

Utilización del Sistema TerraAmazon para la evaluación de cambios en la cobertura forestal en una cuenca de los Andes venezolanos (1988-2014)

Carlos Eduardo Pacheco Angulo
Cristopher Edgar Camargo Roa
Arias Lacruz Franklin José
Néstor Fabián Gutiérrez Beltrán
Luis Enrique Gaméz Álvarez
Emilio Javier Vilanova Torre

Universidad de Los Andes
Código Postal 5101 - Mérida - Venezuela
carlosa@ula.ve, cristophercamargo_roa@hotmail.com, franklinbarza@hotmail.com,
nestguti@gmail.com, lgamez@ula.ve, vilanova@ula.ve

Abstract. The aim of this study is to report the use of TerraAmazon in the Andean region. For this purpose we selected the mid-watershed of the Chama River located in the Mérida state in Venezuela, the changes in the forest cover were assessed using Landsat images between the time periods 1988-2002 and 2002-2014. To set up the system we built a data base PostGresSQL, the conceptual framework, access control, phase control, project, control rules, categories. We built the year 0 (1988) using the linear spectral mixing model (LSMM), deriving from this process we obtain the vegetation, shadow and soil cover. The soil cover was segment and further used to interpret the composition of 453 remaining forest and non-forest areas, on this categories there were identified the gains and losses for the year 1 (2002), the same process was done for the year 2 (2014). In the analyzed period (26 yr) 27% of the forest cover remains without change, the lower and mid part of the watershed was the area with higher changes particularly in the sub-watershed Albarregas and Mucujún, and also in the micro-watersheds La Portuguesa, Montalban y La Mesa, this area is cover mainly by the ecological units sub-deciduos montane forest, lower montane cloud forest and the also by the principal urban areas of the Chama watershed.

Key words: Changes in forest cover, TerraAmazon, Landsat, MLME, Andes, Venezuela.

1. Introducción

Actualmente Venezuela no posee un sistema de nacional de monitoreo que permita determinar la dinámica de la cobertura forestal, así quedó evidenciado en el estudio Romijn et al (2012), quienes investigaron sobre el grado de avance en los programas de monitoreo forestal de los países en vía de desarrollo, dando como resultado que Venezuela junto Bolivia, Ecuador y algunos países del continente africano, es considerado como uno de los países del cinturón tropical con importantes vacíos y limitaciones en sus programas o sistemas de monitoreo. Esto ha traído como consecuencias que las cifras reportadas sobre la dinámica de la cobertura forestal sean imprecisas, así se tiene por ejemplo, que para la última década la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportó que en Venezuela se deforestaron -288.000 ha/año (FAO, 2010), sin embargo, existen otros estudios que revelan que para la misma década la deforestación fue de -115.000 ha/año (Harris et al. 2012), -128.000 ha/año (RNV, 2013) y -107.000 ha/año (Hansen et. al. 2013). Con respecto a las ganancias estas han sido reportadas con una cantidad de 82.979 ha/año (Pacheco et al., 2011), 53.000 ha/año (Aide et al., 2012) y 15.917 ha/año (Hansen et al., 2013).

Esta imprecisión ha derivado que Venezuela haya sido asignada como uno de los países con los más altos porcentajes de deforestación con impacto considerable a nivel mundial, así quedó asentado en el Capítulo 27 del Informe del Grupo II del 5to informe del IPCC (IPCC, 2007). Esta situación está es poco justificable en el contexto actual, existe una creciente disponibilidad de datos e información mundial (Ramankutty et al., 2006), como los datos procedentes de imágenes de satélite, los cuales permiten identificar y cuantificar las pérdidas y ganancias de la cobertura forestal a partir de un tratamiento digital de imágenes, basado en

la clasificación de los píxeles de la imagen en función de su distinto comportamiento reflectivo (Jensen, 2005; Chuvieco, 2008; Mather y Koch, 2011).

Junto a estos datos se han generado una serie de métodos que han sido aplicados en distintos países para determinar los cambios de la cobertura forestal, ejemplo de ello es el desarrollado por el Estudio de los Bosques de la India (FSI) desde 1987 (FSI, 2013); el desarrollado por el Programa de Cálculo de Deforestación de la Amazonia Brasileña (PRODES), con carácter anual desde 1988, por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) de Brasil (Câmara et al., 1996); el desarrollado a partir del 2005 por el INPE y Fundación de Ciencia, Tecnología y Aplicaciones Espaciales (FUNCATE) de Brasil, el Sistema de Monitoreo de la Deforestación del Amazonas (TerraAmazon) (TerraAmazon, 2005); el desarrollado en el 2005 por el Instituto Carnegie de la Universidad de Stanford, el cual diseñaron el Sistema de Análisis Landsat de Carnegie (CLASlite) (Asner et al., 2005, 2006, 2009); y el desarrollado en el Estudios de Sensores Remotos (RSS) de la FAO, dentro del programa Evaluación de los Recursos Forestales de 2010 (FRA 2010) a partir de 2007 para todo el planeta (Duvieller et al., 2008; Eva et al., 2010; Achard et al., 2014).

Es por ello que actualmente un grupo de investigadores de la Universidad de Los Andes de Mérida-Venezuela, se encuentran ejecutando un proyecto donde se analiza la dinámica de la cobertura boscosa en los Andes venezolanos como una herramienta para la mitigación del cambio climático. La selección de esta área para su estudio, se debe a que constituye una de las zonas de mayor diversidad del país (Alvarado et al., 2009; Cuello y Cleef, 2011), y que ha sido identificada por la Conservación Internacional como una de las 25 áreas de concentración de biodiversidad a nivel global, e incluida por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) entre las 17 prioridades de conservación en América Latina (PNUD, 2008); además, es reconocida como una de las áreas hot spot de deforestación que presentó un cambio rápido en la cobertura vegetal, durante el período 2005-2010 (Pacheco et al., 2014), y que en la actualidad se encuentra severamente amenazada debido al incremento continuo de las actividades humanas (Zambrano et al., 2010; Cuello y Cleef, 2011; CONDESAN, 2012; Londoño, 2013).

La propuesta metodológica desarrollada en este proyecto se basó en el sistema TerraAmazon, que corresponde a una herramienta de Sistema de Información Geográfica (SIG) diseñada para ser un editor multi-usuario de datos geográficos vectoriales almacenados en un modelo base de datos y con un procesador digital de imágenes, y además de ser de dominio público y de código abierto (INPE-FUNCATE, 2010). En tal sentido, se planteó como objetivo principal de este estudio realizar un reporte del proyecto antes mencionado, mediante la evaluación de la dinámica de la cobertura forestal para 1988, 2002 y 2014 en la parte central de la región andina venezolana, específicamente en la cuenca media del río Chama.

2. Metodología

2.1. Área de estudio. Se encuentra enclavada en la parte central de la región de los Andes venezolanos, entre las coordenadas 8°52'35" y 8°30'20" de latitud norte y 71°20'00" y 70°20'00" de longitud oeste. Con una superficie de 121.521 ha ocupa el 3,8% del área del proyecto, se extiende desde la quebrada Mifafí a 4.600 msnm, hasta la confluencia de la quebrada El Quebrarón a 960 msnm. Se encuentra delimitada por las divisorias de la Sierra del Norte o de la Culata, la Sierra de Santo Domingo y la Sierra Nevada; y desde el punto de vista político administrativo se enmarca dentro de los municipios Campo Elías, Santos Marquina, Rangel y Libertador, este último se asienta la capital del estado Mérida; (Figura 1).

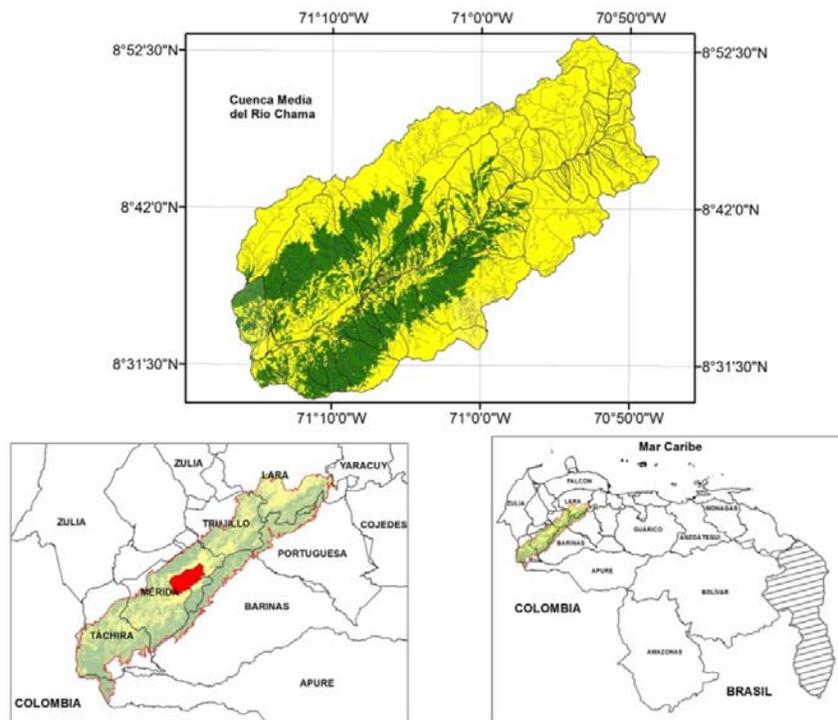


Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro del proyecto.

2.2. Datos. Se emplearon datos del satélite Landsat, obtenidos el 20 de enero de 1988, el 26 de enero de 2002 y el 11 de enero de 2014, mediante los sensores TM, ETM+ y OLI respectivamente. Los mismos corresponden al path/row 006/054. Estos datos fueron adquiridos gratuitamente de la colección del USGS (U.S. Geological Survey) (<http://glovis.usgs.gov/>), poseen un nivel de corrección radiométrico y geométrico L1T, suficiente para este estudio. Asimismo, para delinear la cuenca media del Río Chama, sus subcuencas y sus microcuencas, se empleó un mosaico con 20 cartas cartograficas a 1:25.000 del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB). De igual manera se utilizó el mapa de unidades ecologica de Ataroff y Sarmiento (2003).

2.3. Criterios cartográficos. *Definición de bosque:* cobertura vegetal leñosa superior a 1 ha de superficie (Ley de Bosque y Gestión Forestal, 2008), con cobertura mínima de copa de árboles del 10% y una altura mínima de madurez in situ del 5 m (UNFCC, 2013). *Definición de deforestación:* “la conversión directa, inducida por el hombre de tierras boscosas en tierras no forestales” (UNFCC, 2013). *Unidad Mínima de Interpretación (UMI):* se asumió una (1) ha. *Sistemas de Coordenadas:* proyección UTM Zona 19N, Datum WGS84. *Definición de la Línea Base:* 1988 como año 0, 2002 como año 1 y 2014 como año 2, para la medición de la deforestación y la ganancia del bosque. *Leyenda:* para el año 1988 las categorías: bosque, no bosque, mientras que el año 2002 y 2014, se consideró adicionalmente la categoría deforestación y ganancias que representa la pérdida y la recuperación de la cobertura boscosa para este periodo evaluado.

2.4. Proceso metodológico

2.4.1. Elaboración de la cartografía del año 0 (1988). Para la elaboración de la cartografía de los años de estudios (1988, 2002 y 2014), se empleó la versión 4.4.4 de TerraAmazon, el cual fue necesario realizarle una configuración, que consistió en la creación de: la base de datos PostGresSQL, el modelo conceptual, control de acceso, control de fase, el proyecto, reglas de control, definición de clases, definición de control de reglas y definición del área de interés (INPE-FUNCATE, 2010). Posteriormente, para interpretar y editar el año 0 se creó una composición a falso color con un RGB 453, y se aplicó la técnica del Modelo

Lineal de Mezclas Espectrales (Shimabukuro & Smith, 1991), la cual estima la proporción de los componentes suelo, vegetación y sombra para cada píxel, a partir de la respuesta espectral de las bandas de Landsat, dando como resultado imágenes del fragmento suelo, vegetación y sombra (o agua), a través de la ecuación (1):

$$r_i = a * vege_i + b * suelo_i + c * sombra_i + e_i \quad (1)$$

Dónde: r_i es la respuesta del píxel en la banda i ; a , b , y c son las proporciones de vegetación, suelo y sombra (o agua), respectivamente; $vege_i$, $suelo_i$ y $sombra_i$, son las respuestas espectrales de los componentes de vegetación, suelo y sombra, respectivamente; e_i es el error en la banda i . Luego, se segmentó el componente suelo, ya que es el que proporciona mayor contraste entre el suelo descubierto y el bosque, para ello, se utilizó los valores del proyecto PRODES, 8 como criterio mínimo de similitud y 16 como valor de área mínima (Câmara et al., 2006; Bins et al., 1993).

El resultado de esta segmentación, fue utilizado para el proceso de interpretación, el cual consistió en asignar cada objeto a cada categoría de bosque y no bosque, utilizando para ello, la composición 453 del año 0 como fondo. Una vez culminado este proceso se procedió a realizar el respaldo correspondiente a la base de datos (Backup) y a exportar los archivos vectoriales en formato shape.

2.4.2. Elaboración de la cartografía del año 1 (2002) y año 2 (2014). Para la creación del año 1, se utilizó la base de datos del año 0, a esta se le eliminó la imagen de 1988. Luego se le añadió la regla topológica “intersección”, con la finalidad de cortar los polígonos interpretados visualmente de deforestación y ganancia del bosque, sobre las respectivas clases de bosque y no bosque del año 0. Esta interpretación se realizó teniendo como base la imagen de 2002. De esta manera, se obtuvo el año 1 con las categorías bosque, no bosque, deforestación y ganancia. De igual manera, se generó la base de datos y la interpretación para el año 2 (2014), considerando que a las categorías bosque y no bosque del año 1, se le añadió correspondientemente las ganancias y la deforestación del periodo 1998 y 2002.

2.4.3. Validación de las cartografías de cobertura forestal. Una vez generada la cartografía de los años 0, 1 y 2, con las categorías de bosque y no bosque, se validaron para dar robustez a los productos generados y valorar el grado de acuerdo con la realidad. Para esto se aplicó un muestreo aleatorio estratificado de 100 puntos en cada categoría, las muestras se obtuvieron de las mismas imágenes empleadas para generar las cartografías, dichas muestras de Verdad-Terreno permitieron estimar con mayor precisión y menor tiempo posible el error que contienen estos resultados (Chuvieco, 2008), mediante el cálculo de la matriz de confusión, la cual permitió obtener los errores de omisión, comisión, de precisión global (Congalton & Green, 2009; Chuvieco, 2008) y el estadístico K (Cohen, 1960), que midió la precisión o acuerdo basado en la diferencia entre el error de la matriz y acuerdo en los cambios (Rosenfield and Fitzpatrick-Lins, 1986). Esta validación fue realizada por un experto externo que no intervino en la elaboración de las cartografías (Congalton, 1988).

2.4.4. Análisis de los cambios en la cobertura forestal en la cuenca media del Río Chama, sus subcuencas y microcuencas. Para realizar este análisis se procedió en primer lugar, a interpretar las subcuencas y microcuencas sobre el mosaico digital de las cartas a 1:25.000. El criterio utilizado está circunscrito a una divisoria de aguas con un conjunto de drenajes que fluyen hacia un cauce principal o punto de salida de aguas en común (Ovalles y Méndez, 2011). Bajo este criterio se generaron 93 unidades espaciales, de las cuales según su superficie se encuentran dos subcuencas y 91 microcuencas (Bastidas, 2007), de estas últimas 41 no cuentan con nombres propios o topónimos, razón por la cual fue necesario asociarlas a microcuencas que poseían nombres, con el fin de facilitar los análisis. En consecuencia, la cuenca media del río Chama para este estudio fue dividida en 52 microcuencas y 2 subcuencas (Albarregas y Mucujún). Las mismas se interceptaron con las cartografías

generadas, para obtener las superficies y sus respectivos porcentajes (Olaya, 2011), y así poder analizar los cambios de la cobertura forestal en estas unidades espaciales.

2.4.5. Análisis de los cambios en la cobertura forestal en las unidades ecológicas. Para el análisis se utilizó la clasificación propuesta por Ataroff y Sarmiento (2003), que para el área de estudio describe cinco unidades ecológicas definidas principalmente por un gradiente de precipitación y temperatura en función de la altitud. Estas unidades ecológicas son: selva semicaducifolia montana (SSM) se encuentra en la zona de mejor altitud (800 a 1700 m) y menor precipitación (1200 a 1900 mm), las selva nublada montano baja (SNMB) domina el área intermedia de estudio (1700 a 2200 m) y con una precipitación y temperatura promedio anual de 1900 mm y 19°C, la selva nublada montano alta (SNMA) representa el límite superior de la vegetación boscosa en esta zona de los andes pudiendo alcanzar los 3000 m snm, ubicados en la zona de mayor precipitación y menor temperatura (1000 a 3000 mm y 9 a 14°C). La SSM y SNMB coinciden con las áreas de mayor desarrollo agrícola y urbano de los Andes siendo considerados ecosistemas amenazados (Rodríguez et al., 2010), los bosques a mayor altitud se encuentran en su mayoría protegidos por parque nacionales (Cuello Alvarado 2010, Rodríguez et al., 2010).

3. Resultados y discusión

3.1. Validación. Las matrices de confusión arrojaron como resultados, que la clase Bosque tuvo un acierto de 78,00%, 80,00% y 82,67%, confundiéndose con la clase No Bosque en un 22,00%, 20,00% y 17,33% para la cartografía forestal de 1988, 2002 y 2014 respectivamente. Por su parte, el acierto de la clase No Bosque para las mismas cartografías, fue de 99,33%, 100,00 y 100,00%, y la confusión de 0,67% únicamente para la cartografía de 1988 (Tabla 1).
Tabla 1. Matrices de confusión de los mapas de cobertura boscosa de 1988, 2002 y 2014.

Clases	Verdad Terreno (%)								
	1988			2002			2014		
	Bosque	No Bosque	Total	Bosque	No Bosque	Total	Bosque	No Bosque	Total
Bosque	78,00	0,67	39,33	80,00	0,00	40,00	82,67	0,00	41,33
No Bosque	22,00	99,33	60,67	20,00	100,00	60,00	17,33	100,00	58,67
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Por su parte, de los resultados de los errores de omisión y comisión se pueden interpretar que la clase No Bosque fue la que obtuvo el mayor error del usuario (comisión) con 18,13%, 16,67 y 17,33%, mientras que los errores del productor (omisión) se presentaron con mayor valor en la clase Bosque con 22,00%, 20,00% y 14,77%, para los mapas de 1988, 2002 y 2014 correspondientemente. Por su parte, la precisión global de los mapas de cobertura forestal de 1988, 2002 y 2014, fueron de 88,67%, 90,0% y 91,33% respectivamente, valores estos ubicado dentro de los límites establecidos (80 a 100%) por los científicos para diferenciar estas clases, y posteriormente evaluar sus cambios (GOF-C-GOLD, 2013). Mientras que los resultados de los índices kappa fueron de 0,77, 0,80 y 0,83, resultados con un grado de acuerdo sustancial para los primeros años y un acuerdo casi perfecto, para el último año (Landis y Koch, 1977) (Tabla 2).

Tabla 2. Errores de comisión y omisión, precisión global e índice Kappa.

	1988		2002		2014	
	Bosque	No Bosque	Bosque	No Bosque	Bosque	No Bosque
Comisión	0,85	18,13	0,00	16,67	0,00	17,33
Omisión	22,00	0,67	20,00	0,00	14,77	0,00
Precisión Global	88,67		90,00		91,33	
Índice Kappa	0,77		0,80		0,83	

3.2. Cambios en la cobertura forestal en la cuenca media del Río Chama y sus subcuencas y microcuencas. Porcentualmente la cobertura forestal de la cuenca media del río Chama, en los últimos 26 años ha conservado sus valores, es decir, para 1988 se ha mantenido con 27,38% (33.277 ha) y para el 2014 con 27,31% (33.188 ha), estos porcentajes son muy próximos al 29% reportado para el 2010 en toda la cuenca del río Chama (Portillo *et al.*, 2012). Por otro lado, tanto las pérdidas como las ganancias en los dos periodos evaluados fueron muy parecidas entre sí, sin embargo, en el primer periodo (1988-2002) las superficies de pérdida (1.349 ha) y ganancia (1.350 ha), fueron 270% mayor que las pérdidas (504 ha) y las ganancias (413 ha) del segundo periodo (2002-2014).

Con respecto a la variación porcentual de las coberturas forestales de las subcuencas y microcuencas, se tiene que considerar en primer lugar, que el 46 % de la cuenca media del río Chama está por encima de los 3.500 msnm, es decir, que es una zona de páramo donde no se desarrollan las coberturas forestales, esta zona se encuentra en 32 microcuencas y en las 2 subcuencas, por lo que hay que destacar que los bajos porcentajes de cobertura forestal registrados en estas unidades espaciales, no se debe a que ha existido una pérdida histórica de cobertura forestal, sino a las condiciones ecológicas propias de cada una de ellas. En consecuencia se puede comentar que la variación porcentual de las coberturas forestales en las subcuencas y microcuencas, se mantienen con valores muy similares durante las tres fechas evaluadas, cabe señalar que existen: nueve microcuencas con cobertura entre 60% y 86%, como la del río Montalbán y las quebradas los Avendaños y la Astilleras; siete entre 60% y 45%, como la subcuenca del río Albarregas y la microcuenca del río la Portuguesa; cuatro entre 45% y 30% como las microcuencas La Cuesta y San Jerónimo; cinco entre 30% y 20% como la subcuenca del río Mucujún y la quebrada la Musuy; y el resto de microcuencas inferiores al 20%. Todas ellas se visualizan en la figura 2, donde se encuentran los porcentajes forestales para 1988 (a) y para el 2014 (b).

En relación a las pérdidas y las ganancias, cabe resaltar que tanto para el primer periodo (1988-2002) como para el segundo (2002-2014), en la subcuenca del río Mucujún y las microcuencas de Gavidia, la Fría y el Encierro las ganancias superaron ampliamente las pérdidas. En el caso del Mucujún, que es una cuenca que abastece de agua a parte de la población de Mérida, destaca el primer periodo con 250 ha y 111 ha versus el segundo periodo con 34 ha y 29 ha de ganancias y pérdidas respectivamente, este proceso es debido a la recuperación de manera natural de las áreas abandonadas por las actividades agropecuarias (Gutiérrez *et al.*, 2013), así como la creación del decreto de ABRAE de tipo Zona Protectora para la producción de agua en 1986. Asimismo, es interesante resaltar la subcuenca del río Albarregas, donde ocurrió lo contrario a la anterior, ya que sus pérdidas superaron a las ganancias para ambos periodos, 320 ha y 230 ha versus 116 ha y 46 ha de pérdidas y ganancias respectivamente, en este caso debido a la fuerte dinámica poblacional y al ensanchamiento de la poligonal urbana en la ciudad de Mérida. De manera similar, se encuentra la microcuenca del río La Portuguesa, donde se estableció en su parte baja un urbanismo en el primer periodo, lo cual originaron que las pérdidas superaran a las ganancias, 121 ha y 27 ha para el primer periodo y 52 ha y 22 ha para el segundo periodo (Figura 2).

La SNMB presentó cambios sutiles en todo en ambos periodos primero con ganancia neta de cerca de 52 ha y luego con una pérdida marginal de apenas 3 ha (Figura 3c y d). En general para todas las unidades ecológicas hay una tendencia hacia la disminución de las tasas de cambio en el segundo periodo. Las tendencias observadas tanto en el patrón diferencial de la pérdida asociada a ecosistemas como de la disminución en las tasas de cambio coincide con el patrón observado en la mayoría de países latinoamericanos y del Caribe (Aide et al., 2012).

4. Conclusiones.

En este estudio quedo comprobado que el uso del sistema TerraAmazon en ambientes Andinos suramericanos dio buenos resultados. El mismo permitió revelar que la dinámica de perdida y recuperación de la cobertura forestal en la cuenca media del Chama para el primer periodo (1988-2002) fue 270% mayor que para el segundo periodo (2002-2014), sin embargo, la misma ha permitido conservar en 26 años el 27% de cobertura forestal.

Esta dinámica es más marcada en la parte baja y media de las subcuencas Abarregas y Mucujún, y las microcuencas la Portuguesa, Motalban y la Mesa, donde se encuentran las unidades correspondientes a la Selva Semicaducifolia Montana y en la Selva Nublada Montana Baja, donde están los centros poblados más grandes de la cuenca media, presentándose sectores arbolados con elementos nativos y exóticos mezclados, pero dispuestos de forma esparcida, formando grupos densos a semidensos. En dichos ecosistemas, se encuentran bosques secundarios, bastantes perturbados por efectos antrópicos, principalmente por el crecimiento demográfico, la agricultura, la ganadería, los incendios provocados y la erosión hídrica.

Un elemento importante a considerar en la ganancia de cobertura observada entre 1998-2002 y 2002-2014, es que ésta se debe en gran medida a que las unidades ecológicas albergan un gran número de especies heliófitas como *Heliocarpus americanus*, *Trema micrantha*, *Cecropia peltata*, *Tithonia diversifolia*, *Myrcia splendens*, *Ficus insipida*, entre otras, taxa que presentan altas tasas de reproducción, diferentes tipos de diseminación y crecimiento rápido, lo cual favorece en gran medida la recuperación natural de esta zona, sin embargo esta ganancia en cobertura no representa una recuperación de elementos florísticos y funcionales de los ecosistemas (Gutiérrez et al., 2012, Gutiérrez et al., 2013). En ambos periodos en las zonas altas (Selva Nublada Montana Alta), se observan pérdidas fuertes en varios sectores del Parque Nacional Sierra de la Culata, donde el crecimiento demográfico y la agricultura han destrozado considerables superficies de selva nublada, acabando consigo gran cantidad de elementos epifitos, helechos, musgos y hepáticas, que son vitales en los ciclos hídricos, trayendo como consecuencia la modificación del paisaje, donde muchas áreas abiertas se encuentran dominadas por el helecho macho (*Pteridium arachnoideum*), y pastos africanos (e.g. *Pennisetum clandestinum*, *Melinis minutiflora*), además de otras herbáceas que en muchos de los casos se consideran malezas, que afectan seriamente funciones de estos ecosistemas (Ataroff y Rada 2000).

Agradecimientos. Los autores quieren agradecer el aporte económico dado por el Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Información. Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Información, de la República Bolivariana de Venezuela, a través del Proyecto P12-0558.

Referencias bibliográficas

- Achard, F., Beuchle, R., Mayaux, P., Stibig, H.-J., Bodart, C., Brink, A., Carboni, S., Desclée, B., Donnay, F., Eva, H.D., Lupi, A., Raši, R., Seliger, R., Simonetti, D. Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. *Global Change Biology*, v.20, n. 8, p. 2540-2554, 2014.
- Aide, T.M., Clark, M.L., Grau, H.R., López-Carr, D., Levy, M.A., Redo, D., Bonilla-Moheno, M., Riner, G., Andrade-Núñez, M.J., Muñoz, M. Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica*, v.45, n. 2, p. 262-271, 2013.
- Alvarado, J., Morales, A., Camargo, M. **Diagnóstico integral del Parque Nacional Sierra de La Culata en el Municipio Andrés Bello. Base fundamental para un plan de ordenamiento territorial**, 2009. Disponible en: egal2009.easyplanners.info/.../7537_Alvarado_Urbano_Javier_Enriq... Acceso en: 09. oct. 2014

- Asner, G., Rudel, T., Aide, T., Defries, R., Emerson, R. A contemporary assessment of change in humid tropical forests. **Conservation Biology**, v.23, n. 6, p. 1386-1395, 2009.
- Asner, G.P., Broadbent, E.N., Oliveira, P.J.C., Keller, M., Knapp, D.E., Silva, J.N.M. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.103, n. 34, p. 12947-12950, 2006.
- Asner, G.P., Knapp, D.E., Broadbent, E.N., Oliveira, P.J.C., Keller, M., Silva, J.N. Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v.310, n. 5747, p. 480-482, 2005.
- Ataroff, M., Rada, F. Deforestation impacts on water dynamics in a Venezuelan Andean cloud forest. **Ambio**, v.29, n. p. 440-444, 2000.
- Ataroff, M., Sarmiento, L. **Diversidad en los Andes de Venezuela. I mapa de unidades ecológicas del estado Mérida**. CD-ROM, Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes., 2003. p.
- Bastidas, R. **Nociones de Hidrografía**. Consejo de Publicaciones, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela: 2007. 145 p.
- Bins, S.A., Fonseca, L.M.G., Erthal, G.J., Li, M. **Satellite imagery segmentation: a region growing approach**. 1993. p. INPE, Salvador, Brazil. 1993.
- Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- Câmara, G., Valeriano, D., Soares, J. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. Brazil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. 13 p.
- Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, v.20, n. p. 37-46, 1960.
- Condesan. **20 años de Desarrollo Sostenible en los Andes - de Río 1992 al 2012 y hacia el futuro**. Devenish y Gianella (Editores) Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, 2012. p.
- Congalton, R. comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.54, n. 3, p. 593-600, 1988.
- Congalton, R., Green, K. **Assesing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices**. London, New York, CRC Press, : Taylor and Francis Group, 2009. p.
- Cuello-Alvarado, N.L. **Flora, vegetation and ecology in the Venezuelan Andes : a case study of Ramal de Guaramacal**. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam: 2010. p.
- Cuello, N., Cleef, A. Bosques de los Andes de Venezuela: caso el ramal de Guaramacal. **Biollania**, v.Edición Esp. 10, n. p. 74-105, 2011.
- Chuvieco, E. **Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio**. España: Editorial Ariel, S. A., 2008. 430 p.
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., Mayaux, P. Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n. 5, p. 1969-1981, 2008.
- Eva, H., Carboni, S., Achard, F., Stach, N., Durieux, L., Faure, J.-F., Mollicone, D. Monitoring forest areas from continental to territorial levels using a sample of medium spatial resolution satellite imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.65, n. 2, p. 191-197, 2010.
- Fao. **Global Forest Resources Assessment 2010. Main Report**. 2010. 378 p. Food and Agriculture Organization of the UN, Rome, Italy. 2010.
- Fsi. **State of Forest Report 2011**, Ministry of Environment and Forests, Government of India, 2013. Dehradun, India. Disponible en: www.fsi.com. Acceso en: 07 oct. 2014
- Gofc-Gold. **A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. GOFc-GOLD Report version COP19-1**. (GOFc-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands). : 2013. p.
- Gregory, P.A. Tropical forest carbon assessment: integrating satellite and airborne mapping approaches. **Environmental Research Letters**, v.4, n. 3, p. 034009, 2009.
- Gutiérrez B, N., Gärtner, S., López H, J., Pacheco, C., Reif, A. The recovery of the lower montane cloud forest in the Mucujún watershed, Mérida, Venezuela. **Regional Environmental Change**, v.13, n. 5, p. 1069-1085, 2013.
- Gutiérrez, N., Gärtner, S., Gaviria, J.C., Meier, W., Reif, A. Successional vegetation patterns in abandoned pastures of the lower montane cloud forest zone in the Venezuelan Andes. **Phytocoenologia** v.3-4, n. p. 101-132, 2012.
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v.342, n. 6160, p. 850-853, 2013.

- Harris, N.L., Brown, S., Hagen, S.C., Saatchi, S.S., Petrova, S., Salas, W., Hansen, M.C., Potapov, P.V., Lutsch, A. Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. **Science**, v.336, n. 6088, p. 1573-1576, 2012.
- Inpe-Funcate. **TerraAmazon 4.4 User's Guide Administrator**. INPE FUNCATE 2013. 156 p.
- Ippc. **Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático**. 2007. 104 p. Ginebra, Suiza. 2007.
- Jensen, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall., 2005. 323 p.
- Landis, J.R., Koch, G.G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v.33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- Londoño, A. **Análisis de la Deforestación en la Cuenca del Río Capaz bases para el establecimiento de una potencial estrategia REDD+**. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. , 2013. p.
- Mather, P., Koch, M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**. West Sussex, PO19 8SQ, UK: Wiley-Blackwell is, 2011. 434 p.
- Olaya, V. **Sistemas de Información Geográfica**. España: <http://www.sextantegis.com>, 2011. 883 p.
- Ovalles, Y., Mendez, E. **Ordenación y Desarrollo de Cuencas hidrográficas**. Vicerrectorado Administrativo. Mérida – Venezuela., 2011. 155 p.
- Pacheco, C., Aguado, I., Mollicone, D. Dinámica de la deforestación en Venezuela: análisis de los cambios a partir de mapas históricos. **Interciencia**, v.36, n. 8, p. 578-586, 2011.
- Pacheco, C., Aguado, I., Mollicone, D. Identification and characterization of deforestation hot spots in Venezuela using MODIS satellite images. **Acta Amazonica**, v.44, n. 2, p. 185-196, 2014.
- Pnud. **Conservación de la Biodiversidad en el paisaje productivo de los Andes venezolanos**, 2008. Disponible en: www.pnud.org.ve/component/option.com_docman/.../Itemid.81/. Acceso en: 09. nov. 2014
- Portillo-Quintero, C.A., Sanchez, A.M., Valbuena, C.A., Gonzalez, Y.Y., Larreal, J.T. Forest cover and deforestation patterns in the Northern Andes (Lake Maracaibo Basin): A synoptic assessment using MODIS and Landsat imagery. **Applied Geography**, v.35, n. 1–2, p. 152-163, 2012.
- Ramankutty, N., Graumlich, L., Achard, F., Alves, D., Chhabra, A., Defries, R.S., Foley, J.A., Gesit, H., Houghton, R.A., Klein Goldewijk, K., Lambin, E.F., Millington, A., Rasmussen, K., Reid, R.S., Turner, B.L. Global land-cover change: recent progress, remaining challenges, In: E. F. Lambin and H. Geist. **Land-Use and Land-Cover Change** Berlín. Springer. 2006. cap p. 9 - 40.
- Rnv. **Tasa de deforestación se reduce en un 47 por ciento gracias a Misión Árbol**, Ministro del Poder Popular para el Ambiente, 2013. Disponible en: <http://www.rnv.gob.ve/index.php/tasa-de-deforestacion-se-redujo-en-un-47-por-ciento-gracias-a-mision-arbol>. Acceso en: 07 oct. 2014
- Rodríguez, J.P., Rojas-Suárez, F., Giraldo-Hernández, D. **Libro rojo de ecosistemas terrestres de Venezuela**. Caracas Venezuela: Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela): 2010. p.
- Romijn, E., Herold, M., Kooistra, L., Murdiyarsa, D., Verchot, L. Assessing capacities of non-Annex I countries for national forest monitoring in the context of REDD+. **Environmental Science & Policy**, v.19–20, n. 0, p. 33-48, 2012.
- Rosenfield, G.H., Fitzpatrick-Lins, A. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, n. p. 223-227, 1986.
- Shimabukuro, Y.E., Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v.29, n. 1, p. 16-20, 1991.
- Terraamazon. **Monitoring System of Deforestation in the Amazon**, 2005. Disponible en: <http://terraamazon.org/>. Acceso en: 09 oct. 2014
- Unfccc. **COP-7: The Marrakech accords**. 2001. 245 p. Bonn, Germany. 2001.
- Zambrano, Z., González, J., Guerra, F., Gómez, H. Reducción de bosques caso: margen derecha de la cuenca del río Torbes, edo. Táchira. Venezuela. **Geenseñanza**, v.15, n. p. 2010.