

Cambio de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca El Valle, estado Táchira-Venezuela. Períodos: 1991-2003 y 2003-2013

*Coverage and land use change, El Valle river watershed,
Táchira State Venezuela. Periods: 1991-2003 and 2003-2013*

SIMÓN HOYO¹,
CARLOS PACHECO²,
LISSETTE BUSTILLO³
y ROBERTO LÓPEZ⁴

Recibido: 22-07-13 / Aceptado: 16-11-13

- 1 Programa Nacional Ingeniería en Agroalimentación, Universidad Politécnica Territorial de Mérida, Mérida, Venezuela, correo electrónico: shoyos@fa.luz.edu.ve
- 2 Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, correo electrónico: carlosa@ula.ve
- 3 Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, correo electrónico: lbustillo@fa.luz.edu.ve
- 4 Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, correo electrónico: rlopez@ula.ve

Resumen

El objetivo de esta investigación es realizar una descripción de los cambios de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca El Valle del estado Táchira, durante los periodos 1991-2003 y 2003-2013. Mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Selva se efectuaron interpretaciones visuales en pantalla de imágenes satelitales, para generar mapas de cobertura y uso para 1991, 2003 y 2013, estos fueron auditados para verificar su calidad y valorar el grado de fiabilidad. Para el análisis de las ganancias, pérdidas, cambio total, cambio neto e intercambio de las diferentes categorías se construyó una matriz de cambio. Asimismo, se estimaron los índices de persistencia en relación a ganancia (Gp), pérdida (Lp) y cambio neto (np). Los resultados indican que los errores de comisión y omisión fueron menores al 50%, presentando los valores más altos las categorías de cultivo, matorral, y pasto no manejado. El cambio total para 1991-2003 y 2003-2013 fue del 61,67% y 68,99%, el cambio neto de 13,74% y 17,76% y el intercambio de 47,93% y 51,23% respectivamente. Para el primer y segundo periodo, la Gp de área erosionada, cultivo, matorral y urbano procuraron a ganar más que a persistir, la Lp revela que cultivo y área erosionada tendieron a perder más que a persistir y el np muestra que bosque, pasto no manejado y área erosionada su tendencia fue a perder más que a ganar. La deforestación media anual fue de 24,61 ha y 70,87 ha y su tasa de 0,46% y 1,39% para cada periodo.

Palabras clave: microcuenca, cambio de cobertura y uso, uso de la tierra, Landsat, SIG.

Abstract

The objective of this research is to make a description of coverage and land use changes in *El Valle* river watershed, Táchira State, Venezuela during 1991-2003 and 2003-2013 periods. Visual interpretations on Landsat display images were performed in order to generate, thematic maps of land coverage and use for the years 1991, 2003 and 2013 through a Geographic Information System (GIS) Idrisi Selva; these products were audited to verify their quality and assess the degree of reliability. A matrix of changes was built for the analysis of profits, losses, total change, net change and exchange of the different categories. Also, the indexes of persistence in relation to gain (Gp), loss (Lp) and net change (np) were estimated. The results indicate that errors of commission and omission were lower than 50%; being the highest values presented by the categories of crop, scrub, and not managed pasture areas. Total change for 1991-2003 and 2003-2013 resulted to be 61.67% and 68.99%, 13.74% and 17.76% net change and exchange of 47.93% and 51.23% respectively. For the first and second periods, the Gp of eroded, crop, scrub and urban areas were attempted to win rather than persist, the Lp reveals that areas with crop and the eroded ones tended to lose rather than persist; and the np shows that for the forest, not managed pasture and eroded areas, the tendency was to lose rather than win. The annual average deforestation was - 24.61 ha and -70.87 ha, at a rate of 0.46% and 1.39% for each period.

Key words: watershed, land change of coverage and use, land use, Landsat, GIS.

1. Introducción

Con la revolución industrial, la interacción sociedad-naturaleza experimentó transformaciones de alcance mundial que han conllevado actualmente a una crisis ambiental, tales alteraciones se relacionan con las características intrínsecas del sistema económico predominante de cada país (Foladori y Pierri, 2005). Es por ello, que las relaciones, hombre medio ambiente o entre el ambiente y los procesos vinculados a la economía social, se cristalizan como transformaciones en la cobertura y uso de la tierra (Lambin, 1997; Vaitkus y Vaitkuvienė, 2005; Chen y Yang, 2008).

En este contexto, la agricultura como actividad económica predominante constituye la fuerza principal que originan los Cambios de Cobertura y Uso de la Tierra (Ccut) (Geist y Lambin, 2004). Esta actividad primaria, asociada a otros factores como el crecimiento demográfico, la tecnología, políticas institucionales, condiciones de mercado y los flujos migratorios de la población causan la transformación y fragmentación de los ecosistemas originarios (Lambin *et al.*, 2001; Kaimowitz y Smith, 2001; Lambin *et al.*, 2003; Lambin y Meyfroidt, 2010; Meyfroidt *et al.*, 2010; Pacheco *et al.*, 2011a).

La magnitud de estos cambios y sus impactos en los ecosistemas, es limitada por las condiciones físico-naturales, lo cual genera que el crecimiento de la frontera agrícola se concentren en los espacios geográficos que presenten las mejores condiciones (Bürgel *et al.*, 2004; Martens y Lambin, 2000). Esta dinámica socio territorial originan cambios que comprometen la permanencia, afectan la disponibilidad y calidad de los recursos naturales; así como los servicios de los ecosistemas que garantizan el equilibrio ecológico a nivel local, nacional, regional y global (Wu y Hobbs, 2002; Schütz *et al.*; 2010).

Uno de los ecosistemas más afectados por los Ccuta nivel mundial, ha sido el bosque, su variación anual en América latina y el Caribe durante el período 2005-2010, alcanzó una pérdida de 3,9 millones ha/año. Las causas fundamentales son las políticas de desarrollo y transformación de tierras con bosques para la agricultura, la sobre explotación para fines industriales, extracción de leña y los incendios forestales (FAO, 2010).

En este sentido, la actividad agrícola utiliza el 11 por ciento de la superficie terrestre del mun-

do para la producción (FAO, 2011). Según el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Fmam), en el año 2000, las estimaciones mundiales de las tierras de cultivo llegaban a 15 millones de km² y las de los pastizales a 28 millones de km². Entre 10.000 km² y 20.000 km² tierras de cultivo por año han sido transformadas en áreas urbanas en países en desarrollo en su mayor parte tierras agrícolas de excelente calidad (Fmam, 2012). Asimismo, las zonas urbanas aunque dominan hoy día tan sólo el 2% aproximadamente de la superficie de la tierra, sus consecuencias en la transformación del ambiente son significativos a escala local, regional y global (Gómez y Barredo 2005; OSE, 2006).

El crecimiento urbano es uno de los eventos que ha intervenido de manera determinante en los cambios de usos de la tierra observados en las últimas décadas en todo el mundo (Gómez y Barredo 2005, OSE, 2006). En América Latina, se ha originado importantes Ccut a causa del incremento de la producción agropecuaria, entre la que se destaca el pastoreo de ganado ovino y caprino. A pesar de las innovaciones tecnológicas para intensificar la agricultura y la ganadería, el incremento de estas actividades continúa afectando directamente a los bosques naturales (FAO, 2006) y otras coberturas vegetales.

En lo que respecta a Venezuela, específicamente la región de Los Andes existen numerosas e importantes cuencas, subcuencas y microcuencas que han sido y están siendo sometidas a una fuerte intervención y expansión de la frontera agrícola hacia áreas de bosques primarios en laderas y en las márgenes de los ríos, causando alteraciones significativas en los ecosistemas de alta montaña debido a fuertes presiones por demanda de agua para riego de cultivos y por la ocupación de espacios con limitaciones ambientales (Briceño, 2003; Valero y Castellano, 2010).

En este sentido tales alteraciones, por un lado, son el resultado de la dinámica del escenario físico-natural de las cuencas, ya que constituye el subsistema de oferta y fuente de recursos naturales, y por el otro, integran las fuerzas impulsoras de amenazas naturales que intervienen en el desarrollo del espacio socio territorial (Ovalles *et al.*, 2012).

Por esta razón los Ccut, se han reconocido en distintos países como una de las principales causas de deterioro ambiental, ubicándose en el centro de la investigación ambiental, con la finalidad de

tener una percepción general de la ocupación del territorio, la condición del patrimonio natural, los procesos de degradación y el impacto que genera en la población (Juárez, 2011).

Por otro lado, es fundamental aclarar el concepto de cobertura de la tierra ya que es común relacionarla con uso de la tierra. En este sentido, cuando se evalúan los Ccut se hace indispensable hacer referencia a estas definiciones. De acuerdo a la FAO (2005), “*la cobertura de la tierra (land), es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la Tierra (Earth)*”, asimismo, el uso de tierra está caracterizado por “*los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla*”. Este último concepto establece un enlace directo entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente.

Para estudiar las tendencias y la evolución de los Ccut, existen diversas herramientas entre las que se destaca las Tecnologías de Información Geográfica (TIG), a través de la sobreposición de documentos cartográficos o de datos de sensores remotos para la producción de mapas y tablas de cambios que ofrecen identificación de la magnitud y distribución espacial del proceso de cambio en un periodo determinado (Pontius *et al.*, 2004; Braimoh, 2006; Pineda, 2010).

En Venezuela el uso de las TIG para describir los Ccut han permitido evaluar el impacto de este fenómeno socioterritorial en espacios con alta fragilidad ambiental de la región de los Andes y sus alrededores. Al respecto, se pueden señalar algunos de los estudios realizados: en todo el territorio nacional para el periodo 1920-2008 (Pacheco *et al.*, 2011b); en la cuenca del Lago de Maracaibo para el periodo 2000-2010 (Portillo *et al.*, 2012); en las microcuencas Burbusay y La Miquía, subcuenca del río Carache, cuenca del río Motatán, estado Trujillo para el periodo 1967-1997 (Pacheco, 1999); en la cuenca del río Mucujún, estado Mérida (Gutiérrez, 1999; Gutiérrez *et al.*, 2013); en el Valle del río Momboy y el río Castán, estado Trujillo (Briceño, 2003; Valero y Castellano, 2010); en el Ramal de Calderas, en la Cordillera de Mérida (Ramírez, 2007); y en el Parque Nacional Sierra de la Culata, estado Mérida (Aldana y Bosque, 2008).

Bajo este escenario, la descripción de los Ccut a partir de los mapas de cobertura y uso de la tierra para los años 1991, 2003 y 2013 en la microcuenca

río El Valle, estado Táchira, permitió generar tres mapas mediante la interpretación visual de imágenes Landsat TM y ETM+. Con el cruce de los mapas respectivos se crearon dos escenarios de cambios 1991-2003 y 2003-2013, que permitieron describir la dinámica Ccut mediante la construcción de dos matrices utilizando el módulo Land Change Modeler (LCM) disponible en Idrisi Selva (Eastman, 2009). Para distinguir mejor el proceso de cambios se usó la metodología desarrollada por Pontius (2004), obteniendo de forma cuantitativa ganancias, pérdidas, cambio total, cambio neto e intercambios. De igual manera, se estimaron los índices de persistencia de Braimoh (2006) en relación a las ganancias, pérdidas y el cambio neto. Asimismo, y se realizó un análisis de la deforestación en función de la tasa media anual, según lo planteado por Sader y Armond (1988). Este análisis junto con otras investigaciones que aborden el estudio de las condiciones sociales, económico-productivas y político-institucionales constituye la base fundamental para explicar su asociación con la dinámica del fenómeno investigado.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La microcuenca río El Valle, está ubicada en la cuenca alta del río Grita de la Cordillera Andina en la región noreste del estado Táchira. Se localiza entre los 07° 58' 05" y 8° 09' 30" de latitud Norte y los 72° 01' 45" y 72° 05' 00" de longitud Oeste. Perteneciente al municipio José María Vargas y Jáuregui. Abarca una superficie de 9.389 ha lo cual corresponde a un 27,63 % del área total de la cuenca alta del río Grita (Pacheco *et al.*, 2006), (Figura 1).

2.2 Materiales

Para elaborar la cartografía básica necesaria, interpretar las imágenes satelitales, describir los cambios y luego caracterizarlos, se utilizaron las hojas cartográficas 5739-I-NE, 5740-II-NE y 5740-II-SE a escala 1:25.000, del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (Igvsb). Asimismo, las imágenes satelitales LT50070541991075C-PE00, LE70070542003004AGS00 y LE70070542013047EDC00 de los sensores TM y ETM+ de

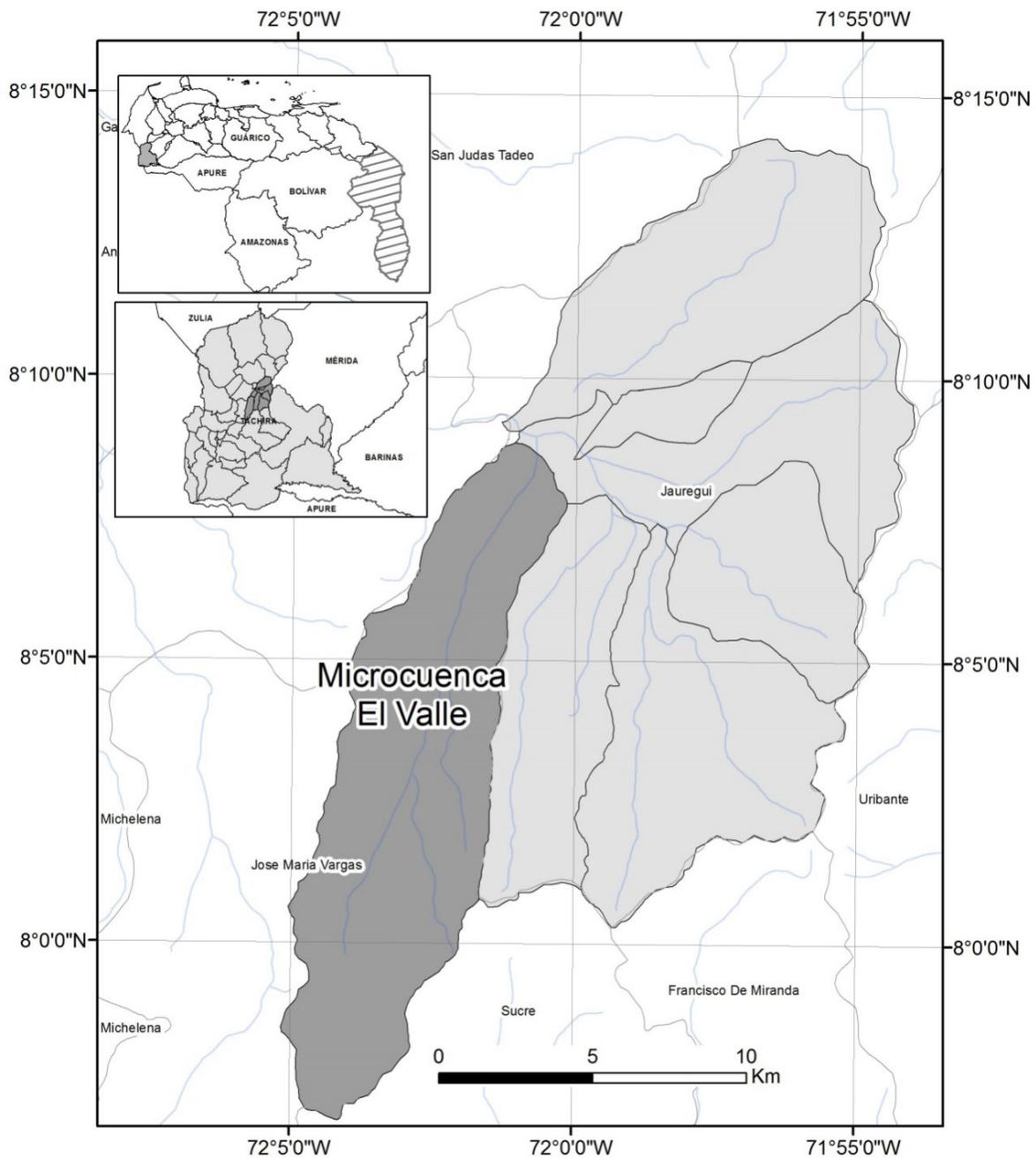


Figura 1. Ubicación relativa nacional y regional del área de estudio.

Landsat, obtenidas de la colección del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Usgs, <http://glovis.usgs.gov/>), estas imágenes poseen un nivel de corrección radiométrico y geométrico L1T suficiente para la generación de los mapas y su posterior detección de cambios. También, se emplearon de manera auxiliar: dos imágenes del satélite Miranda de 2013, una multispectral de 10 m (VRSS-

1_MSS-1_0174_0177_20130108_L2B_0130112460) y una pancromática de 2,5 m (VRSS-1_PAN-1_0174_0177_20130108_L2B_0130110140), estas proceden de la colección de la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (Abae, <http://www.abae.gob.ve/>); de igual manera una imagen del satélite RapidEye ubicada en Google Earth.

2.3 Métodos

La metodología generada en la presente investigación consta de tres partes. La primera parte, se enfocó en la elaboración de los mapas de cobertura y uso de la tierra de los años 1991, 2003 y 2013; la segunda parte, se concentró en la validación de dichos mapas; y en la tercera parte, se realizó el análisis de la dinámica de los cambios.

2.3.1 Elaboración de los mapas de cobertura y uso de la tierra de 1991, 2003 y 2013

Para la elaboración de los mapas temáticos, se seleccionaron tres imágenes que abarcaron aproximadamente una década entre cada una, estas fueron tomadas dentro del periodo de sequía (noviembre-abril) para garantizar la mínima cobertura de nubes y de sombra de nubes. La primera fue adquirida el 16 de marzo de 1991, la segunda el 04 de enero de 2003 y la tercera el 16 de febrero de 2013 (Pacheco *et al.*, 2012). Luego, se generaron las composiciones respectivas para obtener las imágenes a falso color más adecuadas, para aplicar los criterios de interpretación visual en pantalla. Para ello, se generó composiciones con las bandas que resalten y contrasten las diferentes coberturas vegetales y uso de la tierra. En este sentido, se aplicó la composición 453 recomendada por Jensen (2005), Chuvieco (2008) y Mather y Koch (2011), para los estudios de vegetación mediante imágenes de los sensores TM y ETM+ de Landsat.

Una vez generada las composiciones a falso color, se les aplicó un ajuste de contraste para expandir el histograma de cada banda y así lograr una mejor visualización. La técnica empleada fue la Expansión Lineal que consistió en diseñar una tabla de referencia de colores en la que el valor mínimo y máximo de los Niveles Digitales de la imagen se asociaron linealmente con el Nivel Visual de la pantalla de 0 y 255 (Richards, 1999; Lillesand y Kiefer, 2000; Jensen, 2005; Chuvieco, 2008; Mather y Koch, 2011).

Posteriormente, con la finalidad de obtener información base en formato vectorial, se configuró un mosaico digital con las hojas cartográficas a escala 1:25.000, mediante el proceso de georreferenciación de dichas cartas. Luego, se obtuvo información de la divisoria de la cuenca, la red de drenaje, la vialidad y las curvas de nivel, a través de la digitalización visual en pantalla (Pacheco *et al.*, 2007).

Por otro lado, se preparó una imagen-mapa, mediante un diseño cartográfico, colocando la imagen del 2013 como fondo y sobre esta la información digitalizada anteriormente. Luego se le colocó la retícula UTM con sus respectivas coordenadas, el nombre de la cuenca y la información marginal. Este diseño se realizó a escala 1:25.000, para imprimirlo y plastificarlo en una hoja bond de 90 cm por 60 cm, y luego sobre este realizar la interpretación en campo.

Con relación a la definición de las categorías, existen diversas clasificaciones entre las cuales se encuentran el de la FAO y el Sistema de Clasificación de Uso de la Tierra propuesto por la Unión Geográfica Internacional (UGI) que se distinguen principalmente por su enfoque, parámetros y criterios para la determinación de las clases. En este sentido, para definir las categorías de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca río El Valle, se asumió de manera preliminar las categorías establecidas por Pacheco *et al.* (2006) fundamentadas en el sistema UGI para la cuenca alta del río Grita.

Por otro lado, una vez imprimida la imagen-mapa y definida la leyenda preliminar, se procedió a realizar una salida de campo para generar la interpretación visual sobre dicho documento cartográfico. Para esto se utilizó un Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS), con el cual se obtuvieron las coordenadas, estas se ubicaron en la imagen-mapa para interpretar las coberturas de vegetación y uso de la tierra, considerando para ello las respuestas espectrales que fueron registradas en la imagen-mapa y las observaciones realizadas en el terreno. El resultado de esta interpretación se le asignó una categoría, de acuerdo con la leyenda preliminar y a lo observado en el terreno.

Luego, se redefinieron las categorías asumidas preliminarmente que permitieron generar categorías únicas en cada polígono, es decir, no se obtuvieron polígonos con más de una categorías. Esto se realizó con la finalidad de facilitar el sucesivo análisis de cambios entre los periodos evaluados. El resultado de dicha redefinición resultó en nueve categorías (Cuadro 1). En este sentido, el enfoque de esta nueva clasificación, tiene su fundamento por un lado, la existencia de una definición previa (visión preliminar de las coberturas vegetales y uso de la tierra) y por el otro, las categorías definitivas fueron agrupadas con base en las observaciones recolectadas en el área de estudio. De esta

Cuadro 1. Categorías de cobertura vegetal y uso de la tierra.

Categorías		Descripción
Área erosionada	Aero	Comprende superficies mayores a 1 hectárea con evidencias claras de procesos erosivos producto de movimientos de masas.
Bosque nativo	B	Formaciones vegetales que ocupan una superficie mínima de 1 hectárea, con una cobertura mínima de copa de 10 % y un potencial de alcanzar una altura mínima de madurez in situ de 5 metros.
Cultivo	C	Áreas destinadas a cultivos de ciclo corto y floricultura bajo un uso intensivo del suelo. Las zonas con cultivo se consideraron siempre en explotación bajo riego. Localizadas en las vertientes, fondo de valle, terrazas y conos de deyección.
Herbazal de páramo	Herb p	Formación autóctona clima predominantemente herbáceo.
Matorral	M	Formaciones de vegetación natural o autóctona leñosa y semileñosa que en algunos casos cubre casi la totalidad del suelo, con alturas menores 5 metros.
Pasto manejado	Pm	Aquellos pastizales manejados a los cuales se les realizan rotación de potreros, fertilización y riego.
Pasto no manejado	Pnm	Se consideraron los pastizales formados a través de procesos de sucesión vegetal.
Uso urbano	Urb	Comprende asentamiento humano de manera concentrada y lineal en el fondo de valle fuera de la poligonal urbana.
Vegetación xerofítica	Vxero	Aquellas colonias de vegetación xerofítica, dominada por cactáceas columnares y arbustos ralos espinosos, de 1 - 4 m de alto.

manera, las categorías obtenidas se constituyeron en un sistema de clasificación a posteriori de formato básico no jerárquico, que permitió examinar la descripción de los cambios de Ccut.

Subsiguientemente, para realizar la interpretación visual en pantalla, se estableció un área mínima cartografiable de 1 ha, luego con las categorías definitivas y la interpretación realizada en el campo, se emplearon los criterios de interpretación visual establecido por Chuvieco (2008), referidos al brillo, el color, la textura, la forma-tamaño, las sombras y el patrón espacial. Adicionalmente, se empleó las imágenes multispectral y pancromática del satélite Miranda y la imagen RapidEye que se encuentra en Google Earth. Luego, con base al conocimiento adquirido en la interpretación de la imagen del 2013, se procedió a interpretar las imágenes de los años 2003 y 1991.

Una vez realizada la interpretación visual en pantalla de la imagen de 2013, se imprimió a escala 1:25.000, con el cual realizó un nuevo chequeo para cotejar las categorías interpretadas y examinar las superficies que presentaban imprecisiones respecto a su codificación. Finalmente, con base en la verificación de campo, se realizó en la oficina la edición final de la interpretación de las imágenes,

esta consistió en la reconstrucción de los polígonos y en la codificación definitiva de los mismos. Todo este procedimiento metodológico se desarrolló en Idrisi Selva.

2.3.2 Validación de los mapas

Para conocer la calidad de los mapas generados, se realizó la validación mediante la valoración del grado fiabilidad de acuerdo con los escenarios interpretados. En este sentido, Chuvieco (2008) y Congalton y Green (2009), sugieren comparar los resultados con una fuente externa que refleje verdaderamente la realidad manifestada en el terreno. En este sentido, como evidentemente no es posible tener en forma general toda la información del área de estudio, el procedimiento de validación se realizó mediante la selección aleatoria de puntos de verdad-terreno (50 puntos) en cada categoría, estos se obtuvieron sobre las mismas imágenes utilizadas para la construcción de los mapas, para ello se necesitó la ayuda de un experto externo que no participó en el proceso de elaboración de los mapas (Congalton, 1998).

Posteriormente, con las muestras de verdad-terreno se construyeron las matrices de confusión, las cuales, por un lado, permitieron determinar el

porcentaje de acuerdo y desacuerdo de cada una de las categorías, y por otro lado, permitieron calcular los errores de comisión (usuario) y de omisión (productor), así como la precisión global. De igual manera, se calculó el Coeficiente Kappa (Cohen, 1960) para medir la precisión o acuerdo basado en la diferencia entre el error de la matriz y acuerdo en los cambios (Ecuación 1):

$$K = \frac{n \sum_i = 1. nX_{jj} - \sum_i = i. nX_{ii} + X_{+i}}{n^2 - \sum_i = i. nX_{ii} + X_{+i}} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

n = número total de casos

X_{ij} = acuerdo observado

X_{i+} y X_{+i} = marginales de cada categoría.

2.3.3 Análisis de la dinámica de los cambios

Los mapas vectoriales obtenidos para cada periodo se transformaron a formato raster, utilizando una resolución del píxel de 30 m por cada lado. Posteriormente se utilizó el módulo Land Change Modeler (LCM) disponible en IdrisiSelva (Eastman, 2009), para generar dos matrices de cambios mediante el cruce de mapas o crosstab, la primera con los mapas de 1991 y 2003 y la segunda con los mapas 2003 y 2013, como resultados se obtuvieron las superficies y la localización de los cambios.

Para comprender mejor la dinámica espacial y temporal del Ccut, se utilizó la metodología propuesta por Pontius *et al.* (2004), dicha metodología se fundamenta en los resultados de las superficie de las matrices de cambios de los periodos 1991-2003 y 2003-2013, con los cuales se calcularon las pérdidas, ganancias, cambio total, cambios netos e intercambios entre las distintas categorías. La estimación está dada por las siguientes ecuaciones:

2.3.3.1 Cálculo de las ganancias (G_{ij}) y pérdidas (L_{ij})

Las matrices t_1-t_2 y t_2-t_3 contienen las superficies de las categorías. En ambos casos, las columnas de pérdidas refleja la superficie de cada una de las categorías i que sufrieron pérdidas entre 1991-2003 y 2003-2013, es decir, es la diferencia entre la fila del total del año 1991 o 2003 (P_{i+}) y la persistencia (P_{jj}) (Ecuación 2).

$$L_{ij} = P_{i+} - P_{jj} \quad (\text{Ec. 2})$$

Por otro lado, las filas de ganancias presentan las superficies de cada una de las categorías j que tuvieron ganancias entre 1991-2003 y 2003-2013, es decir, es la diferencia entre la columna del total del año 2003 o 2013 (P_{+j}) y la persistencia (P_{jj}) (Ecuación 3).

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj} \quad (\text{Ec. 3})$$

2.3.3.2 Cálculo del cambio neto (D_j)

El cambio neto se define como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría (Ecuación 4).

$$D_j = |L_{ij} - G_{ij}| \quad (\text{Ec. 4})$$

2.3.3.3 Cálculo del intercambio (S_j)

El concepto de intercambio involucra pérdidas y ganancias al mismo tiempo de una categoría sobre el territorio, para su cálculo se precisa que por cada píxel que se pierde debe haber otro que se gane para compensar y así crear un par de píxeles de intercambio (Braimoh, 2006).

El intercambio entre categorías (S_j) se calcula como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas (Ecuación 5).

$$S_j = 2 * \min(P_{+j} - P_{jj}; P_{+j} - P_{jj}) \quad (\text{Ec. 5})$$

2.3.3.4 Cálculo del cambio total (C_j)

El cálculo del cambio total para cada categoría (C_j) se precisa como la suma del cambio neto (D_j) y el intercambio (S_j), o también como la suma de las ganancias y las pérdidas (Ecuación 6).

$$C_j = D_j + S_j \quad (\text{Ec. 6})$$

2.3.3.5 Cálculo de los índices de persistencia

Los índices de persistencia formulados por Braimoh (2006), permitieron evaluar las características de las áreas estables con respecto a las ganancias, pérdidas y cambios netos. El índice de ganancia a persistencia se determina como $G_p = G_{ij}/P_{jj}$. De igual manera, el índice de pérdidas a persistencia es calculado como $L_p = L_{ij}/G_{jj}$ y el cambio neto a persistencia es calculado como $np = G_p/L_p$.

Los valores de los cocientes mayores a 1 indican que una categoría tiene una tendencia alta a presentar una transición hacia otra categoría más que a persistir.

2.3.3.6 Cálculo de la tasa de deforestación

El proceso de deforestación es definido por la FAO como “el cambio de uso de la tierra, que implica disminuir la cubierta de copa de los árboles a menos de un diez por ciento” (FAO, 1993). En este sentido, la deforestación se cuantificó y analizó mediante la tasa media anual de pérdida de bosque planteada por Sader y Armond (1988), (Ecuación 7):

$$D = \frac{Ab_1 - Ab_2}{Ab_1 * N} * 100 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

D = deforestación

Ab_1 = área de bosque para el periodo 1

Ab_2 = área de bosque para el periodo 2

N = número de años considerados en cada periodo

3. Resultados y discusión

3.1 Mapas de cobertura y uso de la tierra 1991, 2003 y 2013

En la microcuenca del río El Valle la categoría bosque fue la que ocupó mayor porcentaje de cubrimiento en las tres fechas evaluadas (Cuadro 2), el mismo se delineó a lo largo de las vertientes derecha e izquierda; seguidamente se ubican los pastos

no manejados, que se localizaron a la margen izquierda del río en las zonas de máximas pendientes y de solana; luego les siguen los cultivos, interpretados en el fondo de valle a las márgenes del río principal y en ambas vertientes. Posteriormente, continúa el herbazal de páramo, localizado en la cabecera de la microcuenca en las áreas de máxima cota; la vegetación xerofítica, en el cierre de la microcuenca; el uso urbano, ubicado en el centro de la microcuenca; el área erosionada, en las tres fechas se delimitó cerca de la cabecera de la microcuenca en el sector el Playón, sin embargo en la última fecha, adicionalmente se presentó en el cierre de la cuenca, debido a la vaguada del 2010; los pastos manejados, se ubicaron puntualmente en el centro de la microcuenca en el sector Santa Ana; y los matorrales, se localizaron principalmente en la margen derecha de la cuenca, zona de umbría (Figura 2).

3.2 Validación de los mapas 1991, 2003 y 2013

Los resultados de la matriz de confusión para los mapas generados indican que los acordes obtenidos en las distintas categorías oscilan entre 61,54% y 100%. En este sentido, las categorías que presentaron acordes superiores al 90% en los tres mapas fueron el área erosionada, el bosque y vegetación

Cuadro 2. Superficies de las categorías interpretadas en 1991, 2003 y 2013.

Categoría	1991		2003		2013	
	ha	%	ha	%	ha	%
Aero	5,91	0,06	13,23	0,14	25,83	0,28
B	5.387,48	57,38	5.092,20	54,23	4.383,54	46,68
C	1.042,91	11,11	1.165,68	12,41	1.461,69	15,57
Herb p	381,81	4,07	595,08	6,34	563,49	6,00
M	183,76	1,96	449,19	4,78	651,24	6,94
Pm	16,06	0,17	18,72	0,20	11,16	0,12
Pnm	2.045,30	21,78	1.698,21	18,09	1.902,60	20,26
Urb	33,50	0,36	37,98	0,40	86,49	0,92
Vxero	293,15	3,12	319,59	3,40	303,84	3,24
Total	9.389,88	100,00	9.389,88	100,00	9.389,88	100,00

Categorías: **Aero**: área erosionada, **B**: bosque, **C**: Cultivo, **Herb p**: herbazal de páramo, **M**: matorral, **Pm**: pasto manejado, **Pnm**: pasto no manejado, **Urb**: uso urbano, **Vxero**: vegetación xerofítica.

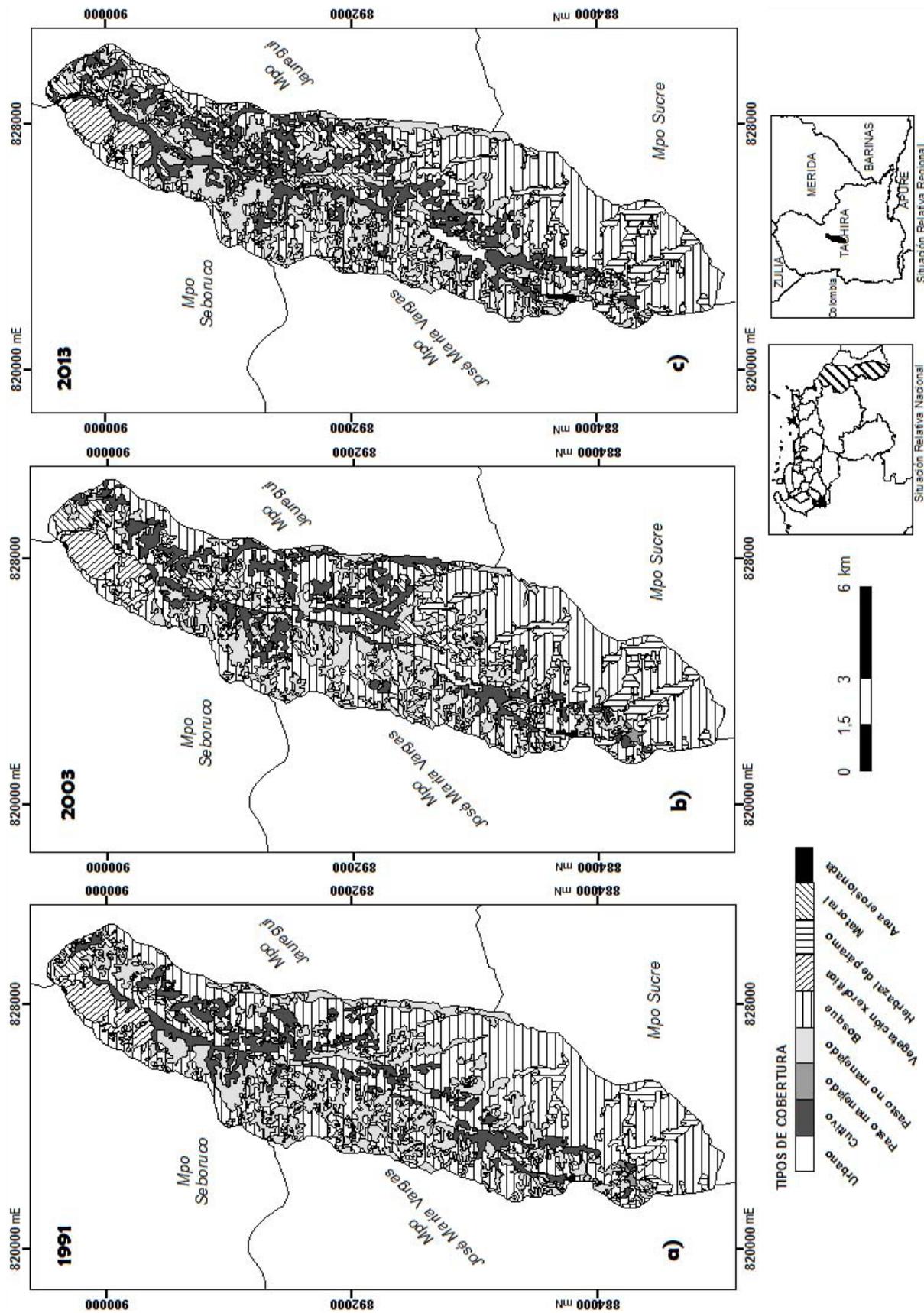


Figura 2. Mapas de cobertura y uso de la tierra microcuenca río El Valle. (a) 1991, (b) 2003 y (c) 2013.

xerofítica. Tanto el área erosionada como el bosque presentaron confusión con el cultivo, adicionalmente el bosque con el pasto no manejado, herbazal de páramo y matorral; mientras la vegetación xerofítica con el pasto no manejado, área erosionada y bosque. Después de estas categorías, se pueden ubicar al pasto no manejado, el uso urbano y el pasto manejado, las tres ostentaron una confusión con el cultivo; pero además, el pasto no manejado y el pasto manejado con el bosque; el pasto no manejado con el matorral y el pasto manejado con el pasto no manejado. Por último, se hallan las categorías herbazal de páramo, cultivo y matorral, que presentaron los menores porcentajes de acordes, estos fueron mejorando con los mapas de fechas más recientes, es decir, que los acordes del mapa del 2013, fueron mejor que los del 2003, y este a su vez que el del 1991. Las confusiones principales de estas categorías se registraron con el pasto no manejado y el cultivo (Cuadro 3).

Con respecto a los errores de omisión y comisión, los mapas de la microcuenca río El Valle, revelan que los errores tanto de comisión como de omisión se ubicaron por debajo del 40%. En tal sentido, las categorías que presentaron los mayores errores fueron cultivo, pasto no manejado, matorral y herbazal de páramo. El cultivo por ejemplo, presentó los errores más elevados en el mapa de 1991, siendo el error del productor (omisión) de 38,46% mientras que el del usuario (comisión) de 33,33%, seguido del mapa de 2003 donde el error del usuario (27,59%) fue mayor que el del productor (22,22%) y del mapa de 2013 donde el error del productor (14,00%) fue superior al del usuario (8,51%). Caso contrario a estas categorías el uso urbano, la vegetación xerofítica, el área erosionada y el bosque, fueron las que presentaron menores errores. Por ejemplo, en la categoría áreas erosionadas para el mapa de 1991 no arrojaron errores, mientras que para el 2003 el único error fue el del usuario con 7,69% y para el mapa de 2003 el del productor con 6,67% (Figura 3).

Por su parte la precisión global de los mapas de la microcuenca río El Valle para las fechas 1991, 2003 y 2013, fueron de 80,12%, 87,11% y 84,57% respectivamente, estos resultados se consideran aceptable ya que se encuentran dentro de los límites 80%-95%, que establecieron los científicos para la elaboración de los mapas de cobertura del suelo (Gofc-Gold, 2013). Por otro lado, el coeficiente Ka-

ppa para el mapa de 1991 fue de 0,7559, para el de 2003 de 0,8477 y para el de 2013 de 0,7559, el resultado de estos coeficientes según lo establecido por Landis y Koch (1977), refleja que los mapas de 1991 y 2013 poseen un nivel de acuerdo sustancial, mientras que el mapa de 2003 posee un nivel de acuerdo casi perfecto.

3.3 Análisis de la dinámica de los cambios

El resultado de la tabulación cruzada permitió construir dos matrices que expresan las relaciones superficiales de cambio existentes entre las diferentes coberturas y usos de la tierra para las fechas evaluadas (Cuadro 4), con estas superficies y la aplicación de la metodología de Pontius *et al.* (2004), se reveló que para el periodo 1991-2003 las categorías que presentaron las mayores pérdidas fueron el bosque, el cultivo, el pasto no manejado y el matorral, estas a expensas del área erosionada, pasto manejado, uso urbano y vegetación xerofítica; exceptuando el matorral estas mismas categorías fueron las que generaron las mayores pérdidas (Cuadro 5), tanto las ganancias como las pérdidas, en este periodo se concentraron principalmente en el fondo de valle a lo largo del centro de la cuenca, sus vertientes y cerca del cierre de la microcuenca al norte de la misma (Figura 4a). Respecto al periodo 2003-2013, las mayores pérdidas se registraron en bosque pasto no manejado y cultivo, mientras que matorral y herbazal de páramo las presentan en menor cuantía, todo ello se debe a la ganancia de área erosionada, pasto manejado, uso urbano y vegetación xerofítica (Cuadro 5), espacialmente estas pérdidas y ganancias se manifestaron en toda la microcuenca (Figura 4b).

Por otro lado, el cambio total en la microcuenca río El Valle para el periodo 1991-2003 cubrió un área de 5.791,14 ha (61,67%), de las cuales 4.500,54 ha (47,93%) corresponden a un intercambio entre categorías y únicamente 1.290,60 ha (13,74%) a un cambio neto. A nivel de categoría, el bosque, el pasto no manejado y el cultivo presentaron los porcentajes más altos de cambio total con 30,02%, 25,52% y 20,17%, respectivamente (Cuadro 5). Con respecto al periodo 2003-2013, el cambio total representó 6.478,16 ha (68,99%), de los cuales corresponde 4.810,78 ha (51,23%) a intercambio y 1.667,38 ha (16,76%) a cambio neto. A nivel de categoría el bosque con 21,75%, el pasto no manejado con 17,07% y

Cuadro 3. Matrices de confusión para los mapas de 1991, 2003 y 2013.

Año 1991

Categoría	Verdad Terreno (%)									
	Aero	B	C	Herb p	M	Pm	Pnm	Urb	Vxero	Total
Aero	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,48
B	0,00	90,00	0,00	0,00	7,69	16,67	10,00	0,00	0,00	31,06
C	0,00	6,00	61,54	7,14	15,38	0,00	3,33	14,29	0,00	14,91
Herb p	0,00	0,00	0,00	71,43	7,69	0,00	0,00	0,00	0,00	6,83
M	0,00	0,00	7,69	0,00	61,54	0,00	3,33	0,00	0,00	6,83
Pm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,33	0,00	0,00	0,00	3,11
Pnm	0,00	4,00	30,77	21,43	7,69	0,00	83,33	0,00	9,09	24,84
Urb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,71	0,00	3,73
Vxero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,91	6,21
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Año 2003

Aero	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	5,78
B	0,00	92,00	0,00	0,00	16,00	0,00	2,13	0,00	4,55	23,56
C	0,00	4,00	77,80	8,00	8,00	12,50	2,13	11,11	0,00	12,89
Herb p	0,00	2,00	0,00	80,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,33
M	0,00	0,00	0,00	0,00	68,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,56
Pm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,50	0,00	0,00	0,00	3,11
Pnm	0,00	2,00	22,22	12,00	8,00	0,00	95,74	0,00	0,00	25,33
Urb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,89	0,00	3,56
Vxero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,91	8,89
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Año 2013

Aero	93,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,90
B	0,00	96,00	2,00	5,26	6,90	0,00	2,17	0,00	0,00	18,88
C	6,67	0,00	86,00	0,00	0,00	9,09	0,00	10,00	0,00	16,43
Herb p	0,00	0,00	0,00	78,95	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	10,48
M	0,00	2,00	0,00	0,00	82,76	0,00	0,00	0,00	0,00	8,74
Pm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,73	0,00	0,00	0,00	2,80
Pnm	0,00	2,00	12,00	15,79	6,90	18,18	97,83	0,00	3,70	22,03
Urb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,00	0,00	6,29
Vxero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,30	9,09
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Categorías: **Aero:** área erosionada, **B:** bosque, **C:** Cultivo, **Herb p:** herbazal de páramo, **M:** matorral, **Pm:** pasto manejado, **Pnm:** pasto no manejado, **Urb:** uso urbano, **Vxero:** vegetación xerofítica.

el cultivo con 15,55% fueron las que representaron los valores más altos de cambio total (Cuadro 5).

En relación al total de intercambio entre categorías, este representó el 47,93% y el 51,23% para el periodo 1991-2003 y 2003-2013 respectivamente. Los intercambios más importantes para ambos

periodos lo ostentan las categorías bosque, pasto no manejado y cultivo. En este sentido, dado que el intercambio implica a la vez ganancia y pérdida en las coberturas y uso de la tierra, en la microcuenca este se manifiesta cuando la distribución de las categorías de ocupación es sustituida, su cuantía per-

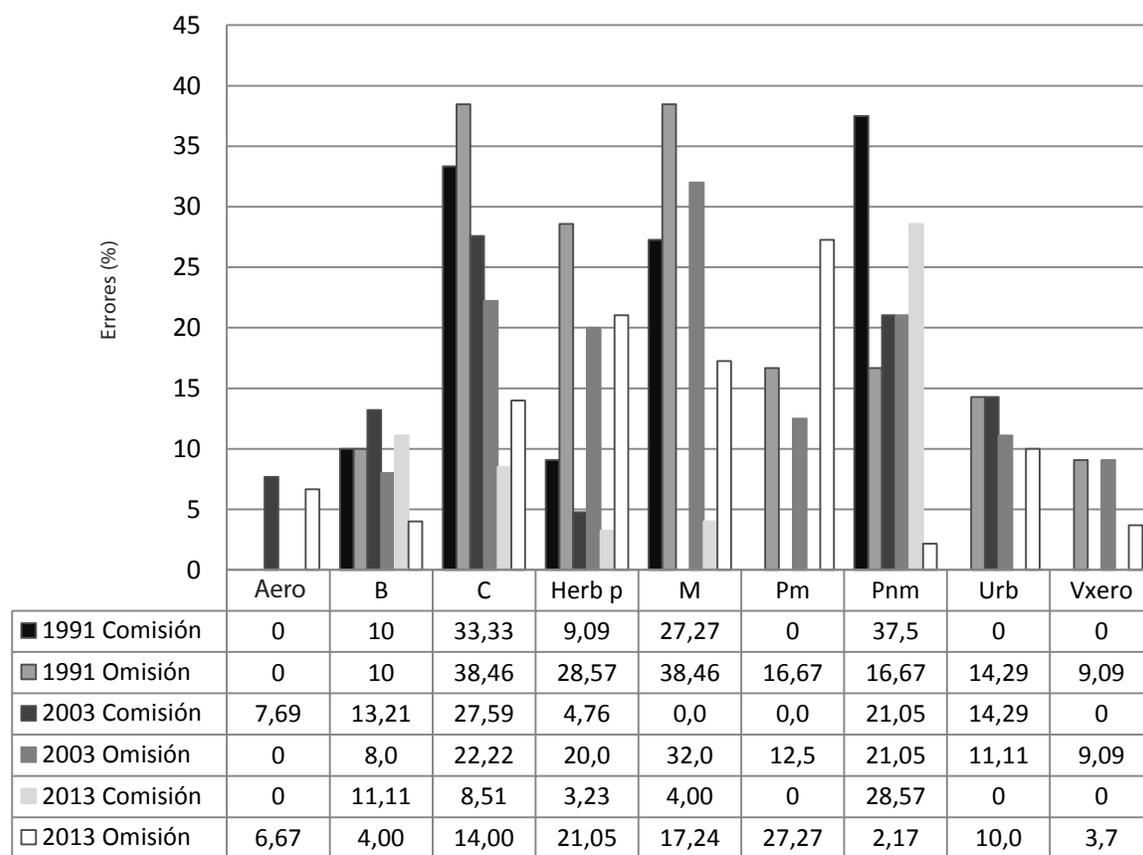


Figura 3. Errores de comisión y omisión presentes en las categorías: Área erosionada (Aero), Bosque nativo (B), Cultivo (C), Herbazal de páramo (Herb p), Matorral (M), Pasto manejado (Pm), Pasto no manejado (Pnm), Uso urbano (Urb) y Vegetación xerofítica (Vxero) de los mapas 1991, 2003 y 2013.

manece invariable, lo que demuestra que el área en estudio muestra una dinámica de cambio muy amplia (Cuadro 5).

Por su parte, en el cambio neto de 1991-2003, las principales categorías que manifestaron pérdidas fueron el pasto no manejado y el bosque, mientras que el matorral, herbazal y cultivo fueron las que manifestaron mayores ganancias (Figura 5a). Por su lado, en el 2003-2013 el cambio neto más importante en relación a las pérdidas se presentó en la categoría bosque y en menor proporción para el herbazal de páramo, pasto manejado y vegetación xerofítica, mientras que las mayores ganancias se presentaron en las categorías cultivo, pasto no manejado, matorral y uso urbano (Figura 5b).

Estos resultados son comparables con los obtenidos en la cuenca del río Castán estado Trujillo, en la cual se demostró una predisposición de cambios del 39% hacia matorrales, pastizales o cultivos y un 57% de cambios para las áreas de pastizales a

cultivos de poca cobertura y cultivos limpios (Valero y Castellano, 2010). De igual manera, en el Valle del río Momboy del mismo estado, se consiguió resultados significativos de cambio para el periodo 1996-2004, de áreas de pastizales a cultivos 819,7 ha y de bosque a matorrales 5.129,6 ha y a uso urbano 677,8 ha Briceño (2003).

Asimismo, estos resultados pueden ser comparables con los obtenidos en el Parque Nacional Sierra de la Culata del estado Mérida, donde la dinámica de la cobertura y uso de la tierra se caracterizó por la pérdida de bosques y de páramos, mientras que las ganancias se caracterizó hacia las superficies agrícolas (Aldana y Bosque, 2008).

3.3.2 Índices de persistencia

Los índices de Braimoh (2006) para el periodo 1991-2003, indican que las categorías área erosionada (27,67), seguida del herbazal de páramo (4,89), matorral (4,24), vegetación xerofítica (1,84), pasto

Cuadro 4. Matrices de tabulación cruzada.

Periodo 1991-2003

Año 1991 (t_1)	Categoría	Año 2003 (t_2)								Total	Pérdidas	
		Aero	B	C	Herb p	M	Pm	Pnm	Urb			Vxero
Aero		5,76	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	6,03	0,27
B		3,78	4.272,30	260,19	189,54	196,02	6,84	427,77	4,50	36,27	5.397,21	1.124,91
C		3,15	261,99	449,73	0,90	85,32	0,00	208,44	8,73	22,32	1.040,58	590,85
Herb p		0,00	47,97	0,00	327,78	0,00	0,00	6,66	0,00	0,00	382,41	54,63
M		0,00	30,06	40,68	0,00	101,34	0,00	11,25	0,00	0,00	183,33	81,99
Pm		0,00	3,06	0,00	0,18	0,00	10,44	2,16	0,00	0,00	15,84	5,40
Pnm		0,09	442,26	409,14	76,68	66,51	1,44	1.041,84	0,54	0,00	2.038,50	996,66
Urb		0,00	2,97	5,40	0,00	0,00	0,00	0,09	24,21	0,00	32,67	8,46
Vxero		0,45	31,41	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260,91	293,31	32,40
Total		13,23	5.092,20	1.165,68	595,08	449,19	18,72	1.698,21	37,98	319,59		
Ganancias		7,47	819,90	715,95	267,30	347,85	8,28	656,37	13,77	58,68		

Periodo 2003-2013

Año 2003 (t_1)	Categoría	Año 2013 (t_2)								Total	Pérdidas	
		Aero	B	C	Herb p	M	Pm	Pnm	Urb			Vxero
Aero		11,88	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,54	13,23	1,35
B		11,61	3.701,07	439,20	53,10	379,08	2,61	450,45	22,77	32,31	5.092,20	1.391,13
C		0,00	152,46	583,65	0,36	50,04	0,00	353,07	25,92	0,18	1.165,68	582,03
Herb p		0,00	85,59	2,61	479,79	0,00	0,00	27,09	0,00	0,00	595,08	115,29
M		0,81	112,59	122,49	2,43	139,05	0,00	71,82	0,00	0,00	449,19	310,14
Pm		0,00	6,75	11,70	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	18,72	18,72
Pnm		0,54	301,93	277,29	27,81	81,99	8,55	999,18	1,62	0,00	1.698,91	699,73
Urb		0,00	0,00	0,81	0,00	0,54	0,00	0,45	36,18	0,00	37,98	1,80
Vxero		0,99	23,31	23,94	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	270,81	319,59	48,78
Total		25,83	4.384,24	1.461,69	563,49	651,24	11,16	1.902,60	86,49	303,84		
Ganancias		13,95	683,17	878,04	83,70	512,19	11,16	903,42	50,31	33,03		

Categorías: **Aero**: área erosionada, **B**: bosque, **C**: Cultivo, **Herb p**: herbazal de páramo, **M**: matorral, **Pm**: pasto manejado, **Pnm**: pasto no manejado, **Urb**: uso urbano, **Vxero**: vegetación xerofítica.

manejado (1,53), uso urbano (1,63) y cultivo (1,21), tienen un índice de ganancia a persistencia superior a 1, lo cual demuestra una clara propensión a ganar más que a persistir. Por su parte, el índice de pérdida a persistencia muestra que pasto no manejado (1,52) y bosque (1,3) tienden a perder más que a persistir. Mientras que el índice de cambio neto a persistencia (np) para bosque y pasto no manejado fue negativo, lo que expresa que estas categorías tendieron más a perder que a ganar en función de la persistencia (Cuadro 6).

En relación al periodo 2003-2013, los resultados evidenciaron que el índice de ganancia a persistencia en las categorías uso urbano (27,95), área erosionada (10,33) matorral (1,65), cultivo (1,51) y pasto no manejado (1,29), se descartan por presentar mayor tendencia a ganar más que a persistir. Mientras que el índice de pérdida a persistencia muestra que el bosque (2,04), el pasto manejado (1,68), la vegetación xerofítica (1,48) y el herbazal de páramo (1,38), tendieron a perder más que a persistir. Por otro lado, los resultados nega-

Cuadro 5. Resumen de los cambios para los periodos a nivel de categorías.

Periodo 1991-2003

Cate- goría	Total 1991		Total 2003		Ganancia		Pérdida		Cambio total		Intercambio		Cambio neto		Relación	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	P/G	G/P
Aero	5,91	0,06	13,23	0,14	7,47	0,26	0,27	0,01	7,74	0,08	0,54	0,01	7,20	0,08	0,04	27,67
B	5.387,48	57,38	5.092,20	54,23	819,90	28,32	1.124,91	38,85	1.944,81	20,71	1.639,80	17,46	305,01	3,25	1,37	0,73
C	1.042,91	11,11	1.165,68	12,41	715,95	24,73	590,85	20,41	1.306,80	13,92	1.181,70	12,58	125,10	1,33	0,83	1,21
Herb p	381,81	4,07	595,08	6,34	267,30	9,23	54,63	1,89	321,93	3,43	109,26	1,16	212,67	2,26	0,20	4,89
M	183,76	1,96	449,19	4,78	347,85	12,01	81,99	2,83	429,84	4,58	163,98	1,75	265,86	2,83	0,24	4,24
Pm	16,06	0,17	18,72	0,20	8,28	0,29	5,40	0,19	13,68	0,15	10,80	0,12	2,88	0,03	0,65	1,53
Pnm	2.045,30	21,78	1.698,21	18,09	656,37	22,67	996,66	34,42	1.653,03	17,60	1.312,74	13,98	340,29	3,62	1,52	0,66
Urb	33,50	0,36	37,98	0,40	13,77	0,48	8,46	0,29	22,23	0,24	16,92	0,18	5,31	0,06	0,61	1,63
Vxero	293,15	3,12	319,59	3,40	58,68	2,03	32,40	1,12	91,08	0,97	64,80	0,69	26,28	0,28	0,55	1,81
Total	9.389,88	100,00	9.389,88	100,00	2.895,57	100,00	2.895,57	100,00	5.791,14	61,67	4.500,54	47,93	1.290,60	13,74		

Periodo 2003-2013

Cate- goría	Total 2003		Total 2013		Ganancia		Pérdida		Cambio total		Intercambio		Cambio neto		Relación	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	P/G	G/P
Aero	13,23	0,14	25,83	0,28	13,95	0,44	1,35	0,04	15,3	0,16	2,7	0,03	12,6	0,13	0,10	10,33
B	5092,2	54,23	4383,54	46,68	683,17	21,56	1391,13	43,90	2074,3	22,09	1366,34	14,55	707,96	7,54	2,04	0,49
C	1165,68	12,41	1461,69	15,57	878,04	27,71	582,03	18,37	1460,07	15,55	1164,06	12,40	296,01	3,15	0,66	1,51
Herb p	595,08	6,34	563,49	6,00	83,7	2,64	115,29	3,64	198,99	2,12	167,4	1,78	31,59	0,34	1,38	0,73
M	449,19	4,78	651,24	6,94	512,19	16,16	310,14	9,79	822,33	8,76	620,28	6,61	202,05	2,15	0,61	1,65
Pm	18,72	0,20	11,16	0,12	11,16	0,35	18,72	0,59	29,88	0,32	22,32	0,24	7,56	0,08	1,68	0,60
Pnm	1698,21	18,09	1902,6	20,26	903,42	28,51	699,73	22,08	1603,15	17,07	1399,46	14,90	203,69	2,17	0,77	1,29
Urb	37,98	0,40	86,49	0,92	50,31	1,59	1,8	0,06	52,11	0,55	3,6	0,04	48,51	0,52	0,04	27,95
Vxero	319,59	3,40	303,84	3,24	33,03	1,04	48,78	1,54	81,81	0,87	66,06	0,70	15,75	0,17	1,48	0,68
Total	9389,88	100,00	9389,88	100,00	3168,97	100,00	3168,97	100,00	6337,94	67,50	4812,22	51,25	1525,72	16,25		

Categorías: **Aero**: área erosionada, **B**: bosque, **C**: Cultivo, **Herb p**: herbazal de páramo, **M**: matorral, **Pm**: pasto manejado, **Pnm**: pasto no manejado, **Urb**: uso urbano, **Vxero**: vegetación xerofítica.

tivos del cambio neto a persistencia (*np*) lo ostentan bosque (-1,55) y pasto manejado (-1,08), lo cual evidenció que estas categorías tendieron a perder más que a persistir. En general, para ambos periodos valores menores de cero indican claramente que persistieron más que ganar o perder. Los valores más sobresalientes del índice de persistencia lo presentan las categorías bosque (65,79% y 59,49%) para 1991-2003 y pasto no manejado permaneció igual para ambos periodos (Cuadro 5).

Valores similares a estos últimos fueron obtenidos en el estado de México por Pineda *et al.* (2010) para las categorías de bosque primario y de

selva primaria, lo que corresponde a mayor pérdida en las categorías de ganancia en relación a su persistencia.

3.3.3 Comparación entre los periodos 1991-2003 y 2003-2013

Al comparar la dinámica del fenómeno entre 1991-2003 y 2003-2013, se tiene que la diferencia del cambio total fue de 7,32% lo representan 787,02 ha que sufrieron pérdidas o ganancias entre ambos periodos, ya sea por un proceso de cambio neto o intercambio entre categorías. Asimismo, el cambio neto más importante relacionado con pérdidas lo

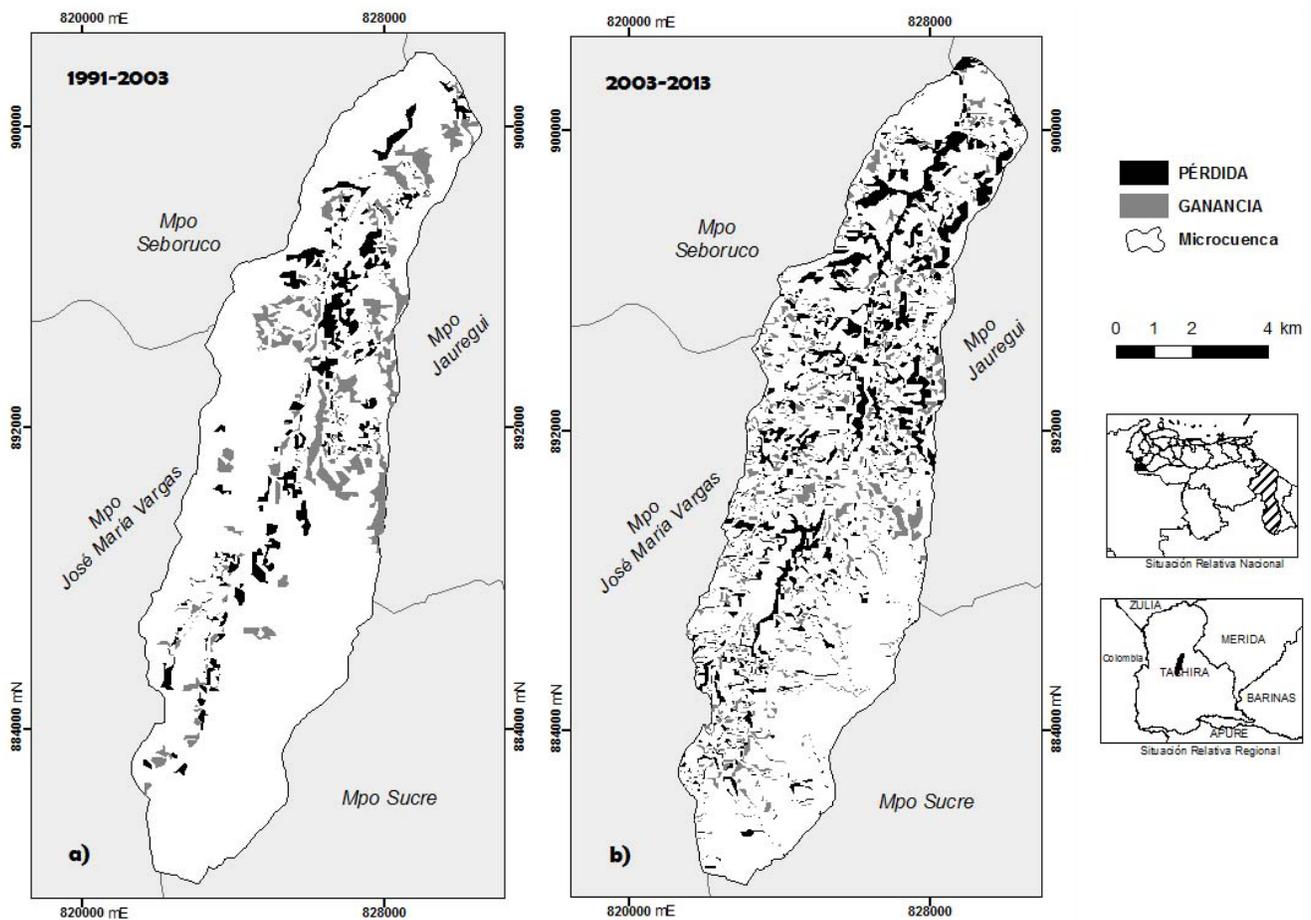


Figura 4. Mapas de pérdida y ganancias: (a) 2003-2013 y (b) 2003-2013.

manifestó la categoría bosque con un 22,23% de diferencia. Por otra parte, se destacaron ganancias de matorral, herbazal de páramo, cultivo y vegetación xerofítica para 1991-2003 y cultivo, matorral pasto no manejado y uso urbano para 2003-2013.

En relación a las pérdidas y ganancias entre los periodos 1991-2003 y 2003-2013, con respecto a las primeras, la categoría perdió pasto no manejado 296,93 ha (33,06%), bosque 266,22 ha (29,64%), matorral 228,15 ha (25,40%), herbazal de páramo 60,66 ha (6,75%), vegetación xerofítica 16,38 ha (1,82%), pasto manejado 13,32 ha y cultivo 8,82 ha (0,98%), a expensa de la incorporación de nuevas superficies de cultivo, herbazal de páramo, matorral, pasto no manejado, uso urbano, vegetación xerofítica y área erosionada. En las segundas, el incremento de las ganancias estuvieron representadas por pasto no manejado 247,05 ha (25,59%), herbazal de páramo 183,60 ha (19,03%), matorral 164,34 ha (17,02%), cultivo 162,09 ha (16,79%), bos-

que 136,73 ha (14,16%), uso urbano 36,54 ha (3,79%), vegetación xerofítica 25,65 ha (2,66%) y área erosionada 6,48 ha (0,67%). Las demás categorías manifestaron ganancias sustanciales inter periodo. Cabe destacar, que el escenario de la microcuenca por una parte, exhibió ganancias y pérdidas simultáneas y por la otra, las coberturas antrópicas que representan el 46,47%, las autóctonas el 52,86% y las de origen no antrópico el 0,67%, evidencian que el Ccut tuvo una dinámica relevante.

Durante 1991-2013, los índices de Braimoh (2006), tuvieron un comportamiento interesante. El índice Gp para el periodo 1991-2003 indica que la mayoría de las categorías procuraron persistir más que a ganar o perder, excepto bosque y pasto no manejado. Para el 2003-2013 la propensión fue que área erosionada, cultivo, matorral, pasto no manejado y uso urbano exhibieron más ganancias que persistencia para este lapso. Sin embargo, la categoría que tiene mayor tendencia de transición a

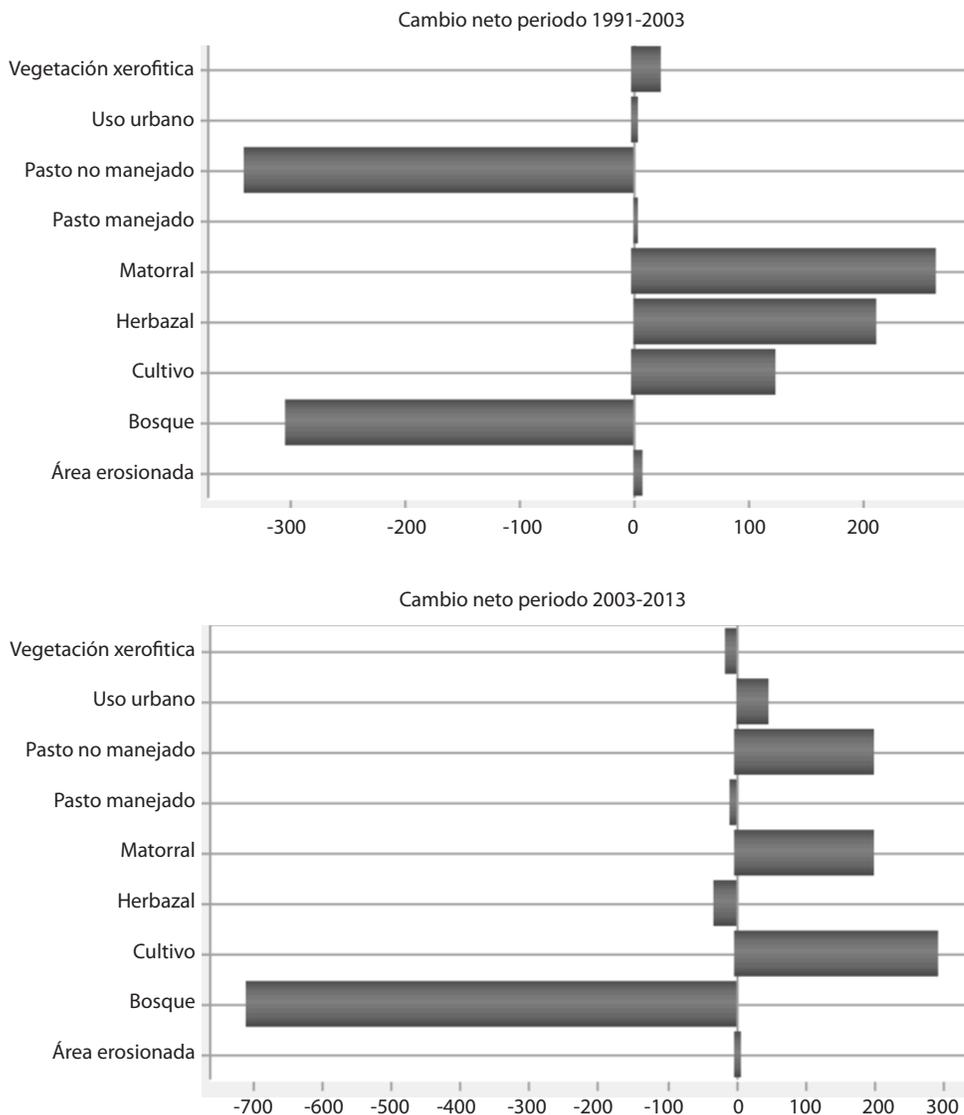


Figura 5. Cambio neto para los periodos: (a) 1991-2003 y (b) 2003-2013.

la ganancia en ambas décadas, fue área erosionada y uso urbano. En cuanto al índice Lp las categorías bosque y pasto no manejado en 1991-2003 y para 2003-2013 bosque, herbazal de páramo, pasto manejado y vegetación xerofítica exhibieron mayor tendencia a perder que a persistir. Asimismo, los valores menores a 1, indican que las categorías que los ostentan tienden más a perder que a ganar en relación a la persistencia (Figura 6).

3.3.4 Análisis de la deforestación

En función a los resultados obtenidos de las superficies de las categorías interpretadas para 1991, 2003 y 2013 (Cuadro 2), se puede deducir que el

bosque para el periodo de 1991-2003 tuvo una disminución anual de 24,61 ha, mientras que para el 2003-2013 fue de 70,87 ha, esto representa para la microcuenca del río El Valle una tasa media anual de deforestación de 0,46% y 1,39% respectivamente, es decir, hubo un incremento de casi 3 veces del segundo periodo con relación al primero. Asimismo, se pudo determinar que para el periodo total 1991-2013, la microcuenca presentó una disminución anual de 45,63 ha, con una tasa anual de deforestación de 0,85%.

Si se comparan estos resultados con otro similar en la región andina, como la cuenca del río Capaz del estado Mérida (Londoño, 2013), se ob-

Cuadro 6. Índices de Braimoha nivel de categorías.

Periodo 1991-2003

Categorías	Persistencia	Gp	Lp	np
Área erosionada	0,09	27,67	0,04	27,63
Bosque	65,79	0,73	1,37	-0,64
Cultivo	6,92	1,21	0,83	0,39
Herbazal de páramo	5,05	4,89	0,20	4,69
Matorral	1,56	4,24	0,24	4,01
Pasto manejado	0,16	1,53	0,65	0,88
Pasto no manejado	16,04	0,66	1,52	-0,86
Uso urbano	0,37	1,63	0,61	1,01
Vegetación xerofítica	4,02	1,81	0,55	1,26

Periodo 2003-2013

Categorías	Persistencia	Gp	Lp	np
Área erosionada	0,19	10,33	0,10	10,24
Bosque	59,49	0,49	2,04	-1,55
Cultivo	9,38	1,51	0,66	0,85
Herbazal de páramo	7,71	0,73	1,38	-0,65
Matorral	2,23	1,65	0,61	1,05
Pasto manejado	0,00	0,60	1,68	-1,08
Pasto no manejado	16,06	1,29	0,77	0,52
Uso urbano	0,58	27,95	0,04	27,91
Vegetación xerofítica	4,35	0,68	1,48	-0,80

serva que para la década de los noventa la tasa de deforestación en la microcuenca del río Valle (0,46%) estuvo por debajo a la de la cuenca del río Capaz (1,12%), sin embargo, para la década del dos mil esta tasa fue similar entre ambas, con 1,39% y 1,59% respectivamente. De igual manera, si se comparan con otros ambientes como los reportados en las reservas forestales de Caparo, Ticoporo y San Camilo, para las mismas décadas, nos percatamos que la tasa anual de deforestación de la microcuenca del río Valle, están por debajo, ya que para estas reservas oscilan entre 2,2 y 6,8% (Pacheco *et al.*, 2012). Caso contrario, si se comparan con las tasas reportadas para la región amazónica (Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro) y para todo el país, ya que para la década del dos mil las tasas fueron de 0,14% (Raisg, 2012) y de 0,61% (FAO, 2011), respectivamente.

4. Conclusiones y recomendaciones

La metodología desarrollada en este estudio, permitió detectar los cambios de la cobertura y uso de la tierra en la microcuenca El Valle, para los periodos 1991-2003 y 2003-2013, la misma se sustentó en las TIG y en la utilización de los datos de sensores remotos, GPS y datos de campo. Los resultados de este análisis revelaron que el porcentaje de la cobertura de bosque ha venido disminuyendo paulatinamente de 57,48% en 1990, a 54,23% en 2003 y a 46,69% en 2013, esta disminución obedece principalmente a que están siendo reemplazados de manera acelerada por cultivos y pastos no manejados. Así quedó demostrado en esta investigación, donde los resultados de las tasas medias anuales de deforestación indicaron un incremento de 0,46% a 1,39%, del primero al segundo periodo estudiado.

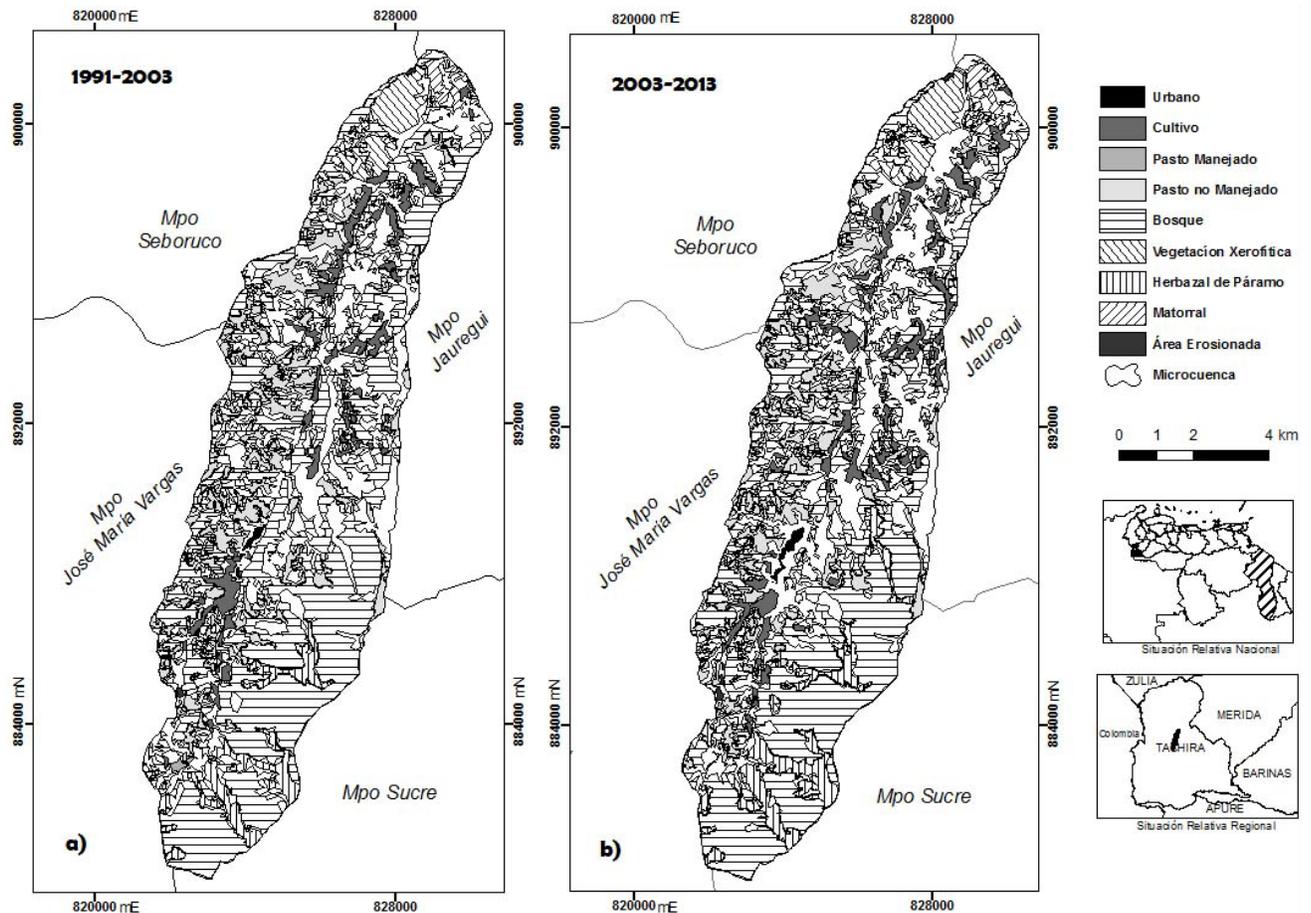


Figura 6. Mapas de persistencia: (a) 2003-2013 y (b) 2003-2013.

Lo anteriormente señalado debe considerarse como un elemento fundamental a recomendar en los procesos de planificación y ordenamiento del uso de los recursos en la microcuenca El Valle, a la vez, que puede constituir un insumo importante para indagar sobre el comportamiento de la dinámica del cambio con relación a las condiciones sociales, económicas-productivas, político-institucionales y ambientales.

Finalmente, se destaca que este estudio pudiera mejorarse si se utilizaran datos de sensores remotos de más alta resolución espacial (entre 5 m y 10 m) para aumentar la escala y el nivel de detalle. Así como también se recomienda comparar los mapas obtenidos en esta investigación, con otros mapas elaborados con métodos de clasificación supervisados y no supervisados.

5. Agradecimientos

Al Servicio Geológico de los Estados Unidos (Usgs) y a la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (Abae) por facilitar de manera gratuita las imágenes de satélite de sus colecciones.

6. Referencias bibliográficas

- ALDANA, D. A. y J. BOSQUE. 2008. Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Periodo 1988-2003. *Revista GeoFocus* 8: 139-168.
- BRAIMOH, A. K. 2006. Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Revista Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 254-263.
- BRICEÑO, F. 2003. Cambios de cobertura de la tierra en el Valle del Río Momboy, estado Trujillo. *Revista Geenseñanza* 8(1): 91-100.

- BÜRGI, M., A. HERSPERGER y N. SCHNEEBERGER. 2004. Driving forces of landscape change-current and new directions. *Landscape Ecology* 19: 857-868.
- CHEN L, Y. y H. YANG. 2008. Scenario simulation and forecast of land use/cover in northern China. *Chines Science Bulletin* 53: 1401-1412.
- CHUVIECO, E. 2008. *Teledetección ambiental*. 3ª edición. Ariel Ciencia. Barcelona, España. 212 p.
- COHEN J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *EducPsycholMeas* 20: 37-46.
- CONGALTON, R. 1998. 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* (54): 593-600.
- CONGALTON, R. y K. GREEN. 2009. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices*. CRC Press: Taylor and Francis group. New York, EEUU. 179 p.
- EASTMAN, J. R. 2009. *Guide to GIS and Image Processing, Systems Research*. Clark University, Worcester, Massachusetts, USA. 342 p.
- FAO. 1993. *Ordenación y conservación de los bosques densos de América Tropical*. Roma, Italia. 155 p.
- FAO. 2005. *Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra. Conceptos de clasificación y manual para el usuario*. Versión 2 del Programa. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 205 p.
- FAO. 2006. *Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe*. Roma, Italia. 178 p.
- FAO. 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe Principal, Estudio FAO Montes N° 163*. Roma, Italia. 85 p.
- FAO. 2011. *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura cómo gestionar los sistemas en peligro*. Roma, Italia. 47 p.
- FMAM. 2012. *Actividades sobre uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (Ucuts)*. Washington, DC, USA. 24 p.
- FOLADORI, G. Y.N. PIERRI, 2005. *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial. Miguel Ángel Porrúa. México. 219 p.
- GÓMEZ, D. M. y C. J. BARREDO. 2005. *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Paracuellos de Jarama, Editorial RA-MA. Madrid. España. 279 p.
- GEIST, H. J. y E. LAMBIN. 2004. Dynamic causal patterns of desertification. *BioScience* 54: 817-829.
- GOFC-GOLD. 2013. 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. Wageningen, The Netherlands. 108 p.
- GUTIÉRREZ, J. 1999. Utilización de técnicas de procesamiento digital de imágenes y sistemas de información geográfica en la determinación de cambios en la cobertura vegetal y uso de la tierra, cuenca del río Mucujún, estado Mérida. Trabajo de grado. Maestría de Manejo de Cuencas. Cefap, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 184 p.
- GUTIÉRREZ, N., S. GÄRTNER, J. LÓPEZ, C. PACHECO y A. REIF. 2013. The recovery of the lower montane cloud forest in the Mucujún watershed, Mérida, Venezuela. *Reg. Environ Change* 13: 1069-1085.
- JENSEN, J. R. 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 3ra edición. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall. Londres, Inglaterra. 323 p.
- JUÁREZ, R. 2011. *Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en los servicios ambientales hidrológicos de la comunidad de Capulálpam de Méndez*. Universidad de La Sierra de Juárez. México. 91 p.
- KAIMOWITZ, D. y J. SMITH. 2001. Soybeantechnology and the loss of natural vegetation in Brazil and Bolivia. En: *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*. A. Angelsen y D. Kaimowitz (eds.). CAB International. Indonesia. 195-211 pp.
- LAMBIN, E. F., B. L. TURNER, H. GEIST, S. AGBOLA, A. ANGELSEN, J. BRUCE, O. COOMES, R. DIRZO, G. FISCHER, C. FOLKE, P. GEORGE, K. HOMEWOOD, J. IMBERNON, R. LEEMANS, X. LI, E. MORAN, M. MORTIMORE, P. RAMAKRISHNAN, J. RICHARDS, H. SKANES, W. STEFFEN, G. STONE, U. SVEDIN, T. VELDKAMP, C. VOGEL y J. XU. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.
- LAMBIN, E. F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 21(3): 375-393.
- LAMBIN, E.F. y P. MEYFROIDT. 2010. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land use policy* 27(2): 108-118.
- LAMBIN, E. F., J. HELMUT y E. LEPERS. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical region. *Annual Reviews Environment Resource* 28: 205-241.

- LANDIS, J. R. y G. G. KOCH 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174.
- LILLESAND, T. y R. KIEFER, 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 4ª edición. John Wiley and Sons. New York, USA. 253 p.
- LONDOÑO, A. 2013. Análisis de la Deforestación en la Cuenca del Río Capaz bases para el establecimiento de una potencial estrategia REDD+. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 75 p.
- MARTENS, B. y E. LAMBIN. 2000. Land-cover-change trajectories in southern Cameroon. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 90: 467-494.
- MATHER, P.M. y M. KOCH. 2011. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. 4a edition. Wiley-Blackwell. Chichester, UK. 504 p.
- MEYFROIDT, P., TK, RUDEL y E. LAMBIN. 2010. Forest transitions, trade and the global displacement of land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(49): 20917-20922.
- OSE, 2006. *Cambios de ocupación del suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad*. Observatorio de la Sostenibilidad en España. Ministerio de Fomento, Madrid. 485 p.
- OVALLES, Y., E. MÉNDEZ., F. RIPANTI, G. RAMÍREZ y J. LEÓN. 2012. El plan de ordenación y desarrollo de cuencas hidrográficas en la construcción de futuro. *Revista Forestal Venezolana* 56(1): 83-94.
- PACHECO, C. 1999. Evaluación de cambios de uso de la tierra de las microcuencas Burbusay y Miquía. Período 1967-1997. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 56 p.
- PACHECO, C., A. BARRIOS y J. LÓPEZ. 2007. Comparación de métodos de digitalización para el ingreso de información espacial a los sistemas de información geográfica. *Revista Forestal Latinoamericana* 41: 57-74.
- PACHECO, C., I. AGUADO, E. VILANOVA y S. MARTINEZ. 2012. Utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en el desarrollo de un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) de emisiones de CO₂ en tres áreas "hot spot" de deforestación en Venezuela. XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. 19 al 21 de septiembre de 2012. Madrid, España.
- PACHECO, C., I. AGUADO y D. MOLLICONE. 2011a. Las causas de la deforestación en Venezuela: un estudio retrospectivo. *Biollania* 10: 281-292.
- PACHECO, C., I. AGUADO y D. MOLLICONE. 2011b. Dinámica de la deforestación en Venezuela: análisis de los cambios a partir de mapas históricos. *Interciencia* 36 (8): 578-586.
- PACHECO, C., R. OSORIO, A. MÉNDEZ, E. FLORES y J. LÓPEZ. 2006. Determinación de los usos de la tierra bajo un enfoque de cobertura con imagen Etm+ de Landsat. Cuenca Alta del Río Grita 2006, estado Táchira-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 40: 85-106.
- PINEDA, B. 2010. Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el estado de México mediante tecnologías de la información geográfica. Tesis Doctoral. Programa de doctorado en cartografía, sistemas de información geográfica y teledetección. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, España. 222 p.
- PONTIUS, R.G., E. SHUSAS y M. MCEACHERN. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2-3): 251-268.
- PORTILLO, Q. C. A., A. M. SÁNCHEZ, C. VALBUENA, Y. GONZÁLEZ y J. LARREAL. 2012. Forest cover and deforestation patterns in the Northern Andes (Lake Maracaibo Basin): A synoptic assessment using Modis and Landsat imagery. *Applied Geography* 35: 152-163.
- RAISG. 2012. *Amazonía bajo presión*. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada. Belém, Brasil. 68 p.
- RAMÍREZ, J. 2007. Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura natural del Ramal de Calderas y sus alrededores, Cordillera de Mérida, Venezuela. Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 82 p.
- RICHARDS, J. 1999. *Remote sensing digital image analysis*. Springer-Verlag. London, UK. 257 p.
- SADER, S. y ARMOND, J. 1988. Deforestation Rates and Trends in Costa Rica, 1940 to 1983. *Biotropica* 20(1): 11-19.
- SCHÜTZ, J. J., L. CAYUELA, C. ECHEVERRÍA, J. SALAS y J. REY. 2010. Monitoring land cover change of the dry land forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography* 30 (3): 436-447.

- VAITKUS, G. y D. VAITKUVIENE. 2005. Land cover changes in the Lithuanian Coastal Zone during 1975-2000. *Acta Zoológica Lituanica* 15: 183-187.
- VALERO F. y A. CASTELLANO 2010. Dinámica del uso de la tierra en la cuenca del Río Castán, Trujillo-Venezuela. 1996-2001. *Revista Academia* IX (18): 61-72.
- WU, J. y R. HOBBS. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology* 17: 355-365.