
CAUSAS DIRECTAS QUE INDUCEN EL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y DE LA COBERTURA BOSCOSA, A ESCALA DE PAISAJE, EN EL SUR DE VENEZUELA

LUZ A. DELGADO M., SILVIA MATTEUCCI, MIGUEL ACEVEDO, CAROL VALERI, RAFAEL BLANCA y JESERLIS MÁRQUEZ

RESUMEN

Las causas directas que inducen el cambio de cobertura boscosa por cambios en el uso del suelo han sido identificadas como categorías generales. Sin embargo, estas categorías no captan la forma diferenciada en que las personas responden a las oportunidades socioeconómicas que impulsan los cambios en el uso del suelo a escala local. Se determinó si las causas, a nivel individual, que inducen el cambio de la cobertura boscosa al usar la tierra son similares en los mosaicos del paisaje de la cuenca alta del río Botanamo, en el sur de Venezuela. Se identificaron los actores con mayor potencial de impactar el bosque en la cuenca y se caracterizaron en tres dimensiones: socioeconómica, manejo y tenencia de la tierra y cambios de uso/cobertura, a partir de la aplicación de cuestionarios semi-estruc-

turados. Cada encuesta fue georreferenciada para relacionarla con los mosaicos del paisaje y se utilizó análisis discriminante para identificar las variables que contribuyen a diferenciar entre mosaicos. Los ganaderos y residentes agricultores criollos son los actores que más impactan el bosque y las causas impulsoras directas que inducen los cambios difieren en los tres mosaicos del paisaje: bajos ingresos familiares en el mosaico de bosque continuo y sin uso aparente, unidades de producción <10ha en áreas de expansión urbana, y grandes unidades de producción pecuaria (500-5000ha) en el mosaico más fragmentado. Los resultados indican que las causas directas de la deforestación en la cuenca están acopladas con cambios espaciales y temporales del paisaje.

La pérdida y fragmentación del bosque pueden ser causadas por procesos naturales que alteran lentamente la configuración del medio físico-natural o por

actividades humanas que pueden alterar el ambiente de una forma mucho más rápida. En algunos paisajes la cobertura boscosa ha mantenido su estabilidad durante siglos; en otros, por ejemplo los tro-

picales, ha sido cambiante como resultado de la deforestación por actividades de uso del suelo (Fearnside, 1985; Etter *et al.*, 2006; Schulte *et al.*, 2007). Entender el efecto de las interacciones entre

PALABRAS CLAVE / Bosque Tropical / Cambios de Uso / Cobertura del Suelo / Imataca / Mosaicos del Paisaje / Suelos /

Recibido: 03/10/2014. Modificado: 27/11/2016. Aceptado: 15/02/2017.

Luz A. Delgado M. Ingeniera Forestal, Universidad de los Andes (ULA), Venezuela. Magister en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG), Venezuela. Profesora Investigadora, UNEG, Venezuela. Dirección: Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayana (CIEG). Sede Investigación y Postgrado, UNEG. Calle Chile. Urbanización Chilemex. Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. e-mail: luza.delgadam@gmail.com

Silvia Matteucci. Licenciada en Ciencias Biológicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Ph.D., Duke University, EEUU. Investigadora, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Miguel Acevedo. Master en Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación, y Doctor en Biofísica, University of California at Berkeley, EEUU. Profesor, University of North Texas, EEUU.

Carol Valeri. Licenciada en Geografía, UCV, Venezuela. Magister en Ciencias Ambientales UNEG, Venezuela. Profesora Investigadora, UNEG, Venezuela.

Rafael Blanca. Licenciado en Educación. Investigador, UNEG, Venezuela.

Jeserlis Márquez. Geógrafa, ULA, Venezuela. Coordinadora de SEEN, Instituto Nacional de Estadística, Estado Bolívar, Venezuela.

las causas que inducen el cambio de uso del suelo (procesos de decisión humana) y la cobertura boscosa (patrones de distribución espacial), es considerado clave para analizar las consecuencias sobre la biodiversidad y pronosticar cambios futuros (Bennett *et al.*, 2006; Acevedo *et al.*, 2008; Haines-Young, 2009).

En los estudios de biodiversidad en paisajes boscosos tropicales modificados por el hombre, un objetivo central es la identificación de las fuerzas o causas impulsoras de los cambios de uso del suelo que inducen cambios en la cobertura boscosa y en la biodiversidad que contienen. En estos bosques, numerosos estudios mostraron que la deforestación es la actividad humana de mayor impacto, impulsada por combinaciones sinérgicas de causas inmediatas y fuerzas subyacentes, las que varían entre regiones (Geist y Lambin, 2001). Las causas inmediatas están referidas a las actividades humanas que afectan directamente el bosque al usar el suelo y constituyen fuentes inmediatas de cambios (Geist y Lambin, 2002), siendo la expansión agrícola, la extracción de madera y la expansión de la infraestructura las principales causas inmediatas identificadas. Por su parte, las fuerzas subyacentes son fundamentalmente procesos sociales que apuntalan las causas directas a nivel local, o actúan indirectamente desde nivel nacional o incluso mundial. Entre los principales factores subyacentes indicados están los factores demográficos, económicos, tecnológicos, políticos/institucionales y culturales o socio-políticos (Geist y Lambin, 2001, 2002).

Si bien las causas inmediatas más generales de la deforestación han sido identificadas como categorías amplias agregadas, utilizando una combinación de información espacial sobre asentamientos (distancia a centros poblados, tenencia del suelo, densidad poblacional, etc.), infraestructura (distancia a vías, etc.) y uso del suelo en relación con la distribución de los ecosistemas (Kapos *et al.*, 2000; Serneels y Lambin, 2001), los procesos que operan a escalas locales a menudo son menos conocidos (Deadman *et al.*, 2004). Brondizio y Moran (2012) señalan que estas categorías generales no captan las formas diferenciadas en las que sub-unidades regionales, comunidades e individuos responden a las políticas a macro-escala, en el contexto de las condiciones locales, y que tampoco son capaces de identificar las soluciones alternativas del uso del suelo, visibles a nivel local, entre otras causas porque diferentes actividades de uso del suelo afectan a los bosques de manera diferente y la magnitud de los efec-

tos dependerá en gran medida de los métodos empleados a nivel local, el tipo de bosque y de otros factores dentro y alrededor del ecosistema.

Por tal motivo, Lambin *et al.* (2001) proponen como vías alternativas los estudios de caso, ya que las causas inmediatas que inducen el cambio de uso del suelo y de la cobertura boscosa son diferentes para diversas regiones y escalas (Geist y Lambin, 2001; Pickett *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2003) y están mejor soportadas por la respuesta de las personas a las oportunidades económicas que impulsan cambios de ocupación del suelo. Estos autores plantean la necesidad de establecer los patrones de causalidad específica o locales de la pérdida y fragmentación del bosque por cambios en el uso del suelo, tomando la información a nivel del hogar, en lugar de toda la región y/o paisaje. En la Amazonía, por ejemplo, en zonas de bosque caracterizadas por el tipo de colonización agrícola, encontraron que los hogares de agricultores contribuyen significativamente a los cambios de uso y cobertura del suelo, afectando los patrones de deforestación por una variedad de factores relacionados con la composición de los hogares, el capital disponible y la fertilidad del suelo (McCracken *et al.* 1999).

En el caso de Venezuela, en la Reserva Forestal Imataca (RFI; 3,8×106ha), la cual forma parte de una de las regiones más amplias del planeta con cobertura forestal continua, los bosques amazónicos (Miranda *et al.*, 1998; Huber y Foster, 2003 citados por Lozada *et al.*, 2007), los patrones de actividad humana en zonas adyacentes a sus fronteras, están poniendo en riesgo la viabilidad de los bosques y de la biodiversidad que contienen, en el mediano y largo plazo. Uno de estos lugares es la cuenca alta del río Botanamo (CARB), donde el patrón de deforestación y fragmentación del bosque ha ocurrido de manera desigual, como resultado de cambios de uso de magnitudes diferentes, incorporado variabilidad en la heterogeneidad del paisaje, conformando un gradiente de transformación que pudo ser diferenciado en cuatro mosaicos del paisaje homogéneos, en su estructura espacial y condiciones del bosque (Delgado, 2015).

En este contexto y dada la necesidad de desarrollar estrategias específicas para promover la conservación y manejo sustentable del bosque, dirigidas a los actores que hacen uso del suelo en la cuenca, el objetivo de este estudio es determinar si las causas del cambio de cobertura boscosa y del uso del suelo que influyen la toma de decisiones a nivel del hogar, son similares en los tres mosaicos fragmentados del paisaje de la CARB.

Se parte del supuesto que la heterogeneidad en el patrón espacial del paisaje en la cuenca conduce a la variabilidad en las causas que inducen a los actores a talar el bosque. Los patrones de causalidad específica en cada mosaico del paisaje pudieron ser identificados integrando métodos de las ciencias sociales, como lo son la aplicación de encuestas semiestructuradas, las cuales fueron georreferenciadas a fin de relacionarlas con cambios de la cobertura boscosa observada a través de satélites de teleobservación.

La información así generada resulta clave para enriquecer la planificación para el uso sustentable del suelo (Lambin *et al.*, 2001; Butchart *et al.*, 2010) si las medidas de mitigación son dirigidas a operar sobre las causas específicas de la deforestación en cada mosaico del paisaje de la cuenca, minimizando así el deterioro de las funciones ecológicas del bosque y de la calidad de vida de la población.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La cuenca alta del río Botanamo (CARB) forma parte de la cuenca del río Cuyuní, afluente del río Esequibo, dentro de la red de drenaje del Escudo Guayanés. Tiene una extensión de 2556km², y está localizada en el Municipio Sifontes, Estado Bolívar, Venezuela (Figura 1). En ella confluyen tierras bajo régimen de administración especial perteneciente a la RFI (52%), cubiertas casi en su totalidad por bosques continuos, y tierras públicas y privadas muy heterogéneas.

Geológicamente, la CARB está ubicada sobre el complejo Supamo. Los suelos son de origen residual, clasificados como ultisoles y entisoles (CVG TECMIN, 1987). En el paisaje predominan lomas y colinas, con alturas relativas entre 50 y 250m. Hacia el límite noroeste, ocupando una pequeña porción, el relieve es de montañas y lomeríos con desniveles ≤500m. La cuenca está ubicada en el bioclima ombrófilo macrotérmico, con una temperatura media mensual de 26°C, máxima promedio de 27,1°C y mínima promedio de 24,4°C. Presenta una precipitación media anual de 1284mm, con distribución mensual unimodal (CVG TECMIN, 1987). En el sector oeste de la cuenca están presentes bosques semicaducifolios, en combinación con sabanas gramíneas, arbustales edáficos y matorrales secundarios, mientras que en el sector este, en tierras de la RFI donde la precipitación alcanza los 1600mm anuales, están presentes bosques semi-siempreverdes a siempreverdes, caracterizados por mayor complejidad estructural y florística.

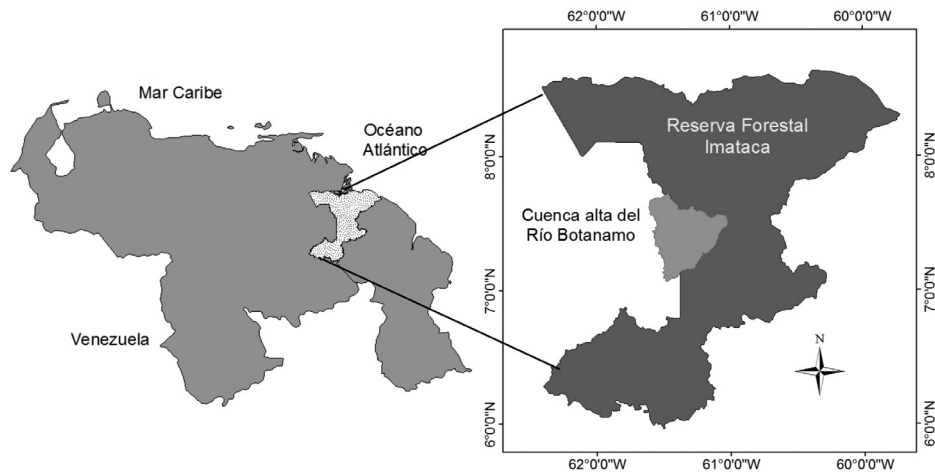


Figura 1. Ubicación relativa de la Reserva Forestal Imataca y de la cuenca alta del río Botanamo. Sistema de coordenadas proyectadas WGS_1984. Sistema de Proyección Geográfica UTM (*Universal Transverse Mercator*), zona 20N.

En síntesis, a nivel de meso-escala, la complejidad ambiental de la cuenca, basada en la distribución espacial del conjunto de elementos físico-ambientales que la caracterizan, pudiera clasificarse como baja, debido a que las condiciones ambientales son más o menos homogéneas.

Historia de los cambios de uso del suelo y cobertura boscosa

En la CARB, los principales cambios de uso y cobertura del bosque pueden resumirse en cuatro momentos históricos. Hasta mediados del siglo XVII estuvo ocupada exclusivamente por el pueblo indígena Kamaracoto, cuya subsistencia se basó en el uso de cultivos itinerantes, denominados localmente como ‘conucos’ (Carrocera, 1979). Observaciones en campo realizadas por Rafael Blanca (comunicación personal) muestran evidencias de que los bosques fueron impactados por procesos de deforestación por los pueblos indígenas antes de la llegada de los misioneros Capuchinos. En 1788 se inició el proceso de ocupación de la tierra por misiones españolas, al fundar la población de Tumeremo (Carrocera, 1979), capital actual del municipio Sifontes, motivada por las condiciones naturales del suelo, presencia de sabanas y abundante agua, favorables para la cría de ganado. Dos siglos más tarde, por ser una zona sumamente atractiva para la cría de ganado, hubo un incremento poblacional que expandió la actividad ganadera hacia los ejidos de Tumeremo en un radio de 5km, incrementando la deforestación de los bosques. Durante esta época hubo, además, una importante producción de azúcar en un ingenio azucarero ubicado al pie del cerro Nuria (Cabrera, 1984).

La actividad productiva basada en la ganadería y la agricultura de subsistencia permaneció como vanguarda en la zona hasta finales del siglo XIX, cuando fue incorporada la producción de balatá. Esta actividad consistía en extraer el látex del árbol ‘purgüo’ (*Manilkara bidentata*) para obtener caucho natural y si bien no implicaba la eliminación de la cobertura boscosa, sí afectaba su estructura y composición florística. La explotación del balatá en las regiones de El Dorado y Tumeremo trajo como consecuencia el descubrimiento, en 1885, de grandes yacimientos de oro de aluvión, así como de filones y vetas (Pimentel y Flores, 2010). Finalmente, en la segunda mitad del siglo XX se creó la Reserva Forestal Imataca (RFI) y se otorgaron las primeras concesiones madereras en la zona, acentuándose, también, el auge de la explotación aurífera.

Actores generadores de impacto directo en la cobertura boscosa

A efectos de identificar a los actores generadores de cambio de la cobertura boscosa en la cuenca se definió como actores, en reunión de expertos, a quienes cumplen un rol o una asociación de roles que generan impactos directos medibles sobre la cobertura boscosa y que, a su vez, son afectados por los cambios suscitados en su entorno. Una vez identificados los actores que usan el bosque en la cuenca, fueron caracterizados teóricamente de acuerdo a las acciones específicas y reglas de decisión que utilizan para cumplir con el rol que desempeñan, y que son consideradas determinantes en sus efectos directos sobre el cambio de uso y cobertura del bosque, siguiendo la metodología multiagente propuesta por

Moreno *et al.* (2007). A partir de esa caracterización, las actividades generadoras de cambio en la cobertura boscosa realizadas por los diferentes actores fueron categorizadas según el potencial impacto sobre el bosque.

Factores impulsores del cambio de la cobertura boscosa por cambios en el uso del suelo

En Delgado, 2015 el paisaje de la CARB fue diferenciado en unidades o mosaicos del paisaje homogéneos, en la proporción de bosque, dinámica espacial y temporal de la deforestación y fragmentación del bosque, estructura del paisaje y en el patrón de uso del suelo (Figura 2). Los tipos de cobertura y usos de la tierra están ampliamente descritos en Delgado (2015). De los cuatro mosaicos delimitados, fueron seleccionados para el análisis los mosaicos 1, 2 y 3 ya que en ellos fue donde se evidenció la pérdida y fragmentación del bosque. Estos mosaicos se encuentran dentro de la CARB pero localizados fuera de RFI, y representan diferentes grados de transformación del paisaje, asociados al uso pecuario, periurbano y sin uso aparente.

Para conocer las causas que inciden en la decisión de talar el bosque se seleccionó una muestra de los actores ganaderos y residentes-agricultores mayores de 18 años, habitantes de los tres mosaicos antes indicados, quienes fueron caracterizados a partir de la aplicación de un cuestionario semi-estructurado, en tres dimensiones: socioeconómica, manejo y te-

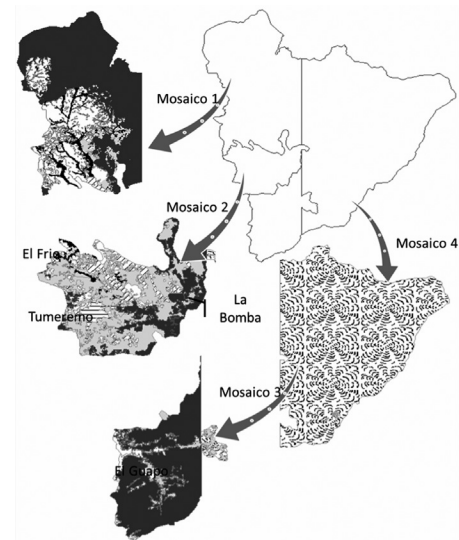


Figura 2. Clasificación de la cuenca alta del río Botanamo en mosaicos del paisaje, año 2011 (Fuente: Delgado, 2015). Los puntos negros corresponden a la ubicación referencial de las encuestas.

nencia de la tierra, y cambios de uso y cobertura boscosa. Se seleccionó un total de 70 hogares, encuestando una persona por hogar. Dicha encuesta fue previamente validada y en la aplicación de la misma se registraron las coordenadas geográficas con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (GPS; Garmin 12CX), a efecto de poder relacionarlas con los mosaicos del paisaje de la cuenca.

Los usuarios de la tierra encuestados fueron clasificados en tres grupos de acuerdo al tipo de mosaico (variable dependiente) donde están ubicados: Grupo 1 en el mosaico 1; Grupo 2 en el 2 y; Grupo 3 en el mosaico 3 (Figura 2). En la entrevista se pidió que respondan y valoren 14 preguntas (variables independientes): nivel académico, ingreso familiar, ocupación, años de residencia; tipo e intensidad de uso, propiedad y tenencia de la tierra, superficie que ocupa; uso inicial, cambio de uso, actividades de uso que impacta el bosque y productos que extrae. Todas las variables fueron recodificadas en variables no métricas categóricas con valores ficticios. En la Tabla I se presentan las dimensiones e indicadores con sus

respectivos valores. Una vez revisados los cuestionarios quedaron 67 entrevistas válidas, resultaron 14 variables clasificatorias ($p=14$) y tres grupos a discriminar ($q=3$).

El tamaño de la muestra total ($n=67$) se distribuye de la siguiente manera: 15 personas encuestadas pertenecientes al mosaico 1, 31 del mosaico 2, y 19 del mosaico 3 ($n_1=15$, $n_2=31$ y $n_3=19$). El tamaño de la muestra se determina para una población rural agrupada en ~463 hogares. Según el censo de 2011 (INE, 2011), en Venezuela el 11,2% de la población habita en zonas rurales.

Para establecer las diferencias existentes entre los tres tipos de mosaicos, luego de ser caracterizadas mediante el conjunto de variables antes indicadas, se utilizó un análisis discriminante a fin de identificar las variables que contribuyen significativamente a establecer diferencias entre mosaicos. Los mosaicos del paisaje fueron utilizados como variables discriminantes espaciales y los datos de las encuestas como variables predictoras. En este caso, el método paso a paso para la selección de variables fue el apropiado, usando como criterio de entrada y

salida de variables el de minimizar el valor del estadístico Lambda de Wilks, con un nivel de significación de 0,05 para entrar y 0,10 para salir. El programa estadístico utilizado fue el SPSS versión 10.0.

Resultados

Identificación de actores

Los actores identificados fueron: concesionarios forestales, ganaderos, indígenas, concesionarios mineros, pequeños mineros, Estado, agricultores y residentes agricultores; y las actividades con potencial impacto sobre la cobertura boscosa fueron: apertura de vías, construcción de viviendas, deforestación, uso del agua, cacería, pesca y agricultura de subsistencia. La Tabla II presenta un resumen de los actores que usan el suelo y las actividades generadoras de cambio en la cobertura boscosa, categorizadas de manera cualitativa en reunión de expertos, según el potencial impacto sobre el bosque.

Los ganaderos y residentes agricultores criollos resultaron ser los actores con mayor potencial de producir

TABLA I
DIMENSIONES E INDICADORES DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS

Categorías de las variables socioeconómicas				
Nivel de instrucción	Ingreso familiar (Bs)	Ocupación de mayor ingresos		Años de residencia
1) Primaria	1) <1000	1) Minero		1) <1-5
2) Bachillerato	2) 1001-5000	2) Ganadero		2) 5-10
3) Universitaria	3) 5001-10000	3) Agricultor		3) 10-20
4) Técnico	4) >10000	4) Pecuario-Agricultor		4) 20-30
5) Ninguno		5) Agricultor-Minero		5) 30-40
		6) Forestal		6) 40-50
		7) Otros		7) >50
				8) Sin información
Categorías de las variables de uso del suelo				
Tipo de uso del suelo	Intensidad de uso	Propiedad de la tierra	Tenencia de la tierra	Superficie de la unidad de producción (ha)
1) Agrícola	1) Pecuario extensivo	1) Privada	1) Aparcero	1) <1ha
2) Pecuario	2) Pecuario intensivo	2) Nación	2) Arrendatario	2) 1-5ha
3) Forestal	3) Agrícola de subsistencia	3) Municipio	3) Ocupante	3) 6-10ha
4) Minero	4) Agrícola comercial		4) Privada	4) 11-20ha
5) Residencial	5) Pecuario extensivo-Agrícola comercial			5) 21-100ha
6) Turístico	6) Pecuario extensivo-Agrícola subsistencia			6) 101-500ha
7) Pecuario-Agríc.	7) No aplica			7) >500ha
	8) Sin información			
Categorías de cambio de uso y cobertura de la tierra				
Uso inicial	Cambio de uso	Motivo de cambio de uso	Actividad que realizó para afectar el bosque	Productos que extrae del bosque
1) Agrícola	1) Agrícola	1) Agricultura	1) Deforestación	1) Madera
2) Pecuario	2) Pecuario	2) Ganadería	2) Quema	2) Fauna
3) Pecuario-Agríc.	3) Pecuario-Agríc.	3) Pecuario	3) Extracción selectiva	3) Prod. medicinales
4) Forestal	4) Forestal	4) Minería	4) Deforestación-Quema	4) Alimento
5) Minero	5) Minero	5) Residencial	5) Sin información	5) Madera-Productos medicinales
6) Residencial	6) Residencial	6) Falta de empleo		6) Madera-Fauna
7) Turístico	7) Turístico	7) No aplica		7) Madera-Fauna-Prod. Medic.-Alimento
8) Sin informac.	8) Sin cambio	8) Sin Información		8) Madera-Alimento
9) Montes	9) Sin informac.			9) Ninguno

ACTORES CON POTENCIAL IMPACTO EN LA COBERTURA BOSCOSEA Y SU RELACIÓN CON ACTIVIDADES GENERADORAS DE CAMBIO EN LA COBERTURA BOSCOSEA

Actores	Actividad	Apertura de vías	Construcción de viviendas	Deforestación	Uso del agua	Cacería	Pesca	Agricultura de subsistencia
Concesionario forestal		A	B	B	B	M	B	
Ganadero		M	B	A	M	M	B	B
Concesionario minero		M	B	ⓑ	B	B	M	
Pequeño minero		M	B	Ⓜ	A	A	M	B
Residentes agricultores		M	A	ⓐ	M	M	M	A
Criollo urbano			M	B	A	B	B	B
Pueblos indígenas				B	B	M	A	B
Gobierno		A	A		A			

A: alto, M: medio, B: bajo. Fuente: Delgado *et al.* (2005).

cambios en la cobertura boscosa por deforestación, debido a cambios en el uso del suelo.

Aspectos demográficos y de uso del suelo

Una vez identificada la condición de los actores se procedió a analizar aspectos demográficos de la población que permitieran entender el patrón de distribución de la población y su relación con el cambio de uso y cobertura del bosque. La distribución espacial de la población en la cuenca es desigual, ya que el mayor porcentaje (59% del total para la sección capital Sifontes) se concentra en el sur-oes-te de la cuenca, en la ciudad de Tumeremo y sus alrededores. Algunos caseríos como La Bomba, Chuponal y El Frío, con muy baja densidad poblacional, se han formado a lo largo de las vías de penetración que confluyen a la ciudad de Tumeremo (Figura 2). Fuera de la Reserva, según las encuestas realizadas, el 52% son tierras privadas; un 30% es propiedad de la nación y un 18% son tierras municipales, destinadas al uso residencial y/o agricultura de subsistencia, actualmente habitada por arrendatarios y/o ocupantes.

En cuanto a la procedencia de la población encuestada, el 48% proviene de otras localidades del estado Bolívar y de distintas ciudades del país, atraídos por la actividad minera que se realiza dentro y fuera de la cuenca. El 52% son nativos de Tumeremo y su principal actividad económica es la ganadería. El proceso de inmigración ha traído como consecuencia el establecimiento de familias en los alrededores de la ciudad de Tumeremo, ejerciendo una fuerte presión sobre los bosques, los que están siendo deforestados para el establecimiento de viviendas y conucos.

En relación con los ingresos mensuales por ocupación, las actividades económicas que generan mayores ingresos son la ganadería y la minería (39 y 37%, respectivamente, ganan >10.000Bs.F mensuales por hogar). Por su parte, la acti-

vidad agrícola no genera ingresos y en el caso de generarlos no superan los 5000Bs.F mensuales, lo que se explica por ser una actividad económica de subsistencia. Es importante destacar que no se tiene información sobre los ingresos provenientes de la actividad forestal, ya que los dueños de las concesiones residen fuera de la CARB.

Factores impulsores del cambio de cobertura boscosa por cambios en uso del suelo

Los resultados del análisis discriminante muestran la existencia de una relación estadísticamente significativa entre los mosaicos del paisaje de la cuenca y las variables socioeconómicas, de uso y cambio de la cobertura del suelo, lo cual se evidencia a partir de los valores de χ^2 (p-value) <0,0001 obtenidos. Concluimos que hay dos funciones significativas para separar los tres mosaicos. La función 1 explica el 66,6% de la varianza y la segunda el 33,4%, tal como se muestra en la Tabla III, siendo la función 1 la de mayor poder discriminante.

De las dos funciones discriminantes (Figura 3), la función 1 separa el bosque fragmentado-uso agropecuario (mosaico 2) del bosque continuo sin uso aparente (mosaico 3) y del bosque fragmentado-uso agropecuario (mosaico 1), mientras que la función 2 discrimina el mosaico de bosque fragmentado-uso agropecuario de los otros dos mosaicos.

En un máximo de seis pasos, el análisis discriminante incluyó en el modelo a 6 de las 13 variables para discriminar los tres mosaicos de paisaje.

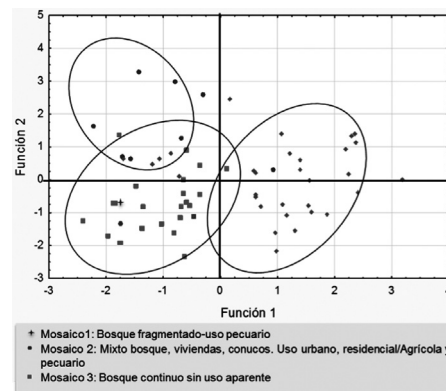


Figura 3. Funciones discriminantes canónicas de tres mosaicos del paisaje de la cuenca alta del río Botanamo.

Ellas son: superficie de la unidad de producción, cambio de uso, ingreso familiar, años de residencia, intensidad de uso, y productos que se extrae del bosque (Tabla IV). Sin embargo, las variables que más aportaron a la diferenciación de los tres mosaicos del paisaje fueron: superficie de la unidad de producción, cambio de uso e ingreso familiar. En ningún caso hay problemas de redundancia, lo cual se hace evidente en los valores de tolerancia >0,01. Los criterios considerados para la selección de las variables fueron Lambda de Wilks (l) y el estadístico F.

La variable que más contribuyó a la discriminación de los grupos (Tabla V) para la función 1, según la magnitud de los coeficientes canónicos estandarizados ignorando su signo, es la superficie

Tabla III
LAMBDA DE WILKS Y PRUEBA DE X² CON REMOCIÓN SUCESIVA DE LOS EJES

Función	Auto valor	% Varianza	% Varianza acumulada	Correlación canónica	Lambda de Wilks	χ^2	df	p-value
1	1,053	66,6	66,6	0,716	0,319	65,758	12	0,0000
2	0,529	33,4	100	0,588	0,654	24,406	5	0,0002

TABLA IV
RESUMEN DEL ANÁLISIS DE FUNCIÓN DISCRIMINANTE

Variable	Lambda de Wilks	F-remove-(2,55)	p-value	1-Tolerancia (R ²)
Superficie de la unidad de producción	0,557	20,569	0,000000	0,355
Cambio de uso	0,422	8,878	0,000456	0,139
Ingreso familiar	0,361	3,608	0,033714	0,165
Años de residencia	0,344	2,157	0,125370	0,204
Intensidad de uso	0,336	1,469	0,238973	0,310
Productos que extrae del bosque	0,332	1,105	0,338531	0,044

Pasos: 6; número de variables en el modelo: 6; agrupamiento: en tres grupos; Lambda de Wilks=-0,3186; F(12,110)= 7,0718; p<0,0000.

TABLA V
COEFICIENTES ESTANDARIZADOS DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES CANÓNICAS*

Variable	Función 1	Función 2
Superficie de la unidad de producción	-0,649*	0,069
Cambio de uso	0,181	0,220
Ingreso familiar	0,290	0,735*
Años de residencia	-0,158	0,130
Intensidad de uso	-0,165	-0,087
Productos que extrae del bosque	0,023	-0,089

* Correlación absoluta más grande entre cada variable y las funciones discriminantes.

de la unidad de producción, la cual separa el mosaico asociado al uso pecuario de los otros dos mosaicos. El ingreso familiar, por su parte, presenta una fuerte asociación con la función 2, discriminando el mosaico del bosque continuo sin uso aparente de aquel asociado al uso pecuario.

Según los resultados de las encuestas, en el mosaico 1 el 80% de las unidades de producción (Figura 4) tienen una superficie >500ha, llegando a alcanzar las de mayor tamaño hasta 5000ha. Estas grandes unidades de producción son destinadas, casi exclusivamente, al uso pecuario con fines comerciales y es allí donde se registraron los mayores ingresos (>10.000Bs.F). En contraposición, en la franja de bosque continuo del mosaico 3, para el momento de la encuesta el 49% de las unidades de producción tenían una superficie <1ha, en su mayoría destinadas a la agricultura de subsistencia (conucos).

En cuanto a los cambios de cobertura del bosque por el uso del suelo (Figura 5), los cambios de mayor intensidad ocurrieron en el mosaico 3, donde el bosque es continuo y sin uso aparente. Estos cambios están localizados en áreas boscosas donde se han establecido nuevos asentamientos campesinos cuya principal actividad es la agricultura de subsistencia y donde los pobladores refieren muy bajos ingresos. Otra fuente de cambio, en este mosaico, es la que ocurre cuando el

bosque es deforestado para el establecimiento de nuevas fincas para la cría de ganado o para la expansión de las existentes.

En el mosaico 1, donde están localizadas las grandes unidades de producción pecuaria, existen pocas evidencias de cambio. De los encuestados, 60% no reporta la eliminación de la cobertura boscosa como parte de las actividades que realizan cuando usan el suelo. En el mosaico 2, donde se reporta la mayor tasa de deforestación, es donde se evidencia la mayor proporción de cambios de la cobertura del bosque.

Discusión

En este estudio los factores del uso del suelo impulsores directos

de la pérdida y fragmentación del bosque fueron atendidos utilizando marcos basados en datos provenientes de satélites de teleobservación con datos de encuestas y relacionándolos mediante análisis multivariado. Se pudo demostrar que las causas del cambio de la cobertura boscosa y del uso del suelo, que influyen la toma de decisiones a nivel del hogar, son diferentes en los tres mosaicos del paisaje, situados fuera de la Reseva Federal de Imataca (RFI). En estos mosaicos, los patrones de causalidad de los principales actores que impactan el bosque, ganaderos y residentes agrícolas, fueron diferenciados a partir de variables socioeconómicas, de manejo, tenencia y cambio de uso del suelo, empleando funciones discriminantes.

Las causas directas que mejor explicaron el gradiente de transformación del paisaje de la cuenca pudieron ser identificadas y diferenciadas espacialmente: bajos ingresos familiares, tamaños de la unidad de producción y cambio de uso del suelo. Esta diferenciación permitió confirmar lo planteado por Geist y Lambin (2001), Lambin *et al.* (2001, 2003) y Pickett *et al.* (2001), en cuanto a que las causas inmediatas que inducen el cambio de uso del suelo y de la cobertura boscosa son diferentes para diversos sitios o regiones y que las causas directas de la deforestación están mejor soportadas por

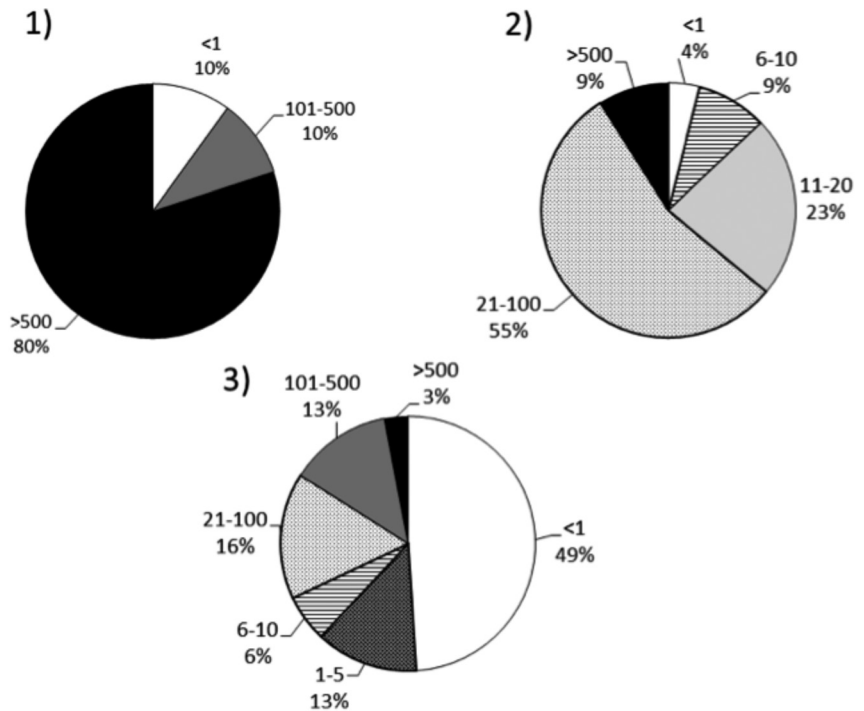


Figura 4. Superficie (ha) de la unidad de producción en tres mosaicos de la cuenca: 1) Mosaico 1: uso pecuario dominante asociado a bosques fragmentados; 2) Mosaico 2: uso periurbano dominante con una cobertura mixta donde están intercalados viviendas, pequeñas áreas agrícolas de subsistencia, bosque; 3) Mosaico 3: bosque continuo sin uso aparente.

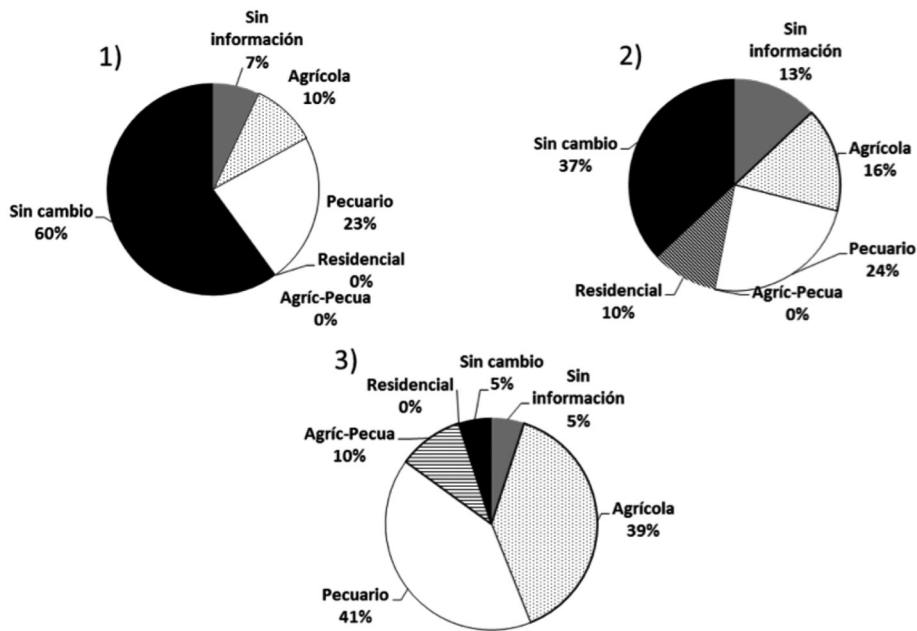


Figura 5. Cambio de uso del suelo en tres mosaicos del paisaje de la cuenca: 1) Mosaico 1: uso pecuario dominante asociado a bosques fragmentados; 2) Mosaico 2: uso periurbano dominante con una cobertura mixta donde están intercalados viviendas, pequeñas áreas agrícolas de subsistencia, bosque; 3) Mosaico 3: bosque continuo sin uso aparente.

la respuesta de las personas a las oportunidades económicas que impulsan cambios de ocupación del suelo, tal como plantean Brondizio y Moran (2012).

A partir de la relación espacial existente entre el grado de pérdida y fragmentación del bosque y las causas directas de la deforestación, se pudo establecer el modelo de cambio de uso y cobertura del bosque en la cuenca:

- *Condiciones iniciales.* Extensas superficies de cobertura boscosa en áreas protegidas de la RFI y áreas boscosas sin uso aparente fuera de ella, en tierras públicas y privadas (Mosaicos 1, 2, 3 y 4).

- *Estado inicial de la deforestación.* Pequeñas fragmentaciones de la cobertura boscosa en áreas de difícil acceso o asociadas a vías de penetración que atraviesan el bosque continuo que bordea la RFI. La deforestación la inician personas de bajos ingresos familiares para establecer áreas agrícolas de subsistencia y viviendas rurales (Mosaico 3).

- *Estado intermedio de deforestación.* Intensificación de la deforestación y fragmentación del bosque asociadas al incremento poblacional por expansión de áreas urbanas (uso urbano, agrícola de subsistencia, pequeñas y medianas fincas pecuarias). Actividad asociada a moderados ingresos mensuales familiares y tamaños pequeños de unidades de producción pecuaria y residencial-agrícola (Mosaico 2).

- *Estado avanzado de deforestación.* Sustitución del bosque original por grandes superficies de producción (pastizales y sabana) destinadas a la ganadería semintensiva, con fragmentos de bosques y bosques de galería intercalados. Esta actividad está asociada a mayores ingresos (Mosaico 1), la deforestación es muy baja, y el paisaje permanece estable en su estructura espacial.

En la CARB los resultados indican que las causas que inducen a los individuos a talar el bosque no son estáticas y cambian de forma acoplada con las dinámicas espaciales y temporales locales, entre el cambio de uso del suelo y el cambio de cobertura boscosa. La pobreza es la causa que influencia la toma de decisiones a nivel del hogar, en la fase inicial del proceso de deforestación. Sin embargo, una vez que se crean las condiciones en el paisaje para que otros actores se establezcan, el mayor poder adquisitivo es la causa determinante para intensificar la tala del bosque. En el estado intermedio de deforestación y fragmentación, el crecimiento poblacional, expresado en el incremento de viviendas con pequeñas unidades de producción, no mayores de 10ha, es la causa que mejor explica la estructura del paisaje. Estos resultados corroboran la necesidad de considerar el efecto de la heterogeneidad del paisaje en las causas inmediatas de la deforestación y podrían explicar algunos de los cuestionamientos realizados por Angelsen y Kaimowitz (1999) sobre las causas de la deforestación,

en cuanto a que hay estudios que apoyan la hipótesis de que la deforestación está asociada a la pobreza (Deininger y Minten, 1999). Sin embargo, existen pocas evidencias empíricas sobre el vínculo entre pobreza y deforestación. En el caso de la CARB, la hipótesis de la pobreza se debilita una vez que cambian la estructura del bosque dando paso a la riqueza como factor de cambio de la cobertura boscosa, tal como lo indica Zwane (2007).

Se propone, entonces, desarrollar estrategias para promover la conservación y manejo sustentable del bosque y de la biodiversidad que operen sobre las causas específicas identificadas en cada mosaico, y que de ser necesario se vayan adaptando a los cambios futuros. Además, se propone normar como área de amortiguamiento los bosques continuos sin uso aparente que bordean el límite occidental de la RFI (Mosaicos 1 y 3), a fin de evitar el avance de la frontera agropecuaria sobre los bosques de la reserva. En este contexto, se insta al Estado venezolano a evitar el otorgamiento de cartas agrarias a personas de bajo recursos para talar el bosque continuo cercano a la RFI, ya que se corre el riesgo de que en el mediano plazo, el bosque sea sustituido por extensos pastizales y sabana destinados al uso pecuario con fines comerciales, tal como está ocurriendo en el Mosaico 3. En este mosaico es necesario establecer un programa de control y monitoreo para evitar que el bosque siga siendo talado.

En los bosques remanentes de los Mosaicos 1 y 2 se deben establecer estrategias de manejo y conservación conjuntamente con los propietarios de las fincas y con la alcaldía del Municipio Sifontes a fin de impulsar iniciativas de restauración y/o rehabilitación de los fragmentos de bosques para mejorar su conectividad física. Igualmente, se debe propiciar el establecimiento de áreas de bosque remanente protegidas dentro de las fincas de los ganaderos y el desarrollo de plantaciones que bordeen aquellos parches que aún conserven, en su núcleo, especies del bosque original.

Es fundamental, además, establecer una red de monitoreo de los bosques utilizando imágenes de satélite. Se concluye que en paisajes boscosos tropicales modificados por el hombre, las causas de la deforestación que inducen a los individuos a talar el bosque no pueden ser generalizadas, ya que están acopladas con los cambios locales en la estructura del paisaje propiciados por cambios de uso de magnitudes diferentes. Estos patrones de causalidad específicos no solo son considerados clave para analizar, de manera diferenciada, las consecuencias de la pérdida y fragmentación

del bosque en la riqueza y composición de especies de árboles y pronosticar cambios futuros, tal como lo plantean Bennett *et al.* (2006), Acevedo *et al.* (2008) y Haines-Young (2009), sino que también pueden ser incorporados en el desarrollo de estrategias específicas dirigidas a los residentes agricultores y ganaderos para promover la conservación y manejo sustentable del bosque.

REFERENCIAS

- Acevedo MF, Baird Callicott J, Monticino M, Lyons D, Palomino J, Rosales J, Delgado L, Ablan M, Dávila J, Tonella G, Ramírez H, Vilanova E (2008) Models of natural and human dynamics in forest landscapes: cross-site and cross-cultural synthesis. *Geoforum* 39: 846-866.
- Angelsen A, Kaimowitz D (1999) Rethinking the causes of deforestation: lessons from economic models. *World Bank Res. Observ.* 14: 73-98.
- Bennett AF, Radford JQ, Haslem A (2006) Properties of land mosaics: implications for nature conservation in agricultural environments. *Biol. Conserv.* 133: 250-264.
- Brondizio ES, Moran EF (2012) Level-dependent deforestation trajectories in the Brazilian Amazon from 1970 to 2001. *Populat. Environ.* 34: 69-85.
- Butchar SH, Walpole M, Collen B, van Strien A, Scharlemann JP, Almond RE, Baillie JE, Bomhard B, Brown C, Bruno J, Carpenter KE, Carr GM, Chanson J, Chenery AM, Csirke J, Davidson NC, Dentener F, Foster M, Galli A, Galloway JN, Genovesi P, Gregory RD, Hockings M, Kapos V, Lamarque JF, Leverington F, Loh J, McGeoch MA, McRae L, Minasyan A, Hernández M, Oldfield TE, Pauly D, Quader S, Revenga C, Sauer JR, Skolnik B, Spear D, Stanwell-Smith D, Stuart SN, Symes A, Tierney M, Tyrrell TD, Vié JC, Watson R (2010) Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* 328(5982): 1164-1168.
- Cabrera Sifontes H (1984) *La Guayana del Oro y Don Antonio Liccioni*. Centauro. Caracas, Venezuela. 215 pp.
- Carrocer PB (1979) *Misión de los Capuchinos en Guayana: Introducción y Resumen Histórico*. Vol. I. Fuentes para la Historia Colonial de Venezuela N° 139. Biblioteca de la Academia Nacional de la Historia. Caracas, Venezuela. 414 pp.
- CVG TECMIN (1987) *Informe de avance de Clima, Geología, Geomorfología Suelos y Vegetación*. Hoja NB-20-4. Proyecto Inventario de los Recursos Naturales. CVG Técnica Minera CA. Ciudad Bolívar, Venezuela. 501 pp.
- Deadman P, Robinson D, Moran E, Brondizio E (2004) Colonist household decision-making and land-use change in the Amazon Rainforest: an agent-based simulation. *Environ. Plann. B* 31: 693-710.
- Delgado L, Rosales J, Blanca R, Castellanos H, Figueroa J, Leal S, Valeri C (2005) A conceptual model of biocomplexity in the upper Botanamo river basin. In Tonella, G (Ed.) *Proc. 5th Int. Conf. on Modelling, Simulation, and Optimization*. pp. 297-302.
- Delgado LA (2015) *Diversidad de Especies Arbóreas en Paisajes Boscosos Fragmentados en el Sur de Venezuela*. Tesis. Universidad Nacional Experimental de Guayana. Venezuela. 157 pp.
- Deininger KW, Minten B (1999) Poverty, policies, and deforestation: the case of Mexico. *Econ. Devel. Cult. Change* 47: 313-344.
- Etter A, McAlpine C, Wilson K, Phinn S, Possingham H (2006) Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114: 369-386.
- Fearnside PM (1985) Environmental change and deforestation in the Brazilian Amazon. En Hemming J (Ed.) *Change in the Amazon Basin: Man's Impact on Forests and Rivers*. Manchester University Press. Manchester, RU. pp. 70-89.
- Geist HJ, Lambin EF (2001) What drives tropical deforestation? *LUCC Report series 4*: 116.
- Geist HJ, Lambin EF (2002) Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience* 52: 143-150.
- Haines-Young R (2009) Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy* 26: S178-S186.
- INE (2011) *Censo 2011*. Instituto Nacional de Estadísticas. Caracas, Venezuela. www.redatam.ine.gov.ve/Censo2011/index.html
- Kapos V, Lysenko I, Lesslie R (2000) *Assessing Forest Integrity and Naturalness in Relation to Biodiversity*. Working Paper 54. Forest Resources Assessment Programme. UN Food and Agriculture Organization. Roma, Italia. 65 pp.
- Kapos V, Jenkins M (2002) *Tropical Forest Management and Biodiversity Information and Indicators*. UN Environment Programme and World Conservation Monitoring Centre (IUCN). Cambridge, RU. 54 pp.
- Lambin EF, Turner BL, Geist HJ, Agbola SB, Angelsen A, Bruce JW, Xu J (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environ. Change* 11: 261-269.
- Lambin EF, Geist HJ, Lepers E (2003) Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28: 205-241.
- Lozada J, Guevara J, Soriano P, Costa M (2007) Bosques de colinas y lomas, en la zona central de la Reserva Forestal Imataca, Venezuela. *Rev. Forest. Latinoam.* 22(42): 105-131.
- McCracken SD, Brondizio ES, Nelson D, Moran EF, Siqueira AD, Rodriguez-Pedraza C (1999) Remote sensing and GIS at farm property level: Demography and deforestation in the Brazilian Amazon. *Photogram. Eng. Rem. Sensing.* 65: 1311-1320.
- Miranda M, Blanco Uribe QA, Hernández L, Ochoa G, Yerena E (1998) *All That Glitters Is Not Gold: Balancing Conservation and Development in Venezuela's Frontier Forests*. World Resources Institute. Washington, DC, EEUU. 52 pp.
- Moreno N, Quintero R, Ablan M, Barros R, Dávila J, Ramírez H, Tonella G, Acevedo MF (2007) Biocomplexity of deforestation in the Caparo tropical forest reserve in Venezuela: An integrated multi-agent and cellular automata model. *Environ. Model. Softw.* 22: 664-673.
- Pickett ST, Cadenasso ML, Grove JM, Nilon CH, Pouyat RV, Zipperer WC, Costanza R (2001) Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 32: 127-157.
- Pimentel N, Flores LZ (2010) Geología del oro en Venezuela. En *El Libro del Oro de Venezuela*. Banco Central de Venezuela. Litoven. Caracas, Venezuela. pp. 167-184.
- Serneels S, Lambin EF (2001) Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. *Agric. Ecosyst. Environ.* 85: 65-81.
- Schulte LA, Mladenoff DJ, Crow TR, Merrick LC, Cleland DT (2007) Homogenization of northern US Great Lakes forests due to land use. *Landsc. Ecol.* 22: 1089-1103.
- Zwane AP (2007) Does poverty constrain deforestation? Econometric evidence from Peru. *J. Devel. Econ.* 84: 330-349.

DIRECT CAUSES INDUCING LAND USAGE AND FOREST COVER CHANGES, AT LANDSCAPE SCALE, IN SOUTHERN VENEZUELA

Luz A. Delgado M., Silvia Matteucci, Miguel Acevedo, Carol Valeri, Rafael Blanca and Jeserlis Márquez

SUMMARY

The direct causes inducing the change of forest cover due to changes in land use have been identified as general categories. However, these categories do not capture the differentiated manner in which the people respond to the socio-economical opportunities that drive the changes in land use at the local scale. It was established whether the causes, at the individual level, that induce changes in the forest cover upon land usage are similar in the landscape mosaics of the upper basin of the Botanamo River in Southern Venezuela. By applying semi-structured questionnaires, the actors with the highest potential to impact the basin forest were identified, and three dimensions were characterized: socio-economical, land property and handling,

and changes in use/cover. Each interview was geo-referenced to relate it to the landscape mosaics, and discriminant analysis was used to identify the variables that contribute to differentiate amongst mosaics. Cattle breeders and local resident farmers are the actors that impact forest the most, and the direct driving causes inducing the changes differ in the three landscape mosaics: low family income in the continuous and apparently unused forest mosaic, production units <10ha in areas of urban expansion, and large (500-5000ha) cattle production units in the most fragmented mosaic. Results indicate that the direct deforestation causes in the basin are coupled to spatial and temporal landscape changes.

CAUSAS DIRETAS QUE INDUZEM A MUDANÇA DE USO DO SOLO E DA COBERTURA FLORESTAL, AO NÍVEL DA PAISAGEM, NO SUL DA VENEZUELA

Luz A. Delgado M., Silvia Matteucci, Miguel Acevedo, Carol Valeri, Rafael Blanca e Jeserlis Márquez

RESUMO

As causas diretas que induzem à mudança da cobertura florestal por câmbios no uso do solo têm sido identificadas como categorias gerais. No entanto, estas categorias não captam a forma diferenciada em que as pessoas respondem às oportunidades socioeconômicas que impulsionam os câmbios no uso do solo em nível local. Foi determinado se as causas, em nível individual, que induzem a mudança da cobertura florestal ao usar a terra, são similares nos mosaicos da paisagem da bacia alta do rio Botanamo, no sul da Venezuela. Identificaram-se os agentes com maior potencial de impactar o bosque na bacia e se caracterizaram em três dimensões: socioeconômica, manejo e tenência da terra e câmbios de uso/cobertura, a partir da aplicação de questionários semiestruturados. Cada

pesquisa foi georreferenciada para relacioná-la com os mosaicos da paisagem e se utilizou análise discriminante para identificar as variáveis que contribuem a diferenciar entre mosaicos. Os criadores de gados e residentes agricultores autóctones são os agentes que mais impactam a floresta, e as causas impulsoras diretas que induzem as mudanças diferem nos três mosaicos da paisagem: baixos ingressos familiares no mosaico de floresta contínua e sem uso aparente, unidades de produção <10ha em áreas de expansão urbana, e grandes unidades de produção pecuária (500-5000ha) no mosaico mais fragmentado. Os resultados indicam que as causas diretas da deflorestação na bacia estão acopladas com mudanças espaciais e temporais da paisagem.