

## Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto-andinos de colombia

## Driver change agricultura itinerante uso do solo ecossistema de altos andes colômbia

## Migratory agriculture conductor of change of soil use of high-andean ecosystems of colombia

FERNANDO ANDRÉS MUÑOZ-GÓMEZ<sup>1</sup>, LEOPOLDO GALICIA-SARMIENTO<sup>2</sup>,  
EDIER HUMBERTO-PÉREZ<sup>3</sup>

### RESUMEN

*La agricultura migratoria (AM) como direccionador en la dinámica de uso del suelo (US) y cambio de uso del suelo (CUS) en la zona alto-andina colombiana, es evaluada mediante análisis espacial y temporal de patrones del cambio de coberturas vegetales durante los periodos 1989-1999 y 1999-2008; donde se identificó que los procesos de deforestación y fragmentación han sido generados por causas directas relacionadas con la AM (cultivos transitorios de papa, pastizal extensivo) sobre las coberturas de origen natural (bosque alto-andino denso, páramo bajo y humedal natural). En la zona, los*

Recibido para evaluación: 4 de Abril de 2017.

Aprobado para publicación: 8 de Marzo de 2018.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación, Grupo de Agroquímica. Candidato a doctor en Ciencias Ambientales. Popayán, Colombia.
- 2 Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ph.D en Ecología. México D. F., México.
- 3 Universidad del Cauca, Departamento de Química, Grupo de Agroquímica. Ph.D en Ciencias Químicas. Popayán, Colombia.

Correspondencia: [famunoz@unicauca.edu.co](mailto:famunoz@unicauca.edu.co)

US que presentaron mayor área transformada fueron: bosque fragmentado, cobertura de pastizal, cultivo de papa, y los de mayor permanencia pastizal extensivo (79%), páramo bajo (78%) y bosque alto-andino denso (80,9%). Estos US/CUS presentaron una relación directa con factores espaciales como la elevación, pendiente, fertilidad del suelo, temperatura y precipitación, los cuales influyeron en las dinámicas de cambio o permanencia. También, se identificó que fuerzas motrices como: políticas públicas de desarrollo, agricultura intensiva, mejoramiento de infraestructura, organización campesina, apoyo institucional y conflicto armado han dinamizado los procesos de CUS; principalmente los asociados con agricultura tradicional y migratoria; convirtiéndose en conductor directo del CUS en ecosistemas de la franja alto-andina.

## RESUMO

A agricultura migratória (AM) como motor da dinâmica do solo (EUA) e a mudança de uso do solo (CUS) na região andina alta Colombiana são avaliadas pela análise espacial e temporal dos padrões de mudanças de cobertura vegetal durante Os períodos 1989-1999 e 1999-2008; Onde foi identificado que os processos de desmatamento e fragmentação foram gerados por causas diretas relacionadas à MA (culturas transitórias de batata, pastagem extensiva) em coberturas de origem natural (floresta densa alta andina, Páramo baixo e zonas húmidas naturais). Na área, os EUA que apresentaram a maior área transformada foram: floresta fragmentada, cobertura de pastagem, cultivo de batata e pastagem extensiva (79%), Paramo baixo (78%) e floresta densa alto- andina (80,9%). Estes US/CUSs tiveram uma relação direta com fatores espaciais, como elevação, inclinação, fertilidade do solo, temperatura e precipitação, que influenciaram a dinâmica de mudança ou permanência. Também foi identificado que as forças motrizes como: políticas de desenvolvimento público, agricultura intensiva, melhoria de infraestrutura, organização camponesa, apoio institucional e conflito armado simplificaram os processos CUS associado à agricultura tradicional e migratória; Tornando-se um motor direto da CUS no ecossistemas da franja Alto-Andina.

## ABSTRACT

The migratory agriculture (MA) as a direct driver in the dynamics of land use (LU) and land use change (LUC) in the Colombian Andean is evaluated by the spatial and temporal analysis of patterns of change Of cover crops during the periods 1989-1999 and 1999-2008; Where it was identified that the processes of deforestation and fragmentation have been generated by direct causes related to the dominant land uses (monkey potato crop, extensive pastureland) about coverage of natural origin (dense high Andean forest, low Páramo and natural wetland). The LU that presented the largest transformed area were: fragmented forest, pasture cover, potato cultivation, and extensive pasture (79%), low Páramo (78%) and dense Alto Andean forest (80,9%). These LU/LUCs had a direct relationship with spatial factors (elevation, slope, soil fertility, temperature and precipitation), which influenced the dynamics of change or permanence. It was also identified that driving forces such as: public development policies, intensive agricultu-

## PALABRAS CLAVE:

Modificación, Conservación, Deforestación, Fuerzas motrices, Coberturas naturales y antrópicas.

## KEYWORDS:

Modification, Conservation, Deforestation, Driving forces, Natural and anthropic coverages.

## PALAVRAS-CHAVE:

Modificação, Conservação, Desmatamento, Forças motrizes, Coberturas naturais e antrópicas.

*re, infrastructure improvement, peasant organization, institutional support and armed conflict have streamlined the processes of modification and conversion in the territory mainly those associated with traditional and migratory agriculture; The latter becoming the direct driver of LUC in high Andean ecosystems.*

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad con el aumento en la densidad poblacional y la presión por ocupación de la tierra han desestabilizado los sistemas naturales, convirtiendo a la agricultura migratoria (AM) en una causa próxima o directa que ha generado deforestación, pérdida de hábitat, biodiversidad y degradación de los suelos por aceleración de los procesos erosivos, pérdida de nutrientes y disminución en la capacidad de retención de agua. De hecho, se estima que alrededor de 35 millones a 1 billón de personas en el mundo dependen de AM [1,2]; con sus fases básicas (1) conversión, (2) cultivo y (3) barbecho o descanso. La creciente preocupación por la sostenibilidad de la AM está en discusión, porque continua siendo una práctica dominante en los países tropicales y se la ha relacionado con cambios en los usos del suelo (CUS) que han generado el 60% de deforestación, incremento de gases efecto invernadero, variabilidad climática, cambio en el material estable de la materia orgánica del suelo y diferentes impactos sobre el medio ambiente y el desarrollo económico. Sin embargo, esta práctica tradicional del uso del suelo sigue siendo fundamental para el sustento, la cultura y la seguridad alimentaria de millones de personas en la región tropical [3,4].

En el caso de la agricultura, los cambios en las prácticas de gestión significan la transformación de la agricultura tradicional a la agricultura intensiva con CUS, que generó un aumento en la fertilización y una disminución de los periodos de descanso del suelo [5]. Estos cambios han impactado negativamente en términos socio-económicos a nivel local, regional y global creando paisajes transformados a nivel de hábitat, biodiversidad y clima con fluctuaciones de los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos. Así, el uso del suelo no solo es un problema local si no también un problema global [6]. Los factores que conducen a un CUS ya sean antrópicos o naturales y el conocimiento del US que los pobladores han desarrollado con cierto tipo de cobertura ya sea para la extracción de madera, la expansión agrícola, infraestructura y con-

servación de la biodiversidad; permitieron entender las dinámicas de US/CUS en regiones vulnerables [7]. Como lo muestra Europa y Asia donde la transformación de la agricultura tradicional a la agricultura intensiva con usos excesivos de maquinaria, pesticidas y fertilizantes afectó la fertilidad de los suelos que generó abandono de tierras agrícolas, deforestación y un cambio del paisaje rural [8-10]. Esta problemática se ha convertido en el centro de muchos estudios sobre los patrones de US/CUS [11,12].

En la región andina colombiana se ha reconocido que las actividades agropecuarias son los principales impulsores de la dinámica de US/CUS; se han establecido relaciones directas con la accesibilidad a suelos y relaciones subyacentes con los mercados mundiales de productos básicos, las políticas nacionales e internacionales, las relaciones del ambiente biofísico como la altura, pendiente y el clima [4,11,13]. En la actualidad se ha identificado como CUS en la región alto-andina de Colombia que se encuentran entre los 2800 a 3200 msnm de la cordillera central [14]; donde los US está cambiando a pasturas y cultivos con aplicación de fertilizantes fosfatados que contienen cadmio están generando toxicidad de los suelos y aguas subterráneas por bioacumulación de cadmio [15]. También se identifica como en esta franja prácticas de la agricultura campesina e indígena han generado cambios positivos en las propiedades químicas, la actividad microbiana del suelo y la disponibilidad de nutrientes del suelo en los suelos bajo estos pastos naturales y cultivos forrajeros [16].

Por lo anterior planteado es importante determinar las dinámicas de CUS y el efecto que causan las actividades como la AM a través de monocultivos y ganadería extensiva sobre los ecosistemas estratégicos ubicados en coberturas vegetales del bosque alto-andino. Un primer paso para conocer la dinámica de US/CUS y su relación con la AM en la zona alto-andina fue identificar los tres tipos de impulsores de cambio: i) causas próximas o directas (acciones físicas humanas que alteran directamente el paisaje), ii) fuerzas motrices subyacentes (fuerzas socio-políticas, económicas y culturales que sustentan las causas próximas) y iii) controladores espaciales de patrones (características biofísicas del paisaje) estas últimas, aunque no sean las causas fundamentales ni las acciones directas que impactan un cambio de uso del suelo, determinan donde se producirán los cambios [15,16]. El entendimiento de las dinámicas de CUS permitirá identificar

las relaciones que existen entre la AM y los sistemas naturales de la franja alto-andina, además de los factores que llevaron al territorio al estado actual, Esta información es esencial para el soporte de la planificación y ordenamiento de las áreas de interés.

## MÉTODO

### Área de estudio

El área seleccionada para la presente investigación se encuentre ubicada en Colombia, departamento del Cauca, municipio de Totoró y pertenece a la población de Gabriel López o parte alta de la Subcuenca del río Palacé, sobre la cordillera central de los andes entre las coordenadas geográficas (5° 28' 22,07" N, 79° 5' 50,84" W y 50 17' 30,88" N y 79° 16' 52,84" W) a una altura de 2800 a 3600 msnm (Figura 1). Tiene aproximadamente 8611 habitantes entre indígenas y campesinos que basan su actividad económica en el cultivo de papa (75%) y ganadería extensiva (25%) ambas

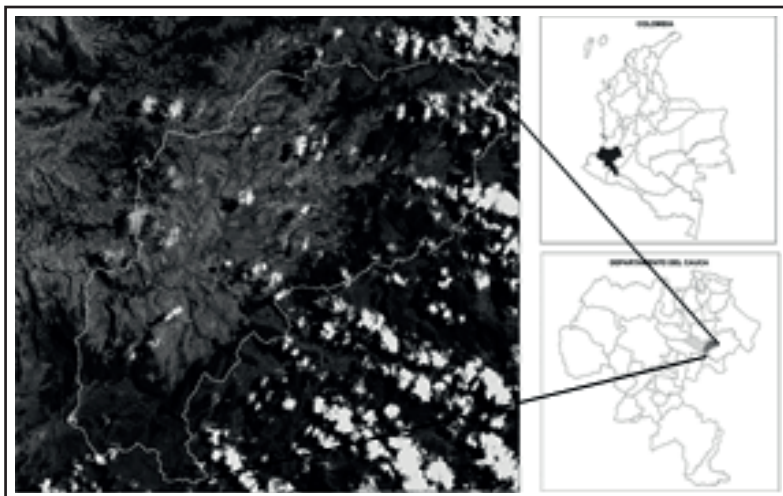
actividades desarrolladas de forma tradicional e intensiva [19]. Los suelos son de origen volcánico, presentan baja densidad aparente (0,5 g/cm<sup>3</sup>), alta retención de fosfatos (7,6 mg P/Kg) y alta humedad (41%), con pendientes de 4-8-12-17-20% que se clasifican como andosoles [20]. El clima presenta temperaturas entre los 10 y 15°C afectado por heladas y fuertes vientos, precipitación media anual de 1082 a 2750 mm, características de una región de bosque muy húmedo Montano (bmh-M) o franja alto-andina que se ubica entre 2800 y 3200 msnm, En esta zona la cobertura vegetal natural corresponde principalmente a bosques, arbustos y matorrales como: *Weinmannia* (encenillos), *Hesperomeles* (mortiños), *Clethra*, *Escallonia* (*tibar*, *rodamonte*) y vegetación de páramo (matorrales y arbustales) dominados por especies de *Diplostephium*, *Monticalia* y *Gynoxys* (*Asteraceae*), de *Hypericum* (*H. laricifolium*, *H. ruscoides*, *H. juniperinum*) de *Pernettya*, *Vaccinium*, *Bejaria* y *Gaultheria* (*Ericaceae*) [14].

## MÉTODO

El enfoque metodológico se basó en el análisis de las condiciones bio-físicas y socio-económicas que describen el US/CUS en la franja alto-andina. Se utilizaron tres imágenes de satélite de acceso libre para el análisis de cambio de coberturas a nivel espacial y temporal, apoyado en dos tipos de datos: 1) conjunto de bases de datos SIG derivados de tres escenas satelitales (1989, 1999, 2008) Landsat Thematic Mapper (TM imágenes) descargadas en el año 2012 de science for a changing que constan de siete bandas espectrales (combinación 1, 5, 7) con una resolución espacial de 30 x 30 m, puntos de control en tierra (PCT). Inicialmente con el uso el software ERDAS IMAGINE 9.1 se realizó la corrección geométrica y la remoción de la oscuridad en las áreas montañosas utilizando un modelo digital de elevación (MDE).

Posteriormente, se realizó una reclasificación supervisada a partir de la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover - CLC a escala 1:100000 en nivel 4, adaptada para Colombia [21] que permitió determinar los siguientes tipos coberturas vegetales: 1) Páramo bajo o subpáramo (cobertura vegetal natural dominada por especies de tipo herbáceo como el pajonal, mezclada con frailejones y otras especies); 2) Bosque denso bajo o alto-andino (corresponde a áreas con vegetación de tipo arbóreo con una altura de dosel de 5 a 15 m); 3) Bosque fragmentado (coberturas de bosques natural denso o abiertos donde su continuidad horizontal está afectada por coberturas de pastizal, cultivos o vegetación transitoria, producto

Figura 1. Localización de Gabriel López (Totoró- Cauca).



de actividades como tala, rosa y quema, 4) Humedal natural (suelo pantanoso con alta presencia de turberas); 5) Pastizal (suelo dominado por especies de gramíneas, uso pastoreo de ganado o barbecho); 6) Cultivos transitorios (Cultivos de corta duración con variedad de papa, ulluco y hortalizas).

### Cambio de cobertura y deforestación en el área

El cambio en las áreas de cada cobertura corresponde a la diferencia entre las áreas del año inicial de referencia y el del año final como lo plantea [22] mediante la ecuación (1)

$$\Delta_A = (A_2 - A_1) / (T_2 - T_1) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$\Delta_A$  = Cambio en la superficie de la cobertura de ecosistemas analizados.

$A_1$  = Superficie total de la cobertura analizada para el año inicial.

$A_2$  = Superficie total de la cobertura analizada para el año final.

$T_1$  = Tiempo inicial.

$T_2$  = Tiempo final.

La tasa anual de deforestación fue obtenida a partir de la ecuación (2) propuesta por [23]:

$$r = 1 - (1 - (A1 - A2)/A1)^{1/t} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

r = Tasa de deforestación.

$A1$  = Área deforestada en el inicio del periodo.

$A2$  = Área deforestada al final del periodo.

t = intervalo de tiempo (en años).

Permitió identificar el patrón espacial de deforestación del bosque analizado y su conversión a i) páramo bajo, ii) bosque natural y iii) Bosque fragmentado.

### Determinación de las dinámicas de cambios de cobertura en términos de Modificación y conversión (conservación y perturbación)

Se utilizó como herramienta matriz de transición para los periodos (1989-1999; 1999-2008), en uno de los ejes se presenta las clases de uso del suelo del primer año y en el otro las clases del segundo año. De esta forma, los datos de la diagonal principal indican las áreas que han permanecido intactas en el tiempo para cada clase, y las que se encuentran fuera, representan la transición de una clase a otra en forma de ganancia, si se encuentra en las filas o pérdidas si se encuentra en las columnas [24]. Los diferentes tipos de cambio se evaluaron con criterios cualitativos que consideran la relación entre tipo de cobertura y dos procesos a) **Modificación**: incluye procesos de conservación e intensificación; y b) **Conversión**: cuando involucra procesos de perturbación y regeneración. Conservación hace referencia a la permanencia de los tipos de vegetación madura e Intensificación, a la continuidad de la agricultura, usos urbano, industriales. Perturbación de la cobertura incluye cualquier cambio en la cobertura que implica una alteración y regeneración hace referencia a procesos de recuperación o resiliencia.

### Línea de tiempo de los procesos de transformación y CUS

Se realizó mediante entrevistas semi-estructuradas y un taller de cartografía social usando preguntas orientadoras como: ¿Qué acontecimientos considera importantes en la historia de cambio de uso del suelo? ¿Cuáles fueron los grandes procesos históricos relacionados con la producción y subsistencia, y donde se localizaban? con el fin de identificar las relaciones entre los sistemas productivos y los cambios que han llevado al territorio al estado actual [25].

## RESULTADOS

### Dinámica espacial de coberturas vegetales y controladores espaciales

La interpretación de imágenes de satélite para los periodos 1989, 1999 y 2008 permitió analizar las seis

clases de coberturas vegetales desde los dos procesos de Modificación y Conversión como sigue:

### Modificación

**Conservación.** Las coberturas presentes en este proceso son Páramo bajo o Subpáramo, que para el año 1989 cubría el 19,5% del área de estudio y en las dos décadas siguientes incremento a 25, 8 y 30,3%, con una tasa de cambio anual de 97,5 ha (1989-1999) y 79,1 ha (1999-2008); con procesos de deforestación muy bajos (-0,0027 y -0,017) respectivamente (Cuadro 1). Bosque denso bajo o alto-andino, se caracteriza porque para el año 1989 cubrían el 21,2% del área de estudio, y para 1999 se incrementó a 26,6%, mostrando una tasa de cambio anual de tipo resiliente de 84,4 ha para este periodo. Mientras que el año 2008 la cobertura disminuyó a 23,9%, reflejando una pérdida anual de 46,6 ha para el periodo 1999-2008 con un índice de deforestación del 0,011. Bosque alto-andino fragmentado, para el año 1989 tienen un área del 22,5% de la zona de estudio, posteriormente disminuyó al 8,6% (1999) y 2,9% (2008), con una tasa de cambio anual del 216 ha (1989-1999) y 98,6 ha (1999-2008), que representan un índice de deforestación 0,09 y 0,11 muy alto para este tipo de ecosistemas. Vegetación de humedal, este tipo de vegetación ha disminuido su área pasando de 544,5 ha en 1989 a 335, 9 ha en 2008, con pérdidas anuales de área de 14 ha (1989-1999) y 7,6 ha (1999-2008).

En las coberturas vegetales naturales de paramó, bosque denso y humedal se observan procesos

Cuadro 1. Dinámica de coberturas.

Clases de Cob.	Área (ha)			Cambio(ha)		Deforestación (R)	
	1989	1999	2008	1989-1999	1999-2008	1989-1999	1999-2008
Subpáramo	3057	4032	4743	97,5	79,1	-0,027	-0,017
Bosque Den.	3313	4157	3737	84,4	-46,6	-0,022	0,011
Bosque Frag.	3514	1354	466	-216	-98,6	0,09	0,11
Humedal	544	404	335	-14	-7,6	0,029	0,02
Pastizal	4580	4990	4927	41	-7	0	0,001
Cultivos	640	709	1436	6,9	80,8	-0,01	-0,08
Total	1565	15649	15648				

Cuadro 2. Matriz de transición<sup>1</sup> de US/CUS.

1989/1999	Páramo	Bosque Den.	Bosque frag.	Humedal	Pastizal	Cultivo
Páramo	2323	253	423	2,1	48	8,0
Bosques Den.	676	2017	291	2,0	277	50
Bosque frag.	760	1557	461	1,1	645	90
Humedal	0,0	16	16	314	161	37
Pastizal	206	295	146	65	3435	435
Cultivo	43	43	26	20	413	95
1999/2008	Páramo	Bosque Den.	Bosque frag.	Humedal	Pastizal	Cultivo
Páramo	3206	326	66	0,0	402	30
Bosques Den.	527	2830	153	0,8	571	75
Bosque frag.	542	344	118	2,0	282	65
Humedal	0,0	0,0	2,0	300	79	23
Pastizal	432	195	113	30	3184	1034
Cultivo	51	37	17	11	406	186

Las pérdidas de una categoría a otra se expresan en las filas y las ganancias en las columnas

de conservación que resultaron en una permanencia de estas coberturas del 73,9% (1999-2008) superior al primer periodo (Cuadro 2 y Figura 2b).

**Intensificación.** Caracterizado por las coberturas de Pastizales extensivos que mantienen y representan las áreas con mayor extensión para las tres temporalidades con 29,3% (1989), 31,9% (1999) y 31,5% (2008); donde la tasa de cambio anual más alta se presenta para el periodo 1989-

1999 con 41 ha y solo hasta 2008 se presentan pérdidas de 7 ha. Los Cultivos intensivos representan las plantaciones de diferentes variedades de papa que tienen un área del 4,1% (1989), 4,5% (1999) y 9,2% (2008); además de una tasa de cambio anual (80,8 ha) muy alta para el periodo 1999-2008. Como se registro para los sistemas de pastizales para ganadería extensiva mostraron mayor expansión y permanencia que los cultivos transitorios.

La dinámica de US/CUS durante el periodo 1989-1999; mostró que los pastizales tenían una permanencia del 75%, y solo el 9,5% de los pastizales son modificados a tierras agrícolas y un área del 29,5% del humedal natural se intensifica a pastizal y 6,8% a cultivos

### Conversión

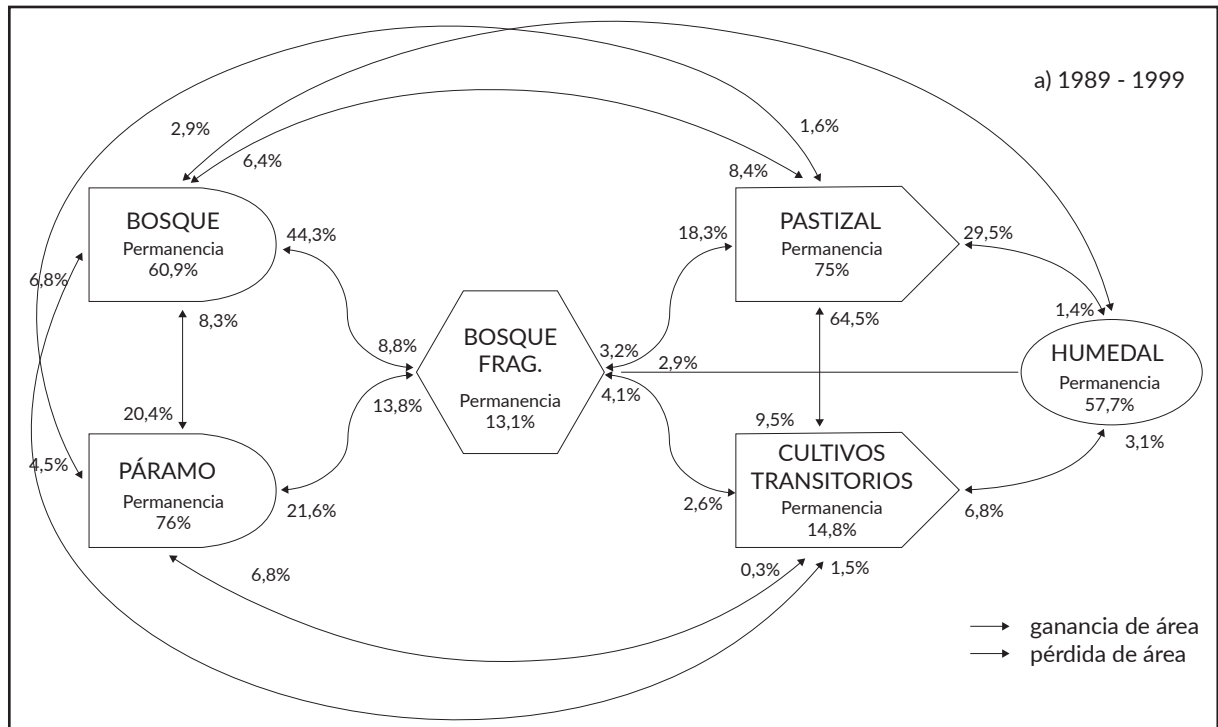
**Perturbación.** El Bosque alto-andino fragmentado durante los periodos analizados presenta CUS (pérdida del 86,9% del área total); donde el (44,3%) se transforma en bosque denso, el 21,7% en subpáramo, el 18,3% en pastizales y un remanente (2,6%) en humedal natural y cultivos intensivos. Para el final del periodo solo mantiene el 8,7% respecto a 1989 (Cuadro 2 y Figura 2).

**Regeneración.** dentro de la dinámica de CUS para el periodo 1989-1999 muestra que las zonas de cobertura vegetal madura (páramo bajo, bosque alto-andino denso y humedal natural) tiene un proceso de regeneración y conservación establecido en promedio del 64,9% que está representado en la continuidad y permanencia de sus áreas; donde la principal dinámica es con las coberturas de bosque fragmentado.

En general para todo el periodo de evaluación 1989-2008 las coberturas vegetales maduras presentaron los mayores procesos de conservación representados en una permanencia del 63,6%, donde la vegetación de subpáramo mantiene 2.607 ha, seguida del bosque natural (1.765 ha) y el humedal (285,3 ha). Es importante resaltar que la cobertura de pastizal presentó el segundo nivel de permanencia (2.849,3 ha) marcados con procesos de intensificación, perturbación y regeneración después de las coberturas de subpáramo, contrario al bosque fragmentado que solo mantiene 107 ha.

Controladores espaciales del patrón: otro aspecto importante en los sistemas de la franja alto-andina son las condiciones físicas como: altitud, pendiente, clima, suelo que han determinado la ubicación de las diferentes coberturas como es el caso de las áreas de conservación que se encuentran entre los rangos altitudinales de 3200 a 3600 msnm, limitados por pendientes mayores al 20%, temperatura menor a 10°C, precipitación promedio de 2750 mm y suelos de asociación Typic Fulvudands - Acrudoxic Fulvudands - Typic Dystrudepts y Acrudoxic Hapludands - Pachic Melanudands - Typic Placudands, con símbolos MLB

Figura 2. Trayectoria de CUS.



y MHD de montaña derivados de ceniza volcánica, superficiales a profundos, fuerte mente ácidos y fertilidad baja. Las áreas de intensificación con cultivos de papa y pasturas para ganadería se encuentran principalmente entre los 2800 y 3200 msnm, con pendientes menores al 9%, temperatura promedio de 11 a 15°C, precipitación promedio 1050 a 2375 mm y suelos de asociaciones Acrudoxic Fulvudands - Pachic Fulvudands - Typic Hapludands con símbolos MKB, derivados de cenizas volcánicas, moderadamente profundos a muy profundos, textura moderadamente fina, alta saturación de aluminio, fertilidad baja

### Línea de tiempo de las fuerzas motrices o subyacentes en los sistemas productivos

Para relacionar los procesos de transformación en el territorio, se elaboró de forma participativa una línea de tiempo que permite analizar la trayectoria histórica del área de estudio considerando sus relaciones socioecológicas, identificando tres periodos.

Otorgamiento de terrenos baldíos y reducción de bosques andinos (1900-1950): en el año 1900 Gabriel López solo era un área de paso hacia los departamentos de Silvia y Puracé en el que dominaban las coberturas de bosque alto-andino y páramo; territorios que pertenecían a los indígenas Totoroes (Figura 3).

Hacia 1916 los Totoroes, donan 8 ha para establecer la cabecera municipal de Totoró. Posteriormente tras el establecimiento de la ley 200 de 1936 "otorgamiento de terrenos baldíos" por el INCORA y la necesidad de nuevas tierras para agricultura y ganadería, se propició la llegada de campesinos por parte de los terratenientes hacia las zonas altas para despejar el bosque alto-andino y el páramo mediante prácticas

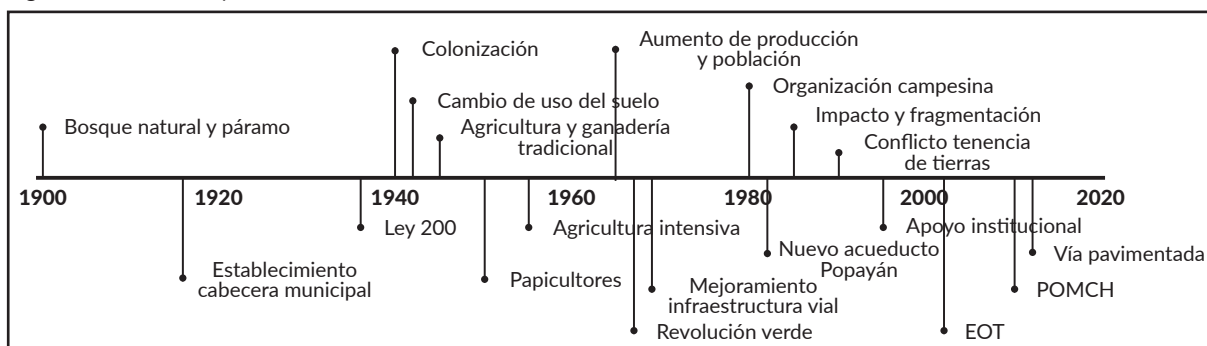
como tala, rosa y quema y dejar el suelo apto para la agricultura o ganadería, es así como empieza la migración de personas provenientes de Popayán y Puracé quienes traen el cultivo de papa (variedad roja o sabanera), ulluco, magua y haba; hacia las partes bajas las comunidades indígenas tenían cultivos de coca, cebolla, maíz y trigo, productos que se intercambiaban y cultivaban sin ningún tipo de abono.

### Mejoramiento del cultivo de papa e infraestructura (1950 a 1980).

Este Cambio multitemporal del área de páramos, bosques, sabanas, agro-ecosistemas y humedales e periodo estuvo marcado por el cambio de coberturas vegetales a pastizales, bosque intervenido y cultivos por la potencialidad de la localidad como productor de papa e inicia la llegada entre 1955 y 1960 de los papicultores, provenientes de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño, que introdujeron nuevos procesos para el cultivo de papa. Por ejemplo la utilización en un 86% de agroquímicos para desinfectar el terreno con herbicidas e insecticidas, fertilizar, encallar, arar, surcar, y uso de tractores para la labranza de la tierra y la inclusión de semillas mejoradas.

Los productos de la ganadería extensiva (leche y carne) empiezan a ser comercializados con los principales municipios (Popayán, Cali). La ganadería solo se realiza si el suelo disminuye su fertilidad o si el agricultor no tiene los suficientes recursos económicos para invertir en la agricultura tecnificada. Dentro de las prácticas asociadas a la ganadería, el 93% de la población hace rotación de cultivos después de 3 a 5 siembras (aproximadamente 3 años), luego dejan descansar el suelo de 5 meses a 1 año o lo abandonan, para introducir ganado (en algunos casos no

Figura 3. Línea de tiempo de hechos históricos.





hay periodos de descanso). Prácticas como la tala y la quema indiscriminada se continúan realizando para obtener leña, postes y despeje de áreas boscosas. Solo el 39% de la población conserva el bosque para protección de fuentes de agua.

Este pico alto de producción generó el aumento de población y la mezcla entre culturas. Además de elevar los costos de producción que solo están al alcance de los grandes terratenientes que empieza a crear alianzas entre ellos con la finalidad de expandir el cultivo, obtener mejor rentabilidad (el cultivo de papa deja entre 50 y 70% de ganancias), comprar y arrendar la tierra de campesinos. Adicionalmente las diferentes reformas del gobierno que incentivaron la producción, junto a la revolución verde y las altas utilidades del cultivo, propician el mejoramiento de la infraestructura vial entre Popayán-Gabriel López y Gabriel López-Departamento del Huila.

Organizaciones sociales y degradación de recursos naturales (1980 a 2014): durante esta época las organizaciones sociales logran tener un apoyo gubernamental para el manejo de las zonas de conservación (páramo, bosque y humedal natural); donde la utilización de la sub-cuenca río Palacé como nuevo acueducto de la ciudad de Popayán generó nuevas dinámicas en US/CUS, pues la frontera agrícola se amplió hasta llegar a zonas de conservación como son el bosque alto-andino, el páramo y el humedal natural.

La asociación de campesinos que corresponden al 97% del total del territorio (80% oriundos y 20% foráneos) inicia en 1980, donde identifican que los principales problemas están relacionados con el manejo de los recursos naturales 17% y por tenencia de tierras 83%. Actualmente el impacto ambiental que está generando las actividades agropecuarias al llegar hasta las zonas de páramo, esta fragmentado el bosque alto-andino, ampliando las áreas de pastizales, colmatando el humedal natural, alterar la calidad de los suelos y agua; donde las prácticas agrícolas han generado problemas de salud en 92% agricultores pues son ellos la mano de obra y quienes asumen todo el impacto ambiental [19].

El análisis de los determinantes de US/CUS permitió establecer la relación entre procesos de modificación y conversión que existen entre las coberturas vegetales naturales y antrópicas de la franja alto-andina.

En el caso de cobertura natural (páramo bajo, bosque natural y fragmentado) se identificó que determinantes biofísicos como: pendiente, temperatura, altitud y fertilidad de suelo crean procesos resilientes y de paramización entre el ecotono de páramo bajo - bosque alto-andino en los últimos años. Adicionalmente determinantes subyacentes como el código de recursos naturales, la ley de páramos han logrado incrementar las áreas de conservación y por ende la oferta de servicios ecosistémicos de regulación, abastecimiento, hábitat y culturales. Sin embargo, aún se mantienen prácticas de la AM que están llevando a la desaparición del bosque fragmentado, que en la dinámica del sistema actúa como un tensor que regula el impacto sobre las coberturas naturales y los CUS.

## CONCLUSIONES

El análisis de procesos y factores explicativos directos e indirectos permitieron establecer que las áreas de agricultura intensiva y pastura extensiva ha establecido una relación directa con las prácticas de agricultura migratoria que son el principal conductor de CUS en la franja alto-andina.

Se identificó un cambio de agricultura tradicional de rotación de campos a un sistema de cultivos intensivos-pastizales extensivos que han impedido la regeneración del bosque fragmentado.

Las fuerzas motrices subyacentes del sector agropecuario como demanda de papa, carne, baja rentabilidad de la agricultura e incentivos del gobierno están relacionadas con factores directos de la agricultura migratoria que busca nuevas áreas de producción.

Por lo anterior se debe enfocar los procesos de planificación y uso del suelo en recuperar no solo las coberturas naturales si no también los bosques fragmentados que regulan la oferta de servicios ecosistémicos y la identidad del territorio.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Cauca y los grupos de Estudios Ambientales y Agroquímica por el apoyo para la ejecución del proyecto.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y su instituto de geografía.

A la organización campesina del corregimiento de Gabriel López.

## REFERENCIAS

- [1] SU, S. *et al.* Progressive landscape fragmentation in relation to cash crop cultivation. *Applied Geography*, 53(0), 2014, p. 20–31.
- [2] WOOD, S.L.R., RHEMTULLA, J.M. and COOMES, O.T. Intensification of tropical fallow-based agriculture: Trading-off ecosystem services for economic gain in shifting cultivation landscapes?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 215, 2016, p. 47–56.
- [3] MUKUL, S.A. and HERBOHN, J. The impacts of shifting cultivation on secondary forests dynamics in tropics: A synthesis of the key findings and spatio-temporal distribution of research. *Environmental Science & Policy*, 55(1), 2016, p. 167–177.
- [4] RIBEIRO, F.A.A., ADAMS, C. and SERENI, M.R.S. The impacts of shifting cultivation on tropical forest soil: a review. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 8 (3), 2013, p. 693-727.
- [5] RUIZ, D.M., MARTINEZ, J.P. y FIGUEROA, A. Agricultura sostenible en ecosistemas de alta montaña, *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 13(1), 2015, p 129-138.
- [6] ARMENTARAS, D. y RODRÍGUEZ, N. Dinámicas y causas de deforestación en Bosque de Latino América: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 12(2), 2014, p. 233–246.
- [7] SALAZAR, A. *et al.* Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. *Global and Planetary Change*, 128(1), 2015, p. 103–119.
- [8] BAJOCCO, S. *et al.* Modeling the ecological niche of long-term land use changes: The role of biophysical factors. *Ecological Indicators*, 60(1), 2016, p. 231–236.
- [9] SUN, W., SHAO, Q., LIU, J. and ZHAI, J. Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China. *Catena*, 21(0), 2014, p. 151–163.
- [10] SLUIS, T. *et al.* Changing land use intensity in Europe – Recent processes in selected case studies. *Land Use Policy*, 57(0), 2016, p. 777–785.
- [11] BRADLEY, A.V. *et al.* SimiVal, a multi-criteria map comparison tool for land-change model projections. *Environmental Modelling & Software*, 82(0), 2016, p. 229–240.
- [12] TASSER, E., LEITINGER, G. and TAPPEINER, U. Climate change versus land-use change—What affects the mountain landscapes more?. *Land Use Policy*, 60(0), 2017, p. 60–72.
- [13] MÓISJA, K., UUEMAA, E. and OJA, T. Integrating small-scale landscape elements into land use/cover: The impact on landscape metrics' values. *Ecological Indicators*, 67(0), 2016, p. 714–722.
- [14] RANGEL, CH.J.O. Biodiversidad en la región del páramo con especial referencia a Colombia. Bogotá (Colombia): Gente Nueva Editorial, 6(0), 2002, p. 168 - 200.
- [15] BRAVO, I.R., ARBOLEDA, C.P. y PEINADO, F.M. Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica*, 63(2), 2014, p. 164–174.
- [16] ORDOÑEZ, M.C. *et al.* Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 71(0), 2015, p. 28–36.
- [17] NEWMAN, M.E., MCLAREN, K.P. and WILSON, B.S. Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186(0), 2014, p. 185–200.
- [18] ZESSNER, M. *et al.* A novel integrated modelling framework to assess the impacts of climate and socio-economic drivers on land use and water quality. *Science of The Total Environment*, 579(0), 2017, p. 1137–1151.
- [19] COLOMBIA. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA (CRC) and ASOCIACIÓN CORREGIMENTAL DE USUARIOS CAMPESINOS DE GABRIEL LÓPEZ (ACUC-GL), Plan de ordenamiento y manejo de la parate alta de la subcuenca hidrográfica del río Palacé (POMCH). Popayán (Colombia): 2010, p. 327,
- [20] COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Cauca. Bogotá (Colombia): 2009, p. 172-198.

- [21] COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000. Bogotá D.C.(Colombia): 2010, p. 62-97.
- [22] TREJO, I. and DIRZO, R. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 94(2), 2000, p. 133-142.
- [23] DA SILVA, R.F.B., BATISTELLA, M. and MORAN, E.F. Drivers of land change: Human-environment interactions and the Atlantic forest transition in the Paraíba Valley, Brazil. *Land Use Policy*, 58(0), 2016, p. 133-144.
- [24] VALDERRAMA, H.R. Diagnóstico participativo con cartografía social. *Innovaciones en metodología Investigación-Acción participativa (IAP)*. Anduli, 12(0), 2013, p. 53-65.