
Cambios a gran escala

en el uso/cobertura de la tierra
en la cuenca del río Portuguesa,
2001-2012

Large-scale land use/land cover
changes in the Portuguesa River basin,
2001-2012

Franklin Paredes-Trejo^{1,2}

Humberto Barbosa-Alvez²

Carlos Uzcátegui-Briceño²

1 Universidad Nacional de Los Llanos 'Ezequiel Zamora'
Grupo de Investigaciones en 'Recursos Hídricos y Cuencas
Hidrográficas', San Carlos (estado Cojedes), Venezuela

2 Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências
Atmosféricas, Laboratório de Análise e Processamento
de Imagens de Satélite, Maceió (Alagoas), Brasil

franklinparedes75@gmail.com

barbosa33@gmail.com

ubcarlos84@gmail.com

Resumen

Los cambios a gran escala en el uso/cobertura de la tierra (UCT) en la cuenca del río Portuguesa no se han estudiado en detalle. Por tanto, se analizó la variabilidad espacio-temporal de estos cambios durante el periodo 2001-2012 usando matrices de transición y el producto MCD12Q1v 5.1 derivado del sensor MODIS a bordo del satélite Terra de la NASA, el cual suministra información anual sobre la UCT dominante a una resolución espacial de 25 hectáreas. Los resultados más relevantes indicaron que: **1)** la conversión de cultivos a sabanas y viceversa fue la más extensa; **2)** la capacidad interanual de persistencia de las UCTs mostró una ligera tendencia negativa; **3)** la tasa de deforestación anual fue significativamente variable, pero se encontró una notable recuperación en los bosques situados en las tierras altas de las cuencas de los ríos Guanare y Acarigua entre 2010 y 2012.

Palabras clave: cuenca del río Portuguesa; uso/cobertura de la tierra; MODIS; Venezuela; deforestación.

Abstract

*Large-scale land use/land cover (LULC) changes in Portuguesa river basin have not been yet studied in detail. Therefore, the spatial and temporal variability of these changes during the period 2001-2012 was analyzed, by using transition matrices and the MCD12Q1 v 5.1 product derived from the MODIS sensor from NASA's Terra satellite, which provides annual information about the dominant LULC at a 25 ha spatial resolution. The most relevant results indicated that: **1)** the conversion from crops to savannas and vice versa was the largest change; **2)** the annual persistence capacity for the LULCs showed a negative slight trend; **3)** The annual rate of deforestation was significantly variable, but a remarkable recovery in forested upland areas in Guanare and Acarigua river basins between 2010 and 2012 was found.*

Key words: Portuguesa River basin; Land use/land cover; MODIS; Venezuela; deforestation.

1. Introducción

Los recursos naturales aprovechables por el hombre así como los servicios de los ecosistemas naturales proveen amplios beneficios a la humanidad. En este contexto, los servicios de los ecosistemas se refieren a las funciones que cumplen en términos ecológicos, biofísicos y ambientales. Estos servicios pueden verse afectados por factores tales como: cambios en la demografía, economía, sociopolítica, ciencia y tecnología, cultura y religión, y condiciones biológicas prevalentes (Aide *et al.*, 2013; Kolinjivadi *et al.*, 2015). En general, los servicios que suministran los ecosistemas naturales, semi-naturales y administrados, han contribuido notablemente al desarrollo social del hombre (Casado *et al.*, 2013). Sin embargo, las actividades humanas ejercen un impacto significativo y creciente sobre la biodiversidad de los ecosistemas y sus servicios (Cardinale *et al.*, 2012); especialmente, en aquellos ambientes donde los usos agrícolas y pecuarios son dominantes (Bommarco *et al.*, 2013; Robertson *et al.*, 2014).

La cuenca del río Portuguesa es uno de los sistemas fluviales más extensos de los llanos venezolanos. Su cauce principal atraviesa bosques tropicales húmedos, sub-húmedos, secos y de sabana (Chacón-Moreno *et al.*, 2013). En las últimas décadas, esta unidad hidrográfica ha experimentado diversas alteraciones ambientales debido al incremento de la población, la expansión de la frontera agrícola y la extracción minera en algunos de sus principales tributarios (González *et al.*, 2013). Ante este contexto, es razonable suponer la ocurrencia de variaciones significativas en los servicios de los ecosistemas, causadas principalmente por actividades antropogénicas que afectan el uso/cobertura de la tierra.

Por su importancia agroalimentaria y ecológica, la cuenca del río Portuguesa ha recibido una especial atención por parte de la comunidad científica; en particular, en lo concerniente a su ictiofauna (Echevarría y Marrero, 2012; Rodríguez-Olarte y Barrios, 2014; Echevarría y Machado-Allison, 2015), sedimentología fluvial (Clemente *et al.*, 2014; González y Millán, 2016) y biodiversidad (Briceño, 2004). No obstante, es muy poco lo que se conoce sobre los cambios de uso/cobertura de la tierra y los procesos de deforestación.

Comprender la manera cómo evoluciona el uso/cobertura en la cuenca del río Portuguesa tiene un gran valor científico, pues esta información permitiría ampliar nuestro conocimiento sobre los procesos ambientales y ecológicos que allí suceden a una gran escala espacial.

Por lo anterior, en el presente artículo se discuten los cambios más relevantes y recientes en la cuenca del río Portuguesa, vinculados con la variación espacial del uso/cobertura de la tierra a escala anual e interanual. A diferencia de los estudios previos, los análisis efectuados se derivan de un producto desarrollado por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), basado en el sensor Espectroradiómetro de Imágenes de Moderada Resolución (MODIS por sus siglas en inglés), a bordo del satélite Terra.

2. Área de estudio

La cuenca del río Portuguesa se localiza en los llanos centro-occidentales venezolanos entre 70° 11' – 67° 20' O, 7° 56' – 10° 22' N (Figura 1). Cubre un área de alrededor de 49.730 km², desde la cordillera de Los Andes

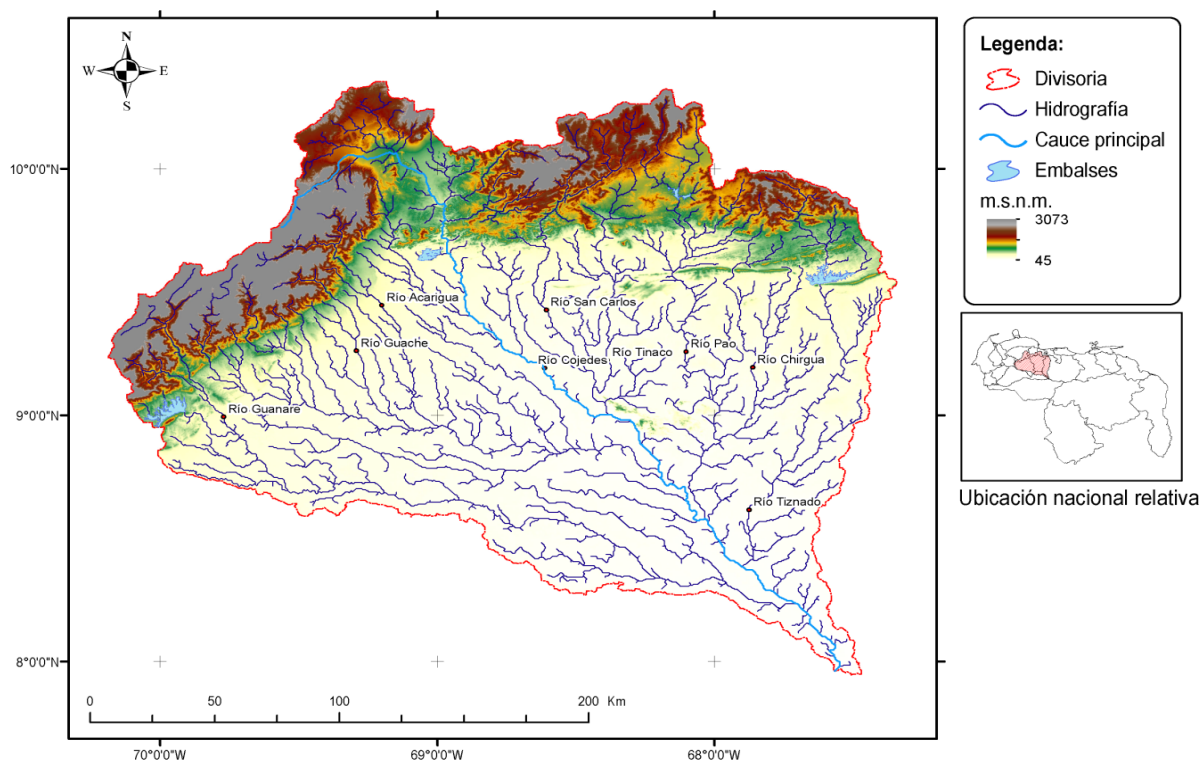


Figura 1 Hipsometría y red de drenaje en la cuenca del río Portuguesa

(borde oeste-noroeste) y la serranía del Interior (borde norte), hasta la desembocadura de su cauce principal en el río Apure (extremo sureste). Su hipsometría varía entre 48 y 2.760 msnm, con una elevación mediana de 1.153 msnm.

El cauce principal tiene una longitud de 438 km y va desde la naciente del río Turbio hasta Camaguán, en el suroeste del estado Guárico. Las cuencas hidrográficas de los ríos San Carlos, Tinaco, Cojedes, Pao, Tiznado, Acarigua, Guache, Chirgua y Guanare son las áreas drenadas de mayor tamaño. Por otro lado, Pao-Cachinche, Las Majaguas, Yacambú, Tiznados y Boconó-Tucupido son los embalses con mayor capacidad de almacenamiento (Quiroz *et al.*, 2016).

Un clima tropical lluvioso predomina sobre gran parte de la cuenca. La precipitación es marcadamente estacional, con una temporada seca y cálida entre diciembre y marzo, y otra temporada fresca y lluviosa desde junio a septiembre, entre las cuales se da una transición gradual (Foghin-Pillin, 2002; Guenni *et al.*, 2008). La precipitación media anual varía desde 475 hasta 3.068 mm. La región más seca se sitúa en la cuenca alta del río Turbio (< 800 mm/año), y la más húmeda sobre la naciente del río Boconó (> 3.000 mm/año). La Zona de Convergencia Intertropical es el principal mecanismo generador de lluvias, mientras que la influencia de la alta presión del Atlántico Norte modula la prolongación temporal y

espacial del periodo seco (Martelo, 2003; Paredes *et al.*, 2008).

Según el mapa de vegetación/usos del suelo de Huber y Alarcón (1988), las coberturas con mayor extensión superficial en esta cuenca son: la agricultura y ganadería (21 %), las sabanas arboladas (11 %) y las sabanas abiertas propensas a incendios forestales (10 %). Hugh *et al.* (2004), para el año 2000, mostró los mosaicos agrícolas o tierras degradadas (33 %), las sabanas herbáceas (26 %) y los bosques semi-decíduos abiertos (8 %) como categorías dominantes. Más reciente, en el mapa de cobertura de suelo, divulgado en 2010 por la Agencia Espacial Europea (ESA GlobCover Project, por su denominación en inglés), se aprecia que los pastizales-sabanas (35,15 %), los mosaicos vegetales/cultivos (26,78 %) y los bosques semi-decíduos abiertos (17,08 %) destacan por su dominio (Arino *et al.*, 2007).

La cuenca del río Portuguesa cubre parte de los estados Barinas, Carabobo, Cojedes, Guárico, Lara, Portuguesa, Trujillo y Yaracuy, agrupando 172 parroquias, 55 municipios y 49 centros urbanos. Sobre la base del censo poblacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística en el año 2011 (INE, 2011), y la cantidad de parroquias agrupadas dentro de la cuenca, se estima una población de 5.219.683 habitantes, concentrados principalmente en Carabobo (31,76 %), Lara (29,28 %), Portuguesa (16,79 %) y Cojedes (6,19 %).

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

Los usos/coberturas anuales de la tierra en el área de estudio para el periodo 2001-2012 fueron extraídas del producto global reticulado MCD12Q1 v 5.1, distribuido por el Fondo Global de Coberturas del Suelo (GLCF, por sus siglas en inglés), a través de su portal web: <http://glcfapp.glc.f.umd.edu/data/lc/>. Este producto tiene una resolución espacial sobre el Ecuador de $\frac{1}{4}$ km² (500 x 500 m²) y se deriva del análisis de imágenes de satélites captadas cada 16 días por medio del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), el cual es uno de los sensores a bordo del satélite polar-heliosincrónico Terra, puesto en órbita por la NASA en diciembre de 1999.

El producto MCD12Q1 consta de una secuencia anual de imágenes GeoTIFF, cuyos píxeles se han pre-catalogado en 17 clases temáticas definidas por el Programa Internacional Geoesfera-Biosfera (IGBP, por sus siglas en inglés), utilizando un algoritmo de clasificación supervisada basado en árboles de decisiones, los cuales han sido entrenados con la información temporal y espectral de las bandas 1 hasta 7 de MODIS-Terra (reflectancia nadir ajustada por BRDF), el índice de vegetación mejorado (EVI, por sus siglas en inglés), y la temperatura superficial del suelo (LST, por sus siglas en inglés), colectada y posteriormente validada en 1.856 locaciones distribuidas en diferentes biomas del mundo (Loveland *et al.*, 2000; Friedl *et al.*, 2010).

El producto MCD12Q1 se escogió por haber presentado una alta precisión global cuando se contrastó con productos de alta resolución espacial (~75% en el caso de

LANDSAT según Friedl *et al.*, 2010), y haberse usado en el análisis de la variabilidad espacio-temporal fenológica de usos/coberturas de la tierra, en ambientes similares a los encontrados en la cuenca del río Portuguesa (Hugh *et al.*, 2004; Clark *et al.*, 2012; Blanco *et al.*, 2013)

La altimetría de la cuenca del río Portuguesa así como su red de drenaje se derivaron de la Misión Topográfica *Shuttle Radar* (SRTM, por sus siglas en inglés; resolución: 90 x 90 m²; versión: 4.1; detalles en Vílchez, 2000), disponible en: <http://srtm.csi.cgiar.org/>. La información pluviométrica procede de los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH; www.inameh.gob.ve/), y se usaron después de evaluar su calidad.

3.2 Métodos

3.2.1 Detección de cambios

Previo a los análisis, las salidas anuales del producto MCD12Q1 se agruparon en un archivo multicapa. Este último fue re-proyectado a UTM WGS 1984-19N, y cortado usando la divisoria hidrográfica como máscara. Con el objeto de facilitar la interpretación de los resultados, las 17 clases temáticas originales se re-codificaron en nueve grandes usos/coberturas de la tierra, tomando como referencia la clasificación planteada por Friedl *et al.* (2010): bosques (BO), matorrales (MA), pastizales (PA), sabanas (SA), tierras inundadas (TI), cultivos (CU), áreas urbanizadas (AU), cuerpos de agua (CA), y áreas no vegetadas (ANV).

Para estimar los cambios y persistencias de los usos/coberturas de la tierra, se usó la propuesta descrita en Aldana y Bosque (2008), en la cual un contraste requiere una

matriz de transición, cuyas celdas muestran el área ocupada por cada categoría k ($k = 1...9$) en el año inicial i ($i = 2001...2012$), y el año final j ($j = 2001...2012$, tal que $j > i$). Hecho esto:

$$P = S_i - P_c \quad (1)$$

$$G = S_j - P_c \quad (2)$$

$$I = 2 \times \text{MPG} \quad (3)$$

$$\text{CN} = (P + G) - I \quad (4)$$

Donde: P es la pérdida de la categoría k ; P_c es la persistencia de la categoría k ; S_i y S_j son las superficies ocupadas por la categoría k en los años i y j , respectivamente; G es la ganancia; CN es el cambio neto; I es el intercambio; MPG es el valor mínimo entre P y G para la categoría k . Todas estas variables se expresan en hectáreas.

La significancia estadística de la tendencia en las series analizadas, se basa en la prueba no paramétrica de Mann-Kendall de dos vías a un nivel de confianza del 95 % (Libiseller & Grimvall, 2002), mientras que la tendencia se calculó usando el método de Sen (1968).

3.2.2 Estimación de tasa de deforestación anual

Este indicador se derivó del producto MCD12Q1 considerando la formulación referida por Angulo *et al.* (2011), en la cual:

$$\text{TD} = (B_i - B_j) / (N \times B_i) \times 100 \quad (5)$$

Donde: TD es la tasa de deforestación anual (hectáreas/año); B_i y B_j son las superficies ocupadas por la categoría bosques en los años i y j , respectivamente, tal que $j > i$ (hectáreas); N es el número de años entre i y j .

4. Análisis y discusión de los resultados

4.1 Usos/coberturas de la tierra

La contribución superficial de cada tipo de usos/coberturas de la tierra en la cuenca del río Portuguesa para el periodo 2001-2012 se muestra en el **cuadro 1**. Nótese que las áreas no vegetadas (ANV) y urbanizadas (AU) presentan una escasa variación interanual (< 0,10%), mientras que los cultivos (CU) y las sabanas (SA) varían pronunciadamente entre un año y otro. También puede observarse que las clases CU y SA dominan el paisaje. En un año cualquiera, CU y SA en conjunto, ocupan más del 84% del área total de la cuenca (min: 84,63% en 2001; máx.: 90,73% en 2009). Este resultado es consistente con la dominancia de los cultivos y las sabanas reportado previamente por Huber y Alarcón (1988), Hugh *et al.* (2004) y Arino *et al.* (2007).

El análisis del **cuadro 1** revela que la superficie ocupada por la clase CU aumentó entre los años 2001 y 2009, pero decreció a partir del 2010. Al centrar la atención en la clase SA, se distingue una disminución de su área durante el periodo 2001-2011, seguido por su expansión súbita entre 2011 y 2012. En ninguno de estos casos, se identificó una tendencia monótona significativa ($\alpha = 0,95$). Así que, en principio, no hay suficiente evidencia para señalar que la clase SA, aumentó o disminuyó de forma sostenida a lo largo del tiempo.

Un rasgo poco evidente asociado a la cubierta BO se observa en el **cuadro 1**. En el 2001, los bosques ocuparon 525.817 hectáreas, equivalente a 8,96% del área total de la cuenca. Esta cobertura tendió a disminuir hasta el 2009 (343.894 hectáreas; 5,86% respecto al área total), donde se advirtió una abrupta inversión en la tendencia, la cual se mantiene positiva para el año 2012 (613.845

Cuadro 1 Distribución porcentual anual de las clases de usos/coberturas de la tierra en la cuenca del río Portuguesa durante el periodo 2001-2012

Clase	Proporción de clases por año											
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ANV	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
CU	33,47	37,94	40,49	41,96	42,89	44,02	42,79	43,61	44,43	43,11	42,44	36,45
BO	8,96	8,65	7,99	7,60	6,61	6,78	6,30	6,57	5,86	6,78	8,96	10,46
PA	4,13	3,20	2,65	1,77	1,48	0,94	0,92	0,87	1,35	1,19	0,96	0,81
SA	51,16	47,99	46,65	46,49	46,78	45,95	47,71	46,78	46,30	46,82	45,45	49,87
MA	0,34	0,18	0,11	0,05	0,04	0,04	0,05	0,07	0,06	0,07	0,05	0,03
AU	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
CA	0,16	0,16	0,18	0,24	0,22	0,22	0,18	0,18	0,19	0,20	0,23	0,24
TI	0,28	0,38	0,44	0,40	0,50	0,56	0,55	0,43	0,29	0,33	0,42	0,65

Área de la cuenca: 5.868.500 hectáreas. BO: bosques; MA: matorrales; PA: pastizales; SA: sabanas; TI: tierras inundadas; CU: cultivos; AU: áreas urbanizadas; CA: cuerpos de agua; ANV: áreas no vegetadas

hectáreas; 10,46 % respecto al área total). Bajo un contexto temporal, esto refleja una rápida recuperación de los bosques desde el 2009 en adelante.

4.2 Cambios y persistencia de los usos/coberturas de la tierra

Los cambios y persistencias de los usos/coberturas de la tierra para el periodo 2001-2012 se resumen en el **cuadro 2**. En principio, se aprecia que las coberturas persisten entre 80,11 % y 84,73 %, es decir, exhiben una estabilidad promedio interanual de

81,47 %. Lo anterior indica que los cambios afectan menos del 20 % de la superficie total a una escala interanual.

Al observar la persistencia global (PG) en el **cuadro 2**, se advierte una tendencia negativa estadísticamente significativa (α : 0,05; -0.35 %/año). También se nota un punto de cambio en la tendencia en el año 2003. Ambas características implican que la estabilidad de las cubiertas, en términos de su capacidad interanual de persistencia, ha mermado de forma sostenida durante el periodo 2001-2012; aunque también es evidente que la persistencia es ampliamente dominante.

Cuadro 2 Persistencia y pérdida por coberturas/usos de la tierra en la cuenca del río Portuguesa durante el periodo 2001-2012

Persistencia en hectáreas de la clase en el año j respecto al año i, al indicar j/i											
Clase	2002/01	2003/02	2004/03	2005/04	2006/05	2007/06	2008/07	2009/08	2010/09	2011/10	2012/11
ANV	525	400	250	75	200	150	275	450	275	25	50
CU	1.717.775	1.927.000	1.998.350	2.015.650	2.090.850	2.062.450	2.045.425	2.097.825	2.079.525	2.027.800	1.804.125
BO	438.350	437.000	387.800	327.800	324.075	313.550	304.850	296.250	290.750	360.225	481.075
PA	137.875	102.025	66.025	49.700	33.000	28.225	26.150	30.750	40.825	31.600	22.575
SA	2.498.200	2.383.625	2.297.375	2.261.850	2.247.150	2.243.100	2.262.425	2.226.550	2.221.275	2.210.225	2.271.000
MA	8.875	5.225	2.525	1.625	1.325	1.200	1.875	1.725	1.525	1400	975
AU	87.400	87.400	87.400	87.425	87.475	87.475	87.450	87.450	87.450	87.375	87.375
CA	8.600	9.050	10.225	11.775	119.75	10.575	9.525	9.625	10.800	11.425	13.250
TI	15.575	20.650	18.425	16.450	22.900	27.200	19650	14.875	13.925	14.800	20.700
Pérdida en hectáreas de la clase en el año j respecto al año i, al indicar j/i											
Clase	2002/01	2003/02	2004/03	2005/04	2006/05	2007/06	2008/07	2009/08	2010/09	2011/10	2012/11
ANV	500	675	250	350	225	325	75	200	550	425	100
CU	246.200	299.425	377.625	446.900	425.975	520.825	465.850	461.175	527.925	502.375	686.175
BO	87.600	70.750	81.100	118.000	63.575	84.175	64.600	89.025	53.425	37.375	44.950
PA	104.500	85.675	89.225	53.900	53.575	27.125	27.975	20.175	38.450	38.125	33.525
SA	504.275	432.625	440.025	466.500	498.025	453.550	537.700	518.925	495.850	537.600	396.125
MA	11.025	5.075	3.975	1.600	1.050	950	950	2.225	1.975	2.700	2.100
AU	25	0	25	0	0	0	25	0	25	75	25
CA	575	425	300	2.050	925	2.175	1.250	950	600	225	450
TI	625	1.475	7.600	6.850	6.200	5.450	12.450	10.325	3.300	4.675	3.875
PG	83,72	84,73	82,96	81,32	82,12	81,35	81,07	81,2	80,88	80,85	80,11
Def.	-3,46	-7,65	-4,93	-13,04	2,60	-7,11	4,28	-10,67	15,52	32,30	16,73

PG: persistencia global de las coberturas (%); Def.: tasa anual de deforestación del año j respecto al año i (%)

De acuerdo con los valores contenidos en el **cuadro 2**, el lento debilitamiento de la PG pudiese ser atribuido, al menos parcialmente, a la reducción de la persistencia interanual en las clases PA y SA. Estas últimas manifiestan una tendencia estadísticamente significativa de -8.743 y -12.514 hectáreas/año, respectivamente. La información de los **cuadros 3 y 4** sustenta esta hipótesis. En principio, téngase en cuenta que las clases PA y SA cubrieron en el año 2001, 242.369 y 3.002.325 hectáreas, respectivamente. La comparación de los **cuadros 1 y 3** muestra que en el año 2012, sólo 5,70 % de la cobertura PA observada en el año 2001 permaneció estable, mientras que 66,42 % fue reemplazada por sabanas (SA), 25,70 % por cultivos (CU), 1,18 % por bosques (BO); entre otros cambios cuyas contribuciones no superan el 1 %. Una respuesta similar se visualizó en la cobertura SA; aunque este caso, la persistencia fue de 69 %, con una importante conversión a cultivos (25,02 %) y bosques (4,71 %). El valor general de persis-

tencia, PG, entre los años 2001 y 2012, resultó igual a 65,53 %. Resalta el hecho de que la ganancia de BO se debe en gran medida a la conversión de SA en BO; en efecto, cerca del 16 % de los bosques observados en el año 2012 resultan de una migración gradual de SA a BO durante un período de 12 años (i.e., 2001-2012).

En correspondencia con las inferencias derivadas de los **cuadros 1 y 3**, el **cuadro 4** revela que las coberturas CU y SA experimentaron cambios netos notables (747.975 y 1.217.150 hectáreas, respectivamente), destacándose por registrar una alta proporción de persistencia, ganancia, pérdida e intercambio. Esto quiere decir que la interacción entre CU y SA, es la que determinó los cambios más extensos dentro de la cuenca en el año 2010, con relación a lo observado en el año 2001 (i.e., gran escala espacial y escala temporal casi decadal).

La **figura 2** permite visualizar la localización y distribución espacial de los usos/coberturas persistentes o cambiantes a escala

Cuadro 3 Transiciones expresadas en hectáreas de los usos/coberturas de la tierra en la cuenca del río Portuguesa en el año 2012 con relación al año 2001

	Clase	2012								
		ANV	CU	BO	PA	SA	MA	AU	CA	TI
2001	ANV	25	50	25	0	350	0	0	450	125
	CU	25	1.268.400	80.600	9.675	595.975	375	0	250	8.675
	BO	0	48.325	387.925	225	86.900	50	0	750	1.775
	PA	25	62.300	2.850	13.825	160.975	600	0	525	1.275
	SA	0	751.250	141.425	19.000	2.071.775	325	0	700	18.000
	MA	0	6.125	75	4.625	7.850	600	0	225	400
	AU	0	0	0	0	0	0	87.375	0	50
	CA	25	100	50	0	375	0	0	8.400	225
	TI	25	2.575	1.100	75	2.200	0	0	2.775	7.450

Cuadro 4 Balance entre cambios y persistencias expresadas en hectáreas para el cuadro 3

Clase	Persistencia	Pérdida	Ganancia	Intercambio	Cambio Neto
ANV	25	1.000	100	200	-75
CU	1.268.400	695.575	870.725	1.391.150	747.975
BO	387.925	138.025	226.125	276.050	338.000
PA	13.825	228.550	33.600	67.200	-19.775
SA	2.071.775	930.700	854.625	1.709.250	1.217.150
MA	600	19.300	1.350	2.700	-750
AU	87.375	50	0	0	87.375
CA	8.400	775	5.675	1.550	12.525
TI	7.450	8.750	30.525	17.500	20.475

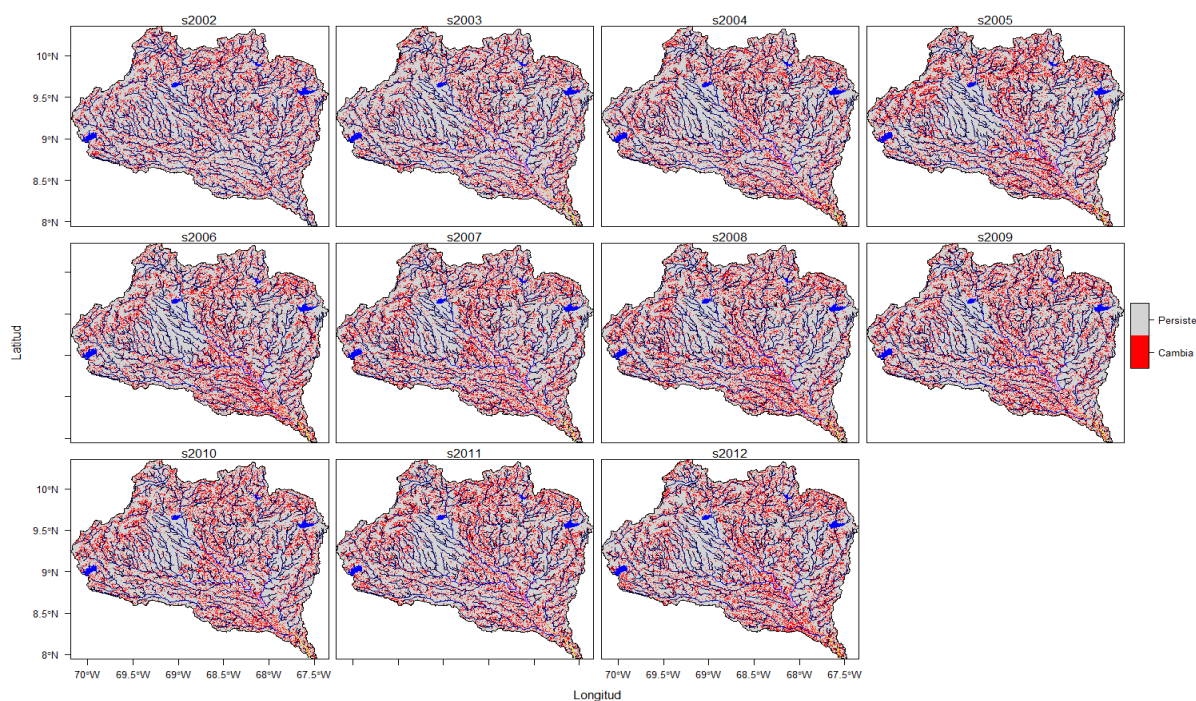


Figura 2 Cambios y persistencias interanuales de las diversos tipos de usos/coberturas de la tierra en la cuenca del río Portuguesa durante el periodo 2002-2012. Cada panel muestra la ubicación espacial de los cambios y persistencias del año indicado con relación al anterior (e.g., s2002 ilustra los cambios y persistencias del año 2002 con relación al año 2001)

interanual durante el periodo 2002-2012. De nuevo, esta secuencia de mapas deja constancia de un incremento sutil en la superficie ocupada por aquellas unidades que cambian interanualmente a lo largo del tiempo (en color rojo). Nótese que las áreas que permanecen inalteradas son dominantes en todos los años (en color gris claro). Por otro lado, se percibe que la proximidad a los cuerpos de agua (en particular, ríos y quebradas), parece favorecer los cambios. En efecto, se advierte como las áreas cambiantes (en color rojo), tienden a conglomerarse cerca de los cauces superficiales, sugiriendo que la presencia de una fuente de agua in-

duce el desarrollo de prácticas agrícolas en las planicies y montañas (i.e., conversiones: BO a CU y SA a CU). Un comportamiento similar se aprecia al tomar en cuenta la cercanía a las vías de acceso y los centros urbanos (no mostrados en la **Figura 2**). Con relación a este aspecto, estudios previos refirieron que estos factores físico-sociales son importantes causantes de cambios (Vergara y Gayoso, 2004; Aldana y Bosque, 2008; Pacheco *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2014).

La recurrencia interanual de cambios en la cuenca se ilustra en la **figura 3**. Nótese que en las planicies de los ríos Guache, Acarigua y Cojedes se da una muy baja con-

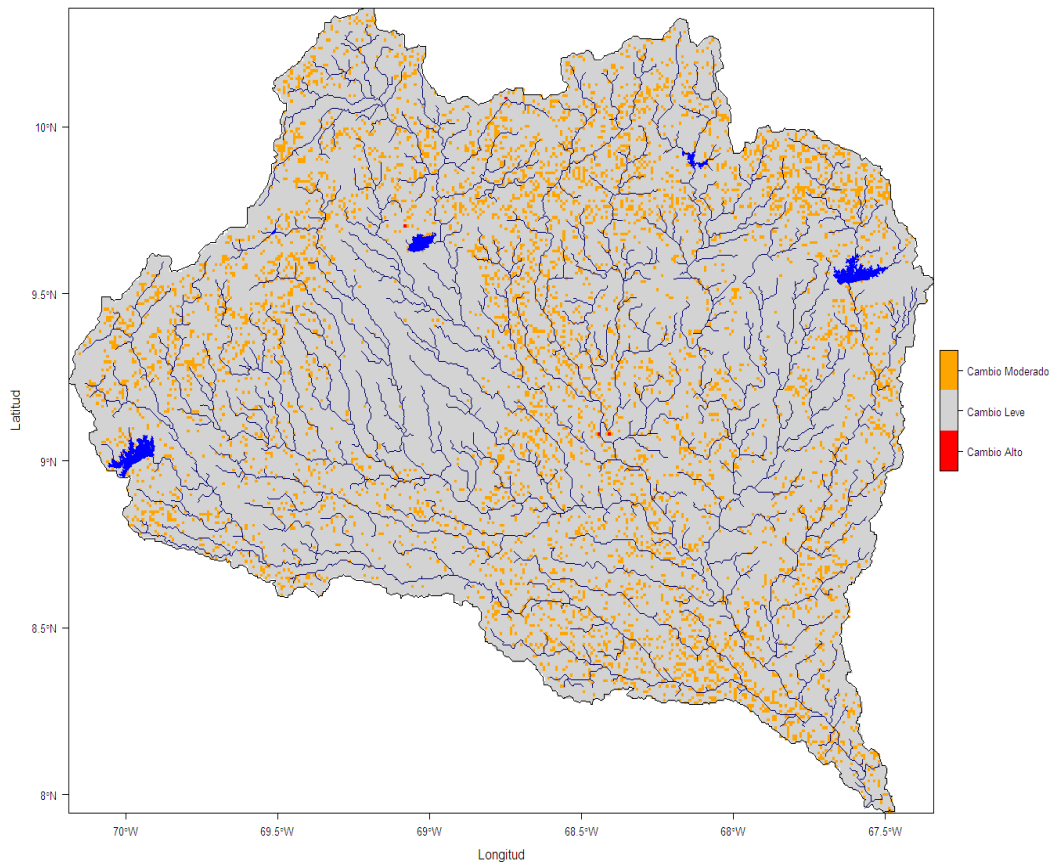


Figura 3 Intensidad de los cambios en la cuenca del río Portuguesa durante el periodo 2002-2012. Las clases que cambian ocasionalmente corresponde a 'Cambio Leve'; cambian entre 1 y 5 años corresponden a 'Cambio Moderado'; cambian en más de 5 años corresponden a 'Cambio Alto'

versión entre clases; en especial, desde SA a CU y viceversa. En términos cuantitativos, se encontró que entre 2001 y 2012, 88,74 % de la superficie total de la cuenca fue predominantemente persistente (5.207.875 hectáreas), 11,25 % experimentó una recurrencia relativamente moderada de cambios (660.200 hectáreas), mientras que 0,01 % mostró un alta recurrencia de cambios entre años consecutivos (425 hectáreas). Este análisis espacial ejemplifica la marcada persistencia interanual de los paisajes que conforman la cuenca; en particular, las clases ANV y AU (ver en **cuadro 1**, como casi no varían entre años consecutivos).

4.3 Los procesos de deforestación

De acuerdo con el producto MCD12Q1, la tasa de deforestación promedio anual en la cuenca, entre los años 2001 y 2012, fue igual a 1,40 %. Esta métrica indica que la clase BO ganó terreno durante este periodo de 12 años. No obstante, su cálculo interanual (**Cuadro 2**), muestra que este proceso sigue un patrón no lineal. Por ejemplo, desde 2002 hasta 2005, así como en 2007 y 2009, los bosques se retrajeron (promedio: -7,27 %); pero en 2006, 2008 y desde 2010 en adelante, registraron una ganancia moderada (promedio: 14,28 %). Un análisis de las matrices de transición durante los años en que ocurrió una ganancia interanual en la clase BO (i.e., 2006/05, 2008/07, 2010/09, 2011/10 y 2012/11), reveló que tal ganancia se debió en gran medida a la migración de áreas ocupadas inicialmente por la clase SA hacia la clase BO, mientras que aquellos años en que la clase BO disminuyó en años consecutivos (i.e., 2002/01, 2003/02, 2004/03, 2005/04, 2007/06 y 2009/08), se observó una

substantial migración de áreas ocupadas inicialmente por BO hacia CU o SA. La súbita ganancia interanual de bosques debe ser vista con relativa cautela, pues el algoritmo de clasificación usado en la elaboración de producto MCD12Q1, es susceptible a errores de clasificación; es decir, un pixel no boscoso, puede ser catalogado como BO.

Aunque el promedio anual de deforestación pudiese parecer pequeño (1,40%), debe enfatizarse que esta estimación es unas dos veces más grande que el valor nacional encontrado por Angulo *et al.* (2011) durante el periodo 2001-2008 (0,68%). Es decir, la conversión desde otras coberturas a bosques entre 2001 y 2012 puede interpretarse como moderadamente alta.

Al explorar la distribución espacial de los bosques en el periodo 2001-2012, se observó que los más extensos y persistentes se localizan en las tierras altas de los ríos Guanare, Guache, Acarigua y en el sector Río Claro, al noroeste del estado Cojedes (**Figura 4**). Fuera de estas regiones, los bosques se muestran fragmentados. Por otro lado, cabe resaltar que el mínimo en extensión para la clase BO registrado en el 2009 (**Cuadro 1**), coincidió con una amplia conversión a otras cubiertas en la cuenca alta de los ríos Guanare y Acarigua, pero que consiguió recuperarse entre 2010 y 2012.

5. Conclusiones

Los resultados de este estudio revelaron que: **i**) los cambios de uso/cobertura de la tierra con mayor extensión superficial se asociaron con la conversión de cultivos en sabanas y viceversa; **ii**) los cambios de uso/cobertura de la tierra a escala interanual no afectaron más del 20 % del área total de la

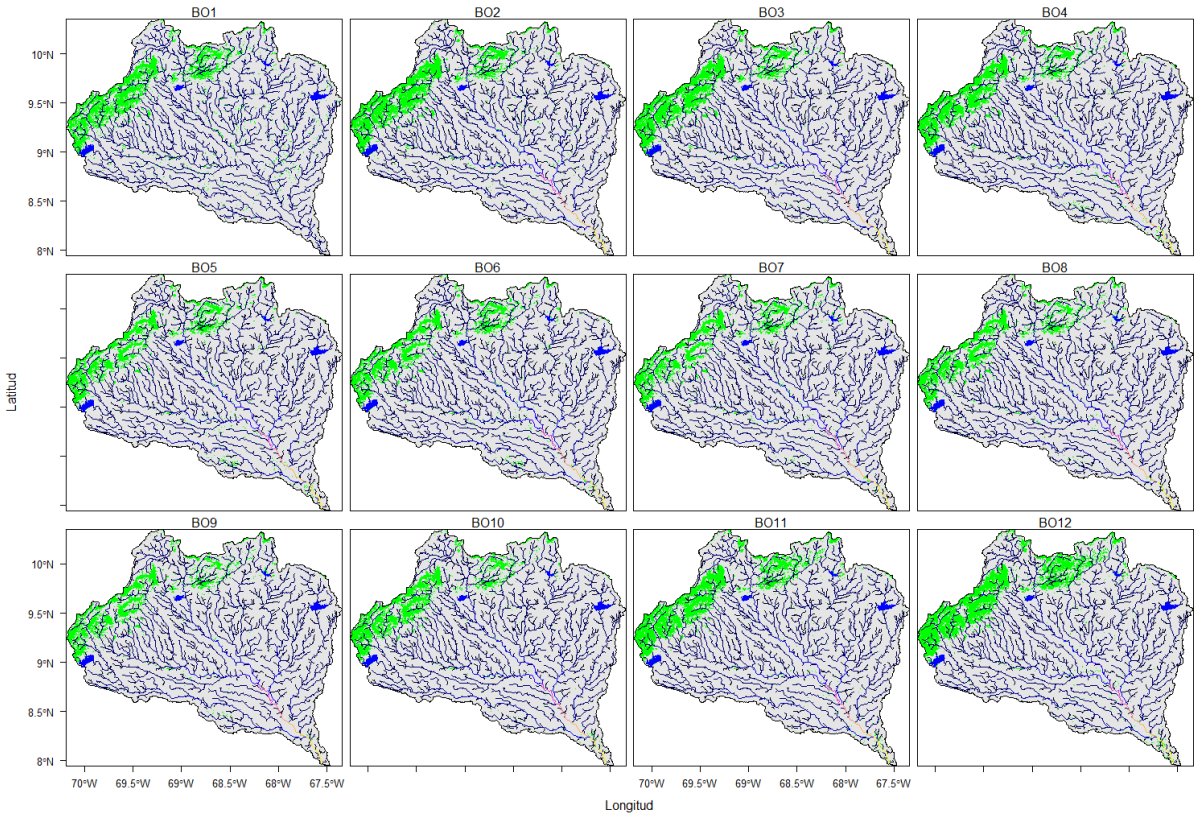


Figura 4 Distribución espacial de los bosques en la cuenca del río Portuguesa durante el periodo 2001-2012. Las regiones de color verde simbolizan los bosques. El panel BO1 corresponde al año 2001, BO2 al año 2002 y así sucesivamente

cuenca, pero su persistencia global a largo plazo mostró una débil tendencia negativa que se ve reflejada por una ligera merma temporal en su capacidad interanual de persistencia; **iii**) la ganancia en la categoría bosques se debió en gran medida a la migración de áreas de sabanas a bosques; **iv**) la tasa de deforestación interanual fue significativamente variable, pero se encontró que los bosques se recuperaron notablemente entre 2010 y 2012 sobre las tierras altas de las cuencas de los ríos Guanare y Acarigua.

6. Agradecimientos

Este estudio fue financiado por CAPES/CEMADEN/MTCI Edital Pró-Alertas no 24/2014 en el marco del proyecto 'Análise e Previsão dos Fenômenos Hidrometeorológicos Intensos do Leste do Nordeste Brasileiro' y 26001012005P5 PNPd-UFAL/Meteorologia. Los autores agradecen los valiosos comentarios de los revisores.

7. Referencias citadas

- 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. & M. MUÑIZ. 2013. “Deforestation and reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010)”. *Biotrópica*, 45(2): 262-271.
- ALDANA, A. y J. BOSQUE. 2008. “Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003”. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (8): 139-168.
- ANGULO, C. P.; SUÁREZ, I. A. y D. MOLLICONE. 2011. “Dinámica de la deforestación en Venezuela: análisis de los cambios a partir de mapas históricos”. *Interciencia*, 36(8): 578-586.
- ARINO, O.; GROSS, D.; RANERA, F.; LEROY, M.; BICHERON, P.; BROCKMAN, C. & L. BOURG. 2007. “GlobCover: ESA service for global landcover from MERIS”. In *2007: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. pp. 2.412-2.415.
- BLANCO, P. D.; COLDITZ, R. R.; SALDAÑA, G. L.; HARDTKE, L. A.; LLAMAS, R. M.; MARI, N. A.; FISCHER, A.; CARIDE, C.; ACEÑOLAZA, P. G. & H. F. DEL VALLE. 2013. “A landcover map of Latin America and the Caribbean in the framework of the SERENA Project”. *Remote sensing of environment*, 132: 13-31.
- BOMMARCO, R.; KLEIJN, D. & S. G. POTTS. 2013. “Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security”. *Trends in ecology & evolution*, 28(4): 230-238.
- BRICEÑO, D. R. 2004. “La biodiversidad en la ecorregión de los Llanos de Venezuela y las prioridades para su conservación”. *Revista Ecosistemas*, 13(2): 124-129.
- CARDINALE, B. J.; DUFFY, J. E.; GONZALEZ, A.; HOOPER, D. U., PERRINGS, C.; VENAIL, P.; NARWANI, A.; MACE, G.; TILMAN, D.; WARDLE, D. A.; KINZIG, A. P.; DAILY, G. C.; LOREAU, M.; GRACE, J. B.; LARIGAUDERIE, A.; SRIVASTAVA, D. S. & SH. NAEEM. 2012. “Biodiversity loss and its impact on humanity”. *Nature*, 486(7401): 59-67.
- CASADO, B. G.; ARANDIA, I. I.; LLORENTE, M. G. y B. M. LÓPEZ. 2013. “Entendiendo las relaciones entre los paisajes y los servicios de los ecosistemas. Un análisis desde la historia socio-ecológica”. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*, (10): 241-268.
- CHACÓN-MORENO, E.; ULLOA, A.; TOVAR, W.; MÁRQUEZ, T. C.; SULBARÁN-ROMERO, E. y M. RODRÍGUEZ-MORALES. 2013. “Sistema de clasificación ecológico y mapas de ecosistemas: enfoque conceptual-metodológico para Venezuela”. *Ecotrópicos*, 26: 1-27.
- CLARK, M. L.; AIDE, T. M. & G. RINER. 2012. “Land change for all municipalities in Latin America and the Caribbean assessed from 250-m MODIS imagery (2001-2010)”. *Remote Sensing of Environment*, 126: 84-103.

- CLEMENTE, O. J. G.; DÍAZ, M. B.; BOADAS, Z. D. V. M. y J. M. CARRERA. 2014. “Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela”. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2014(85): 18-32.
- ECHEVARRÍA, G. y C. MARRERO. 2012. “Determinación del estado ecológico del río Guanare, estado Portuguesa, Venezuela, utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores”. *Acta Biológica Venezuelica*, 32: 29-55.
- ECHEVARRÍA, G. y A. MACHADO-ALLISON. 2015. “La ictiofauna de los esteros de Camaguán (río portuguesa), estado Guárico, Venezuela. *Acta Biológica Venezuelica*, 35: 75-87.
- FOGHIN-PILLIN, S. 2002. *Tiempo y clima en Venezuela: aproximación a una geografía climática del territorio venezolano*. Instituto Pedagógico de Miranda ‘José Manuel Siso Martínez’, Subdirección de Investigación y Postgrado. Caracas, Venezuela.
- FRIEDL, M. A.; SULLA-MENASHE, D.; TAN, B.; SCHNEIDER, A.; RAMANKUTTY, N.; SIBLEY, A. & X. HUANG. 2010. “MODIS Collection 5 global landcover: Algorithm refinements and characterization of new datasets”. *Remote Sensing of Environment*, 114(1): 168-182.
- GONZÁLEZ, O. y Z. MILLÁN. 2016. “Granulometría de los sedimentos fluviales del canal principal y llanura aluvial del río Portuguesa, Venezuela”. *Revista de Investigación del Instituto Pedagógico de Caracas*, 40(87): 122-147.
- GONZÁLEZ, O.; BEZADA, M.; MILLÁN, Z. y J. CARRERA. 2013. “Cambios paleoambientales durante el pleistoceno tardío-holoceno de la cuenca del río Portuguesa, llanos centro-occidentales, Venezuela”. *Interciencia*, 38(10): 696-704.
- GUENNI, L.; DEGRYZE, E. y K. ALVARADO. 2008. “Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela”. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(1): 41-65.
- HERNÁNDEZ, R. L.; GOLSTEIN, I. y N. PULIDO. 2014. “Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela II: actores y factores movilizados de la deforestación”. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2): 213-237.
- HUBER, O. y C. ALARCÓN. 1988. *Mapa de vegetación de Venezuela*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables – Global Forest Watch. Caracas, Venezuela.
- HUNGH, E. D.; BELWARD, A. S.; DE MIRANDA, E. E.; DI BELLA, C. M.; GOND, V.; HUBER, O.; JONESK, S.; SGRENZAROLI, M. & S. FRITZ. 2004. “A landcover map of South America”. *Global Change Biology*, 10(5): 731-744.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2011. “Población empadronada por sexo, según entidad federal, municipios y parroquias, Censo 2011”. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.gov.ve/>. [Consulta: septiembre, 2016].

- KOLINJIVADI, V.; GAMBOA, G.; ADAMOWSKI, J. & N. KOSOY. 2015. “Capabilities as justice: Analysing the acceptability of payments for ecosystem services (PES) through ‘social multi-criteriaevaluation’”. *Ecological Economics*, 118: 99-113.
- LIBISELLER, C. & A. GRIMVALL. 2002. “Performance of partial Mann-Kendall tests for trend detection in the presence of covariates”. *Environmetrics*, 13: 71-84.
- LOVELAND, T. R.; REED, B. C.; BROWN, J. F.; OHLEN, D. O.; ZHU, Z.; YANG, L. W. M. J. & J. W. MERCHANT. 2000. “Development of a global landcover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data”. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7): 1.303-1.330.
- MARTELO, M. T. 2003. *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático*. Dirección General de Cuencas Hidrográficas–MARN. Disponible en: <http://www.inameh.gob.ve/documentos/>. [Consulta: marzo, 2015].
- PACHECO, C.; AGUADO, I. y D. MOLLICONE. 2011. “Las causas de la deforestación en Venezuela: un estudio retrospectivo”. *Biollania*, 10: 281-292.
- PAREDES, F.; MILLANO, J. y E. GUEVARA. 2008. “Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996”. *Revista de Climatología*, 8: 15-27.
- QUIROZ, I.; PAREDES, F. y E. GUEVARA. 2016. “Incidencia de las sequías sobre las cuencas aportantes a los grandes embalses en Venezuela”. *Ágora de Heterodoxias*, 2(31): 65-89.
- ROBERTSON, G. P.; GROSS, K. L.; HAMILTON, S. K.; LANDIS, D. A.; SCHMIDT, T. M.; SNAPP, S. S. & S. M. SWINTON. 2014. “Farming for ecosystem services: An ecological approach to production agricultura”. *BioScience*. DOI: 10.1093/biosci/biu037.
- RODRÍGUEZ-OLARTE, D. y M. BARRIOS. 2014. “Gradientes, estabilidad y estado de conservación de peces en la cuenca alta del río Turbio, vertiente andina del Orinoco, Venezuela”. *Revista de Biología Tropical*, 62(3): 987-996.
- SEN, P. K. 1968. “Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau”. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1.379-1.389.
- VERGARA, G. y J. GAYOSO. 2004. “Efecto de factores físico-sociales sobre la degradación del bosque nativo”. *Bosque (Valdivia)*, 25(1): 43-52.
- VÍLCHEZ, J. 2000. “Evaluación de la exactitud de modelos de elevación digital (MED) de malla regular generados a partir de curvas de nivel”. *Revista Geográfica Venezolana*, 41(2): 239-256.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
San Carlos (Cojedes), Venezuela;
septiembre, 2016