leñosa mayor a 5 m de altura, con una cobertura de dosel mayor al 30%. Consta de un solo estrato vertical sin diferenciación.

PLANTACIONES FORESTALES


Cobertura de plantaciones de coníferas:

Son superficies arboladas que se han obtenido de forma artificial y están bajo manejo técnico. Estas plantaciones se encuentran establecidas en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural, con el objeto de producir materias primas maderables y no maderables, para su industrialización y/o comercialización. Las especies que predominan son del epíteto específico de *Pinus*.


Cobertura de plantaciones latifoliadas:

Son superficies arboladas que se han obtenido de forma artificial, mediante plantación o siembra. Los árboles pertenecen en general a una misma especie (ya sea nativa o introducida), tienen la misma edad y presentan una separación homogénea. Estas plantaciones pueden tener como objetivo la producción de productos madereros o no madereros (plantaciones forestales productivas) o el suministro de servicios de los ecosistemas (plantaciones forestales protectoras). Normalmente las plantaciones de especies latifoliadas son: caoba, cedro, laurel, teca y otras.

SISTEMAS AGROFORESTALES


Sistemas agroforestales y silvopastoriles:

Sistemas de producción agropecuaria que incorporan dentro de sus elementos el componente forestal, de manera que se logra un equilibrio productivo entre los bienes agropecuarios, ganadero y los beneficios agregados de los sistemas forestales generando beneficios adicionales.

AGROPECUARIO


Cobertura herbácea y agrícola (pastos, cultivos):

Son áreas utilizadas para prácticas agrícolas y pecuarias tradicionales, frecuentemente entremezcladas con áreas de vegetación secundaria y caseríos

CUERPOS DE AGUA


Cuerpos de agua interior:

Son todos los cuerpos de agua, tales como ríos, lagos, espejos de agua artificial (represa), que cubren parte de la tierra.

PROGRAMA DE INCENTIVOS ECONÓMICOS AMBIENTALES



Agroforestería:

Cobertura agroforestal establecida a través del PIEA. Las especies forestales pueden ser empleadas como sombra para cultivos, cortinas rompe vientos; además de producción de bosque de galería y suelos degradados. Los cultivos agrícolas pueden ser perennes y/o anuales. Entre las especies agrícolas están: café en sombra, cacao, achiote y frutales. Las especies forestales: amarillo, cocobolo, guayaba, espavé, corotú, cabimo, bateo, cuajao, quira, algarrobo, entre otros.



Reforestación comercial:

Plantaciones forestales para producción de madera establecida a través del PIEA, con especies de rápido crecimiento y con alto potencial para la industria de aserrío. Entre las especies destinadas a la comercialización están: teca, amarillo, zapatero, caoba, maría, cedro espino, roble, almendra de montaña, cedro amargo.



Reforestación para la conservación:

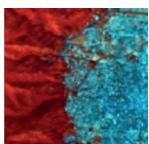
Plantaciones forestales nativas establecidas a través del PIEA para la recuperación ambiental de sitios intervenidos dentro de áreas protegidas y sus alrededores. Entre las especies destinadas a la conservación están: cedro, roble, guayaba, balo, espavé, corotú, cedro espino, amarillo, bateo y otros.



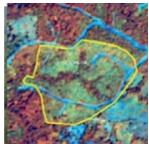
Silvopastoril:

Cobertura que combina especies forestales y el mejoramiento de pastos en sitios de producción ganadera, establecida a través del PIEA. Las especies forestales pueden ser empleadas como cercas vivas, cortinas rompe viento; además de protección a bosques de galería y suelos degradados, las especies forrajeras pueden ser pastos, arbustos con valor nutritivo para el ganado. Se considera el empleo de especies de forraje para el ganado como pastos y leguminosas y especies forestales nativas tales como amarillo, cocobolo, guayacán, espavé, corotú, cabimo, bateo, cuajao, quira, algarrobo, entre otras.

OTROS USOS

**Otras coberturas no arbóreas:**

Además de las coberturas vegetales, fueron clasificados las siguientes coberturas: áreas pobladas, suelos desprovistos de vegetación, explotaciones mineras, áreas húmedas, arenales de playa, etc. Igualmente se presentan las áreas sin información debido a la presencia de nubes.

**Cobertura de matorrales:**

Esta cobertura se presenta en aquellas zonas donde el bosque ha sido removido por actividades como agricultura y ganadería, que luego de ser abandonadas originan una vegetación secundaria con alturas promedio inferiores a 5 m.

3.7 Clasificación inicial de la cobertura de la tierra

El proceso de clasificación y asignación de atributos de cobertura y uso de suelo utilizando como información base las imágenes satelitales de la CHCP se dividió en dos procesos: el primero fue un proceso automatizado basado en la utilización de un algoritmo realizado con la herramienta Model Builder de ArcGis®; y el segundo, un proceso de edición utilizando herramientas de edición de archivos ráster en el programa ERDAS Imagine®. Entre los principales conjuntos de variables aplicados se identifican el NDVI®, extracción de múltiples firmas espectrales procedentes de clasificaciones no supervisadas a través de Isodatas provenientes de imágenes Landsat TM. Además, se utilizaron firmas espectrales provenientes de mapas realizados a escalas locales y de proyectos ejecutados en el área.

3.7.1 Uso del modelo automatizado

La construcción de los modelos se realizó utilizando la herramienta de “Model builder” de ArcGis - ESRI. El modelo empleado se basó en el uso de las siguientes variables importantes: la imagen RapidEye, sus bandas 5 y 3, los segmentos de la imagen, el límite de la imagen y las clases de referencia (obtenidas de mapas base).

Básicamente el modelo realiza las siguientes tareas:

- a) Corta las clases de referencia de Landsat TM con el límite de la imagen.
- b) Subdivide todas las clases en bosque y no bosque.
- c) Elabora un índice de vegetación.
- d) Calcula los promedios del índice de vegetación y los relaciona con las clases del mapa.
- e) Une las clases puras, las convierte a formato vectorial (.shp), luego a firmas espectrales y finalmente efectúa una clasificación.

Las clases de referencia se obtuvieron después ejecutar una igualdad entre varios mapas base, con el propósito de obtener únicamente los polígonos de las clases que coinciden en los años. Los segmentos son archivos vectoriales que dividen los patrones observados en la imagen pura y se utilizan para elegir solo las firmas que coinciden con esos patrones. El resultado del modelo es un archivo de formato “ráster dataset” el cual puede ser exportado a otros formatos.

3.8 Ajuste Temático

3.8.1 Edición de la clasificación inicial de la cobertura forestal

En esta etapa se realizó una edición semiautomática, la cual consistió en efectuar una nueva clasificación digital de tipo Supervisado/No Supervisado basado en la imagen pre-procesada, aplicando dicha clasificación en zonas separadas a través de máscaras temáticas en las áreas correspondientes a aquellas clases de cobertura de la tierra que más presentan confusión, por ejemplo, las áreas de plantaciones, sistemas agroforestales, y vegetación secundaria o Bosque secundario. El proceso de edición temática se realizó utilizando el programa de ERDAS Imagine.

Los resultados de la clasificación se recodificaron mediante la fusión de clases y/o recodificaciones de grupos de píxeles basados en criterios y experiencia técnica, a fin de ajustar a una capa con las clases de cobertura forestal de interés.

El resultado final de este subprocesso fue la generación de un nuevo archivo temático ajustado con las clases separadas de las coberturas que habían sido confundidas inicialmente. Posteriormente, realizando una inspección visual en pantalla a la escala de trabajo (1:25,000), se comparó la imagen pre-procesada con el mapa de coberturas obtenido de la clasificación No Supervisada; luego se identificaron las áreas donde aún era preciso editar temáticamente los resultados del procesamiento digital, a manera de control de calidad de la clasificación.

3.8.2 Procedimiento para extracción y corrección de área con nubes y sombras

Debido a que ciertas imágenes presentaron contaminación por el efecto de nubosidad, se realizó la rectificación de todas las áreas en las cuales las nubes afectaban o intervenían en la clasificación de las imágenes (Figura 6). El propósito de la rectificación es poder presentar con más detalle la clasificación de las imágenes y así poder discriminar de mejor manera las diferentes coberturas (Figura 7).

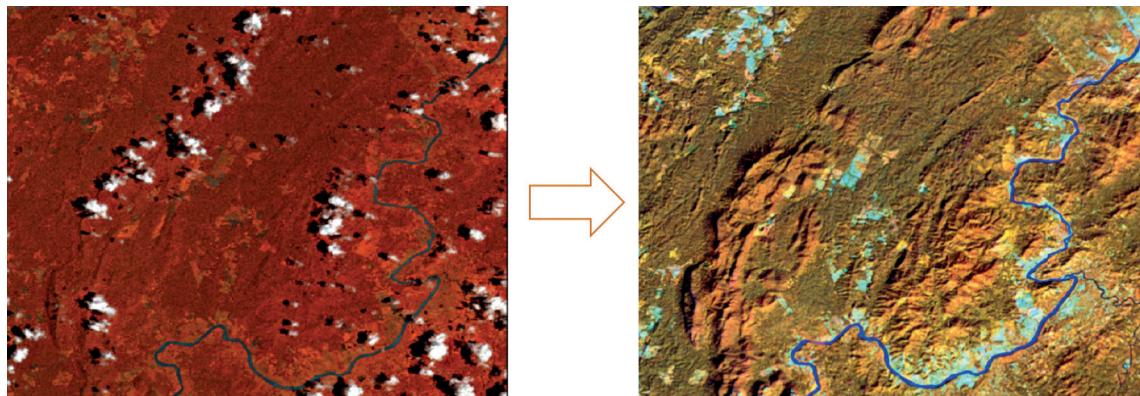


Fig.6
Comparación de una imagen con y sin nubes.

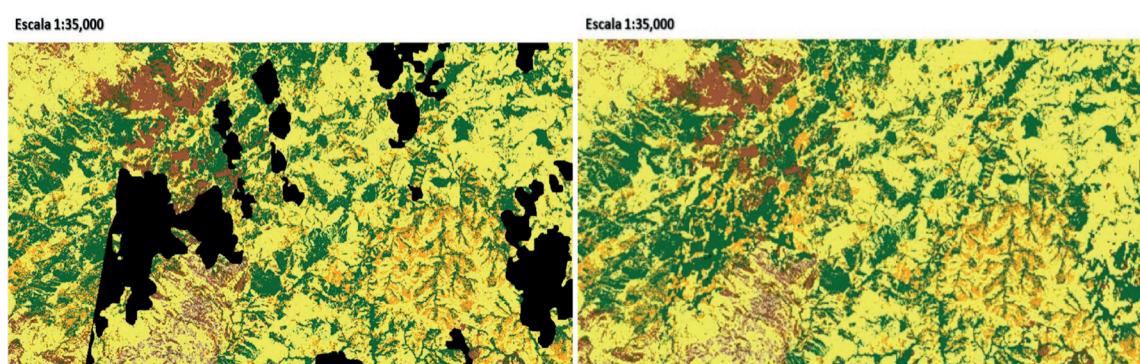


Fig.7
Comparación de una clasificación con y sin nubes al final del proceso.

La metodología de corrección comprende los siguientes procesos:

- Digitalización de nubes de cada imagen.
- Revisión y selección de un sensor de la misma fecha, para extraer las nubes (sensores como: RapidEye, SPOT, ASTER y LANDSAT). Cuando las nubes son escasas, se pueden discriminar en imágenes de alta resolución de GoogleEarth o Bing.
- Cuando se identifica el sensor más adecuado para el remplazo de nubes se prosigue a realizar un corte de la imagen en función del límite de nubes.
- Teniendo el corte de la imagen limpia de nubes, se realiza una clasificación no supervisada (ISODATA) con un mínimo de 20 clases.
- Recodificación de clasificación no supervisada
- Mosaico de la preclasificación y recodificación de nubes para obtener la clasificación final.

3.8.3 Traslape de imágenes vecinas

Debido a las diferencias de respuesta espectral por fecha o condiciones atmosféricas en las que fueron capturadas las imágenes, al realizar una unión entre dos clasificaciones (mosaico) se presentan ciertas diferencias de tipos de cobertura en el traslape; para realizar la corrección de estas incongruencias es necesario hacer una edición de estos traslapos de tal manera que no se vea una transición bien marcada entre las clasificaciones de dos imágenes. Estos procesos se realizan utilizando el programa ERDAS mediante la observación directa de las imágenes RapidEye utilizadas para la clasificación como otros insumos cartográficos de apoyo disponibles en otros servidores de imágenes de alta resolución espacial en línea que pueden ser vinculados con los SIG (Google Earth, Big Map, Sas Planet y otros visores satelitales gratuitos).

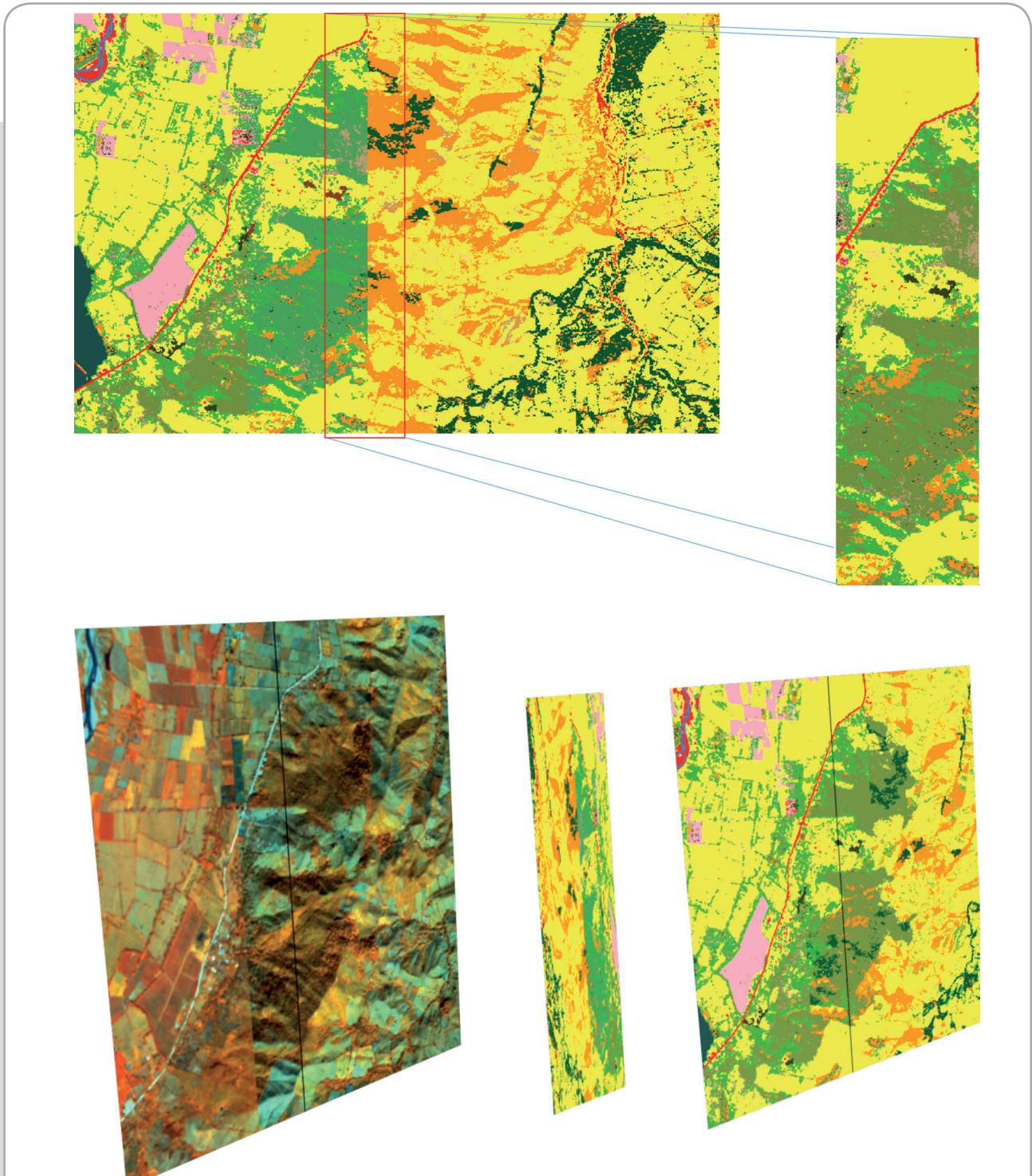


Fig.8
Edición de traslape entre imágenes vecinas utilizando insumos cartográficos.

4. Resultados

4.1 Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra

Los resultados reflejados en el mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá se derivan de una serie de procesamientos aplicados a las imágenes satelitales de alta resolución, junto con una validación en terreno generado por medio de diferentes actividades en campo en el marco del levantamiento de 96 parcelas de inventarios forestales.

Los datos y la información base utilizada para la generación del presente mapa fueron producto de actividades desarrolladas junto con la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) y el Componente de Monitoreo Forestal del Programa Regional REDD/CCAD-GIZ durante los años 2013 – 2015. A continuación se presenta el resultado del mapa temático, en el cual se identificaron 16 categorías de cobertura forestal y uso de la tierra en una superficie aproximada de 343,517 hectáreas. (Figura 9).

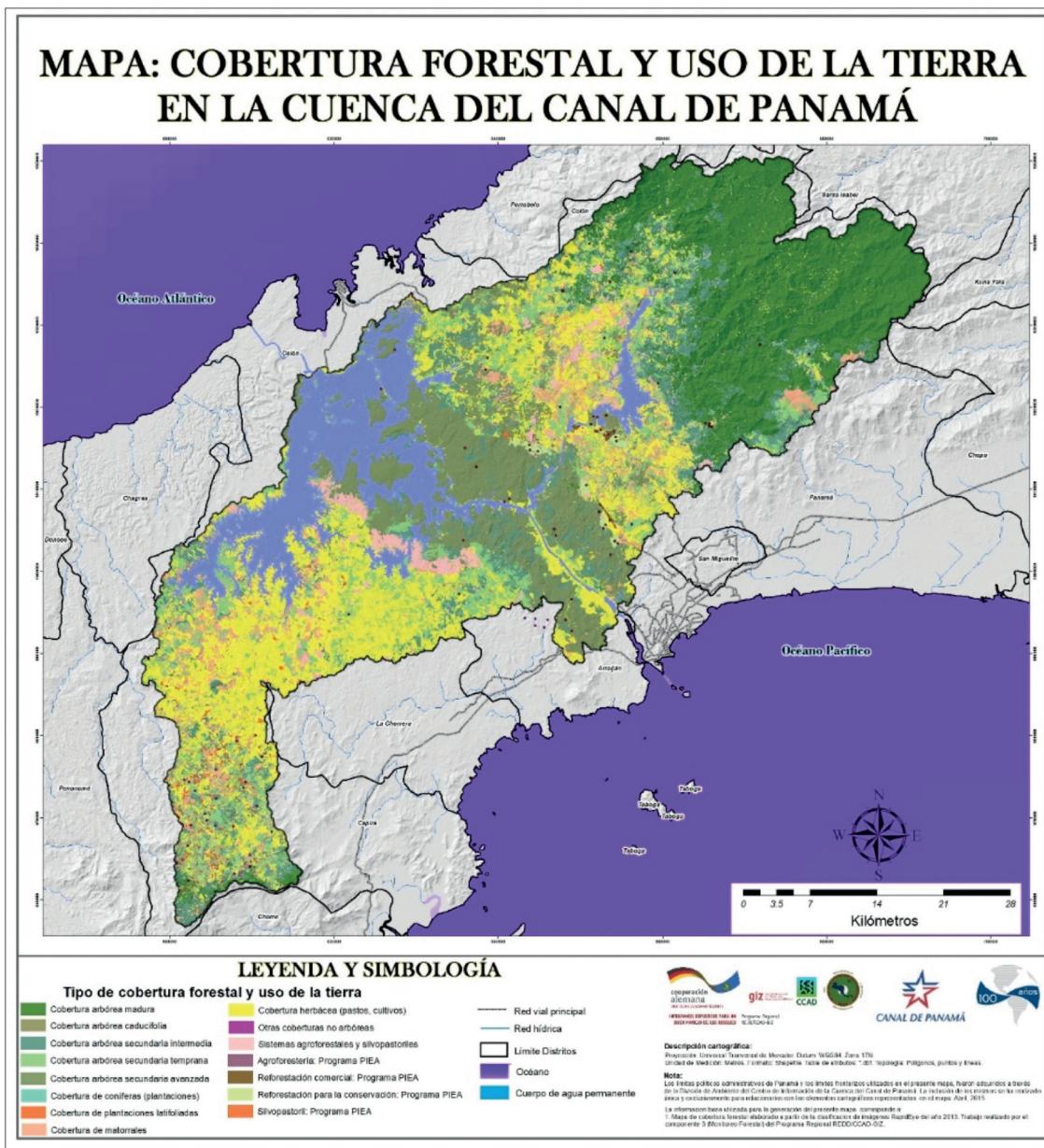


Fig.9
Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá.

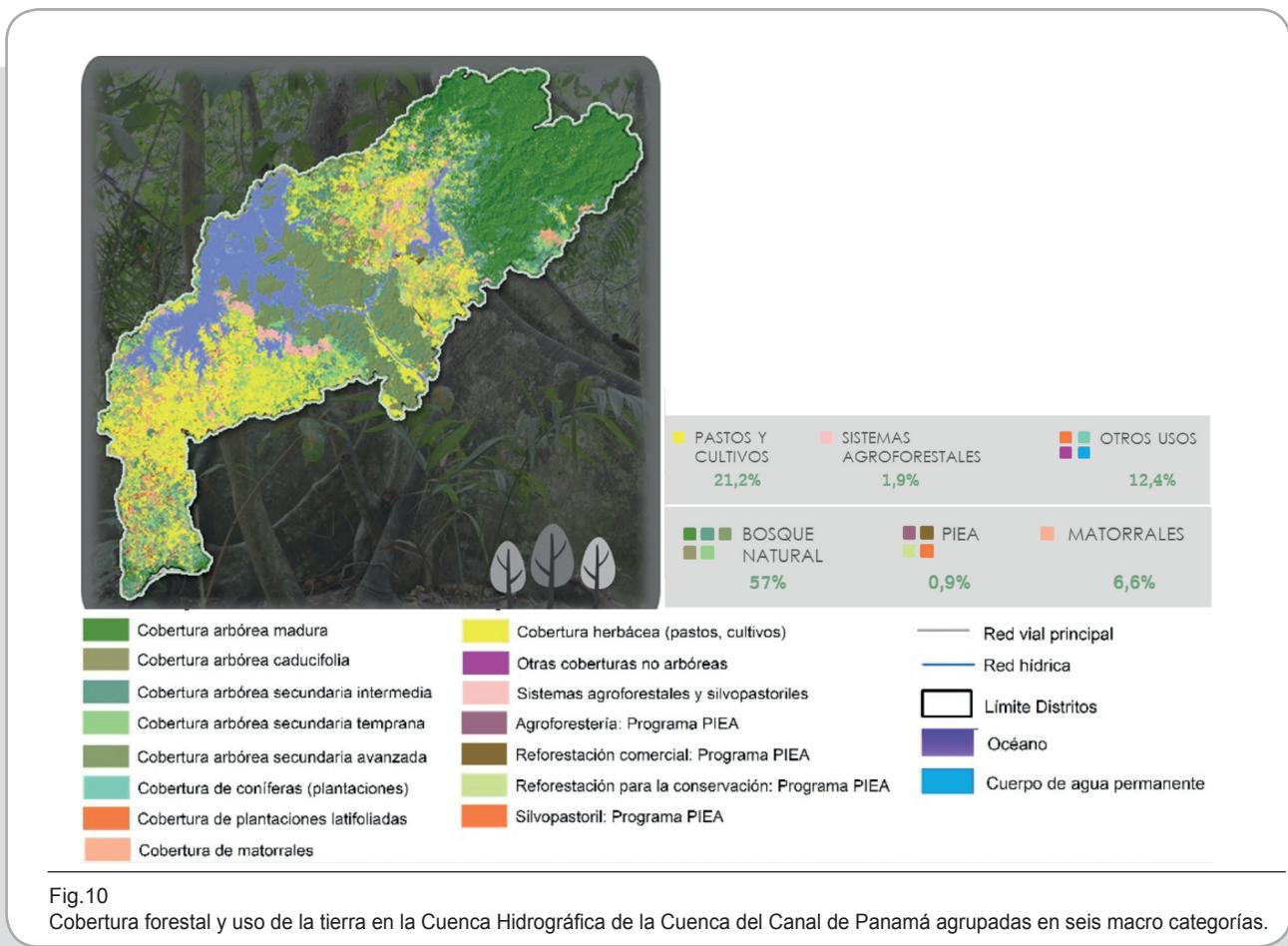
4.2 Estadísticas de la cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá

Derivado del mapa forestal se obtuvo que la superficie de bosque en el área de la cuenca es de 195,771.9 hectáreas equivalente al 57% de la superficie total de la cuenca. De esta cobertura boscosa la cobertura arbórea madura es la que ocupa el máximo porcentaje con 20.3%. De las coberturas no boscosas, la cobertura herbácea (pastos, cultivos) es la que cubre la mayor superficie ocupando el 21.2% de la superficie total. A continuación se presentan los resultados para cada una de las categorías de cobertura y uso de la tierra de la Cuenca del Canal de Panamá. (Tabla 3).

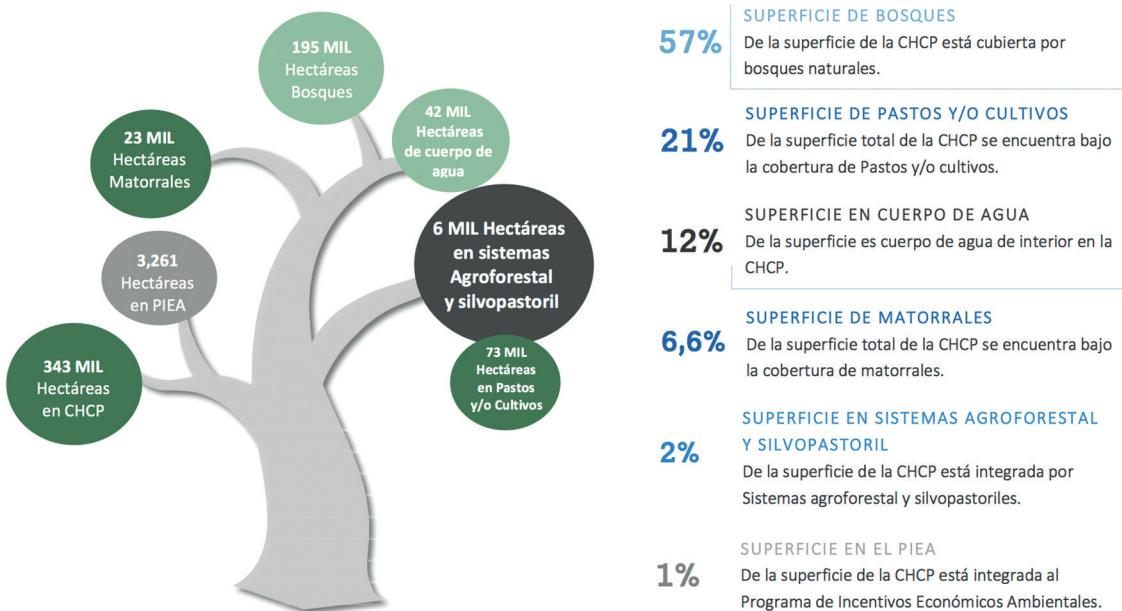
Tabla 3. Superficie y participación de la cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

Cobertura/uso	Superficie [ha]	Participación [%]
Cuerpos de agua interior	12.4%	12.4%
Cobertura arbórea caducifolia	0.1%	0.1%
Cobertura arbórea madura	20.3%	20.3%
Cobertura arbórea secundaria avanzada	13.8%	13.8%
Cobertura arbórea secundaria intermedia	10.0%	10.0%
Cobertura arbórea secundaria temprana	12.8%	12.8%
Cobertura de plantaciones de coníferas	0.0%	0.0%
Cobertura de matorrales	6.6%	6.6%
Cobertura de plantaciones latifoliadas	0.0%	0.0%
Cobertura herbácea y agrícola (pastos, cultivos)	21.2%	21.2%
Otras coberturas no arbóreas	0.0%	0.0%
Sistemas agroforestales y silvopastoriles	1.9%	1.9%
* Agroforestería: Programa PIEA	0.3%	0.3%
* Reforestación comercial: Programa PIEA	0.1%	0.1%
* Reforestación para la conservación: Programa PIEA	0.2%	0.2%
* Silvopastoril: Programa PIEA	0.3%	0.3%
TOTALES	100.0%	100.0%

1 La superficie asociada al programa PIEA cuantificada en el presente mapa corresponde única y exclusivamente a las áreas que se encuentran localizadas dentro del límite oficial de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, dicha superficie es de 3,261 ha. La superficie total del PIEA al año 2014 corresponde a 5,996 ha de las cuales 1,995 ha corresponden a Agroforestería, 720 ha Reforestación comercial, 670 ha reforestación para Conservación y 2,611 ha para Silvopastoril (Fuente: ACP, 2014).



5. Conclusiones y Cifras² de Interés



2 La superficie asociada al programa PIEA cuantificada en el presente mapa corresponde únicamente a las áreas que se encuentran localizadas dentro del límite oficial de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, dicha superficie es de 3,261 ha. La superficie total del PIEA al año 2014 corresponde a 5,996 ha de las cuales 1,995 ha corresponden a Agroforestería, 720 ha Reforestación comercial, 670 ha reforestación para Conservación y 2,611 ha para Silvopastoril. (Fuente: ACP, 2014).

6. Bibliografía

- 1 Aspinall, R. J. y Hill, M. J. 1997. Land cover change: a method for assessing the reliability of land cover changes measured from remotely-sensed data. International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, Singapore. 269-271.
- 2 Arozarena, A. *et al.* (s.f.), Aplicaciones de las imágenes espaciales a la cartografía de base, Teledetección y planificación integrada del territorio, MOPU, Madrid, pp.215-223
- 3 BlackBridge. 2013. Imágenes Satelitales Especificaciones Técnicas. Disponible en: http://www.blackbridge.com/rapideye/upload/REProduct_Specifications_SPA.pdf
- 4 Cabrera, E., G. Galindo & D.M. Vargas. 2011a. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escalas Gruesa y Escala Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 37 p.
- 5 Cabrera E., Vargas D. M., Galindo G. García, M.C., Ordoñez, M.F. 2011b. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, Nivel Subnacional Escala Gruesa y fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 44 p.
- 6 Cabrera, E., G. Galindo & D.M. Vargas, IDEAM 2011c. Documento técnico de referencia para la utilización de imágenes de sensores remotos en la cuantificación de la deforestación y estimación del almacenamiento de carbono, elaborado en el marco del Proyecto Capacidad Institucional Técnica y Científica para apoyar proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación REDD en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM.
- 7 Castillo, O.G. 2012. Aplicación espectral y topológica en el procesamiento de imágenes satelitales. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- 8 EXELIS. 2014. Radiance and scale factors background. Disponible en: <http://www.exelisvis.com/docs/BackgroundRadianceScaleFactors.html>

- 9 GOFC-GOLD. 2009. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting GOFC-GOLD Report, Version COP14-2 GOFCGOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, and Canada.
- 10 Heileen Aguilar Arias., Rodolfo Mora Zamora., Christian Vargas Bolaños., Centro Nacional de Alta Tecnología, Costa Rica. 2014. Atmospheric Correction Methodology For Aster, Rapideye, Spot 2 And Landsat 8 Images With Envi Flaash Module Software. Revista Geográfica de América Central. Nº 53. ISSN 1011-48X, julio-diciembre 2014. pp. 39-59.
- 11 J. J. Condon y S. M. Ransom. 2008. Essential Radio Astronomy: Pulsar Properties». National Radio Astronomy Observatory. Disponible en: <http://www.cv.nrao.edu/course/astr534/Pulsars.html>
- 12 J. Ronald, Eastman. 2012. IDRISI Selva, Guia para SIG y procesamiento de imágenes. Manuela versión 17. Clark Labs. Disponible en: <http://www.clarklabs.org/products/upload/Spanish-language-Manual.zip>
- 13 Kruse, F.A. 2004. Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS data of Boulder, CO. Recuperado de http://www.hgimaging.com/PDF/Kruse-JPL2004_ATM_Compare.pdf
- 14 María Encina Aullo. 2013. La teledetección como herramienta para la evaluación de la vulnerabilidad de ecosistemas forestales latinoamericanos frente al cambio climático: fragmentación y conectividad. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Madrid
- 15 Martín, F., Corbera, J., Marchan, J. F., González, A. 2001. RapidEye and the Rededge band for modelling the vegetation and the recovery of the soil moisture. Mapping, núm. 50, pàg. 10-20.
- 16 Weichelt,H., Rosso,P., Marx,A., Reigber, S., Douglass, K., Heynen, M. (S.F.) The White Paper: The RapidEye Red Edge Band. Germany. 6 p.p. Disponible en:http://www.blackbridge.com/rapideye/upload/Red_Edge_White_Paper.pdf

7. Glosario

Banda: Cada uno de los intervalos en los cuales se divide el espectro electromagnético en un archivo multi-espectral de una imagen de sensor remoto. Este concepto es aplicado generalmente a imágenes de tipo óptico.

Bosque: Es una asociación vegetal natural o plantada, en cualquier etapa del ciclo natural de vida, dominada por árboles y arbustos o una combinación de ellos de cualquier tamaño con una cobertura de dosel mayor a diez por ciento (10%), que con o sin manejo es capaz de producir madera, otros productos forestales, bienes y servicios ambientales.

Cobertura de la Tierra: Es la cobertura biofísica que se puede observar sobre la superficie de la tierra y comprende los diferentes tipos de bosque y categorías no boscosas distribuidas en un área determinada.

Corrección geométrica: Consiste en vincular una región de una imagen con una correspondiente región de otra imagen, la cual es tomada con un sensor diferente o un ángulo de vista diferente. Permite corregir la posición relativa del píxel, la cual se modificó por la geometría del sensor o por variaciones en el terreno.

Deforestación: Es la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del diez por ciento. La CMNUCC define deforestación como “la conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierra no forestales.

Exactitud: Es el nivel de concordancia entre el valor real y el resultado de las observaciones o estimaciones de una característica.

Firma Espectral: Es lo que se refleja visiblemente en un objeto de acuerdo a una combinación de radiaciones de distintas longitudes de onda (color); Rojo Verde Azul (Red Green Blue) lo cual es el mismo sistema que utiliza nuestra retina.

Imagen de satélite fuente o cruda: Imagen de satélite original a la cual no se le ha realizado ningún tipo de tratamiento básico o temático. Se encuentra almacenada con la extensión propia del fabricante.

Imagen de satélite: Representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen información reflejada para la superficie de la tierra que luego es enviada a la Tierra y

que procesada convenientemente entrega valiosa información sobre las características de la zona que cubre.

Imagen Landsat: Imagen tomada por el sensor satélite Landsat, estas imágenes cubren áreas de 185Km x 175Km. Este sensor tiene periodos de toma de las imágenes de 16 días.

Imagen RapidEye. Imagen tomada por el sensor satélite RapidEye (BlackBridge LLC), estas imágenes cubren áreas de 25 Km x 25 Km. Este sensor tiene periodos de toma de las imágenes de cada día.

Mapa de cobertura bosque y cambio de bosque-no bosque: Es la representación cartográfica de los resultados del análisis de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque en períodos determinados.

Nivel de confianza: Corresponde a un rango que incluye el valor real de un parámetro desconocido con un nivel de confianza determinado (probabilidad). Normalmente se utiliza un intervalo de confianza del 95%, es decir, que existe una probabilidad del 95% de incluir un valor verdadero.

Píxel (Picture Element): Unidad básica de información gráfica que se refiere a cada uno de los puntos indivisibles que conforman una imagen, es decir, la mínima área de captura en el formato Raster. A mayor densidad de píxeles, mayor calidad de imagen.

Precisión: Es el nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica. Se representa como una estrecha agrupación de resultados de los puntos de muestreo o parcelas. La precisión es inversamente proporcional al error.

Resolución Espacial: Designa al objeto más pequeño que se puede distinguir en una imagen, determinado por el tamaño del pixel, medido en metros sobre el terreno; en el caso de la imagen RapidEye tiene una resolución espacial de 5x5 m.

Resolución Espectral: Consiste en el número de canales espectrales (y su ancho de banda) que es capaz de captar un sensor. En el caso de una imagen Landsat 7 tiene una resolución espectral de 7 bandas.

Resolución: Nivel de detalle con el que se posible identificar los elementos sobre las imágenes y se relaciona con la unidad mínima de almacenamiento de datos o píxel.

Sensores Remotos: Es una serie de técnicas y procesos que permiten obtener una imagen de la superficie terrestre de forma remota, es decir captada por sensores situados en satélites o aviones, y posteriormente tratarla e interpretarla con el objetivo de obtener información de la superficie terrestre y de sus cambios.

SIG (Sistema de Información Geográfica): Es un conjunto de herramientas muy utilizada hoy en día que nos permite captar, almacenar, administrar y analizar información espacial que sirve de base para la planificación y la toma de decisiones en niveles estratégicos, educacionales, monitoreo entre otros.

Teledetección: Es la obtención de información de un objeto específico o de un área determinada sin que exista un contacto directo con el mismo, a través de dispositivos tecnológicos que nos permitan interpretar de una mejor manera sus características.

Uso de Suelo: Comprende todas las acciones que realice el hombre sobre una cobertura específica parcial o permanente con la intención de cambiarla o mantenerla.

Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficina Registrada Apartado Postal 755
Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana,
Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, La Libertad
El Salvador, C.A.

T +503 2121-5100
F +503 2121-5101
E info@reddcadgiz.org
I www.redccadgiz.org



Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficina Registrada Apartado Postal 755
Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana,
Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, La Libertad
El Salvador, C.A.

T +503 2121-5100
F +503 2121-5101
E info@reddccadgiz.org
I www.redccadgiz.org