

Artículo original

Dinámicas de cambio de las coberturas del suelo y su impacto en el sector suroriental de Pasto, Colombia

Dynamics of land cover change and its impact in the southeastern sector of Pasto, Colombia

Samia-del-Mar Yela-Lara^{1,*}, Aida-Elena Baca-Gamboa²

¹Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

²Departamento de Biología, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

Resumen

La cuenca alta del río Pasto tiene coberturas de bosque altoandino y de páramo de gran relevancia para la provisión y regulación de servicios ecosistémicos. Sin embargo, la extracción de recursos forestales y la tala para el establecimiento de actividades agropecuarias han transformado el paisaje y generado una matriz de vegetación discontinua. En este estudio se evaluó el estado de las coberturas de la tierra y sus dinámicas de cambio en un periodo de 23 años. Se caracterizaron las coberturas de la tierra de 1995 y 2018 y se cuantificaron los cambios en el uso del suelo mediante un análisis multitemporal. Además, se calculó el grado de fragmentación (F) y el índice de continuidad de Vogelmann (FCI). Los resultados indicaron que el 58,26 % presentaba áreas cultivadas, el 40,19 %, bosques y áreas seminaturales y el 1,55 %, territorios artificializados, con predominio de áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería. A pesar de que la cobertura boscosa se ha incrementado, el análisis multitemporal reveló cambios en la cobertura del paisaje, con un aumento notable de las áreas destinadas a la agricultura, lo que configura un entorno fragmentado y discontinuo.

Palabras clave: Actividad antrópica; Análisis espacial; Fragmentación; Matriz paisajística, Mosaico; Uso del suelo.

Abstract

The upper basin of the Pasto River has high Andean forest and paramo coverages of great relevance for the provision and regulation of ecosystem services. However, the extraction of forest resources and the logging to establish agricultural activities have transformed the landscape and generated a matrix of discontinuous vegetation. Here we evaluated the state of land covers and its change dynamics over a 23-year period. The 1995 and 2018 land coverages were characterized and land use changes were quantified using multitemporal analysis. We also calculated the degree of fragmentation (F) and the Vogelmann continuity index (FCI). Our results indicated that 58.26% had cultivated areas, 40.19% forests and semi-natural areas, and 1.55% were artificial territories; the areas dedicated to agriculture and livestock were predominant. Although the forest cover increased, the multitemporal analysis revealed changes in the landscape coverage, with a notable increase in areas destined for agriculture resulting in a fragmented and discontinuous environment.

Keywords: Anthropic activity; Spatial analysis; Fragmentation; Landscape matrix; Mosaic; Land use.

Citación: Yela-Lara S del M, Baca-Gamboa AE. Dinámicas de cambio de las coberturas del suelo y su impacto en el sector suroriental de Pasto, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 47(185):996-1007, octubre-diciembre de 2023. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1995>

Editor: Jairo Castaño-Zapata

***Correspondencia:**

Samia-del-Mar Yela-Lara;
samiadelmar@udenar.edu.co

Recibido: 8 de septiembre de 2023

Aceptado: 28 de noviembre de 2023

Publicado en línea: 4 de diciembre de 2023



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

Los bosques andinos son ecosistemas de montaña que se caracterizan por su gran diversidad y endemismo de especies de plantas vasculares, aves, anfibios y reptiles (Mathez-Stiefel *et al.*, 2017; Vallejo *et al.*, 2018). Son fundamentales en el mantenimiento de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano, principalmente, la provisión y

regulación de procesos hidrológicos, la protección del suelo, la fijación y almacenamiento de carbono, el suministro de alimentos, medicinas y combustibles, entre otros (Victorino, 2012; Lorca *et al.*, 2015; Mathez-Stiefel *et al.*, 2017).

Lamentablemente, cerca del 62 % de la región andina presenta una dinámica de transformación del paisaje y pérdida de conectividad entre los ecosistemas debido, principalmente, a la deforestación para destinar las tierras a la agricultura, la ganadería, la minería y los cultivos de uso ilícito, así como a la extracción de especies forestales empleadas como madera y leña y la plantación de especies exóticas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2016; Azevedo *et al.*, 2016; Velasco-Linares & Vargas, 2008; Victorino, 2012).

Como resultado, se genera en los bosques una matriz espacial con mosaicos y fragmentos de vegetación que dificultan la conectividad entre los ecosistemas naturales (Lozano-Botache *et al.*, 2011; Velasco-Linares y Vargas, 2008), alterando su funcionamiento y la estructura de las poblaciones y comunidades de plantas y animales (Navarro, 2015), lo que deriva en extinciones, descensos de poblaciones silvestres y homogenización de la composición de especies (López Gallego, 2015).

Los cambios en la cobertura del suelo tienen efectos en diferentes escalas: a nivel regional ocurren variaciones en los ciclos hídricos y en los regímenes de temperatura y precipitación que favorecen el calentamiento global, y a nivel local inducen al deterioro y degradación de suelos, a cambios en el microclima, así como a modificaciones en los ciclos hídricos de las microcuencas (Masis-Campos & Vargas-Picado, 2014; Camacho-Sanabria *et al.*, 2017).

Según el IDEAM (2017), en el período entre 1990 – 2016, se perdieron o transformaron 357.400 hectáreas en el departamento de Nariño debido a diferentes actividades antrópicas. Particularmente en la cuenca del río Pasto, la Corporación Autónoma Regional de Nariño – Corponariño (2008a) ha registrado la reducción de los bosques naturales andinos y altoandinos debido a la tala destinada a despejar áreas para la agricultura y la ganadería. En los últimos 20 años en Colombia se ha generalizado el análisis de las dinámicas de los cambios en las coberturas de la tierra como un instrumento para la formulación y evaluación de las políticas de ocupación y uso sostenible del territorio (IDEAM *et al.*, 2013), así como para generar datos que respalden la planificación y gestión de las cuencas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Ello permite evaluar las transformaciones y determinar los patrones y tendencias de cambio en cuencas y ecosistemas durante un periodo definido (Altamirano & Lara, 2010).

En este contexto, en este estudio nos propusimos analizar la dinámica de cambio de uso del suelo en un periodo de 23 años en la cuenca alta del río Pasto, y contribuir con información sobre el grado de fragmentación y conectividad del paisaje como insumo para que las instituciones y la comunidad que se benefician del recurso hídrico determinen acciones de conservación, restauración ecológica y manejo de la cuenca.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el sur oriente del departamento de Nariño, en la subzona del río Pasto alto, sector del río Pasto alto – alto, en los corregimientos de La Laguna, Buesaquillo, Cabrera y San Fernando, con un área de 6.073,89 ha (Figura 1).

Se caracterizó la cobertura de la tierra en los años 1995 y 2018 empleando la metodología y la nomenclatura de Corine Land Cover – Colombia (CLC-C) propuesta por el IDEAM (2010). Esta metodología establece las clases de cobertura del suelo con sus tipologías y las definiciones adoptadas para Colombia; las unidades de la leyenda varían desde el nivel 1 hasta el nivel 6 en los diferentes grupos de coberturas, en los cuales el nivel está en función de la resolución espacial de las imágenes de satélite, de las condiciones ambientales de cada región y de los requerimientos específicos; en este caso se trabajó hasta el nivel 3. En la tabla 1 se presentan las leyendas utilizadas para elaborar la cartografía de las coberturas de la tierra.

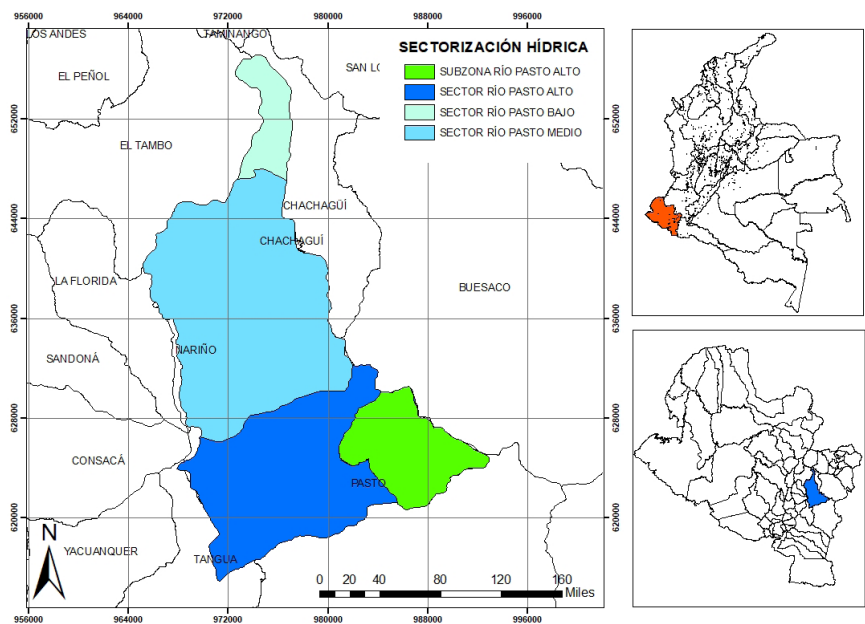


Figura 1. Sector de río Pasto alto – alto, cuenca del río Pasto

Para la delimitación del área de estudio se recopiló inicialmente la información bibliográfica y cartográfica básica: planchas topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC en formato digital a escala de 1:50.000 descargadas de su servidor y de sensores remotos, además de su reconocimiento en campo.

El mapa de coberturas se generó a partir de imágenes satelitales y su interpretación y análisis se hizo mediante un proceso manual y digital (**Posada et al., 2012**). Para el mapa de coberturas del 2018 a escala de 1:50.000, se emplearon dos imágenes de PlanetScope de abril de ese año, con resolución de 3 m (licencia de uso de productos de propiedad del Instituto Geográfico Agustín Codazzi No. 5594-2020). La interpretación visual de estas imágenes de satélite se hizo con ArcGis 10.2 utilizando la técnica de delinear directamente en pantalla los polígonos sobre las imágenes satelitales. En este proceso se emplearon fuentes de datos auxiliares como Google Earth para verificar sistemáticamente el mapeo de la cobertura terrestre (**Earth Resources Observation and Science, 2018**). De todas maneras, todo se verificó en campo y se hizo el mapa de cobertura.

Para el mapa correspondiente a 1995, se utilizaron tres aerofotografías pancromáticas de febrero de ese año (No. Vuelo C-2572, No. Foto 244, 244, 245) con una resolución de 15 micrones. En la fotointerpretación de las aerofotos se hizo la corrección geométrica y la asignación de la georreferencia en el *software* libre ILWIS 3.3 Academic. En la corrección se tomaron como puntos de control elementos geográficos fácilmente identificables en la aerofoto como cruces de carreteras, cercas o ríos (**Abarca, 2005**). Posteriormente, se interpretaron las fotografías aéreas empleando ArcGis 10.2 teniendo en cuenta elementos básicos como la forma, el tamaño, el patrón, el tono, la textura y la ubicación.

Para determinar y analizar los cambios multitemporales en el uso del suelo en el periodo de 23 años, se emplearon los dos mapas de cobertura de la tierra de 1995 y 2018 y se construyó una matriz que definía los cambios ocurridos en la cobertura de la tierra entre los dos periodos determinados, los cuales se agruparon y clasificaron de acuerdo con los principales procesos de uso de la tierra (**Gómez & Páramo, 2005**). Para ello, se emplearon los indicadores propuestos por el **IDEAM et al. (2013)**: fragmentación del bosque, recuperación del bosque, ganancia de pastos, urbanización, intensificación de la agricultura, expansión de la agricultura, desintensificación de la agricultura, dinámica de los cuerpos de agua, aumento de la minería, reforestación y degradación de tierras.

Tabla 1. Unidades de coberturas de la tierra

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	Tejido urbano discontinuo
		Tejido urbano continuo
	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	Zonas industriales o comerciales
		Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		Zonas portuarias
		Aeropuertos
		Obras hidráulicas
	Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas de extracción minera
		Zonas de disposición de residuos
	Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	Zonas verdes urbanas
		Instalaciones recreativas
	Territorios agrícolas	Cultivos transitorios
Cereales		
Oleaginosas y leguminosas		
Hortalizas		
Tubérculos		
Cultivos permanentes		Cultivos permanentes herbáceos
		Cultivos permanentes arbustivos
		Cultivos permanentes arbóreos
		Cultivos confinados
Pastos		Pastos limpios
		Pastos arbolados
		Pastos enmalezados
Áreas agrícolas heterogéneas		Mosaico de cultivos
		Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
		Mosaico de pastos con espacios naturales
		Mosaico de cultivos y espacios naturales
Bosques y áreas semi-naturales	Bosque	Bosque denso
		Bosque abierto
		Bosque fragmentado
		Bosque de galería y ripario
		Plantación forestal
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Herbazal
		Arbustal
		Vegetación secundaria o en transición

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2010

En cuanto a las características del hábitat y del paisaje, el grado de fragmentación se determinó empleando la siguiente ecuación 1 (Lacava, 2003).

$$F = \frac{\text{área del bosque (ha)}}{\text{área total (ha)}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Los valores de F oscilan entre 0 y 1 y para su análisis se establecieron los rangos de fragmentación indicados en la **tabla 2**.

En la evaluación de la conectividad o continuidad espacial como indicador de fragmentación se empleó el índice de continuidad de Vogelmann descrito en la siguiente ecuación:

$$FCI = \ln \left(\frac{\sum A}{\sum P} \right) \quad (\text{Ecuación 2}),$$

donde $\sum A$ es el área total de parches de bosque del paisaje (m^2) y $\sum P$ es el perímetro total de parches de bosque del paisaje (m^2). Los valores máximos implican una mayor continuidad del bosque y los mínimos reflejan una mayor fragmentación y discontinuidad de los parches de bosque; comparados con la escala logarítmica natural los valores menores a cero indican continuidad (**Dechner & Díazgranados, 2007**).

Resultados y discusión

Según la caracterización de coberturas vegetales de 2018, la subzona del río Pasto alto presenta un área de 6.073,89 ha, distribuidas en zonas urbanizadas, pastos, áreas agrícolas heterogéneas, bosques y áreas con vegetación herbácea y arbustiva. Utilizando la clasificación visual de las coberturas arrojada por el Corine Land Cover – Nivel 3 y después de la respectiva validación topológica de las entidades creadas, se determinaron 13 tipos de cobertura de la tierra, de los cuales nueve correspondían a sectores agrícolas y urbanizados y cuatro a áreas de bosques y semi-naturales (**Figura 2**) (**Tabla 3**).

Tabla 2. Rangos de grados de fragmentación

Rangos F	Grado de fragmentación
1	Sin fragmentación
$< 1 \leq 0,7$	Fragmentación moderada
$0,7 \leq 0,5$	Altamente fragmentado
$< 0,5$	Insularizado

Fuente: **Lacava, 2003**

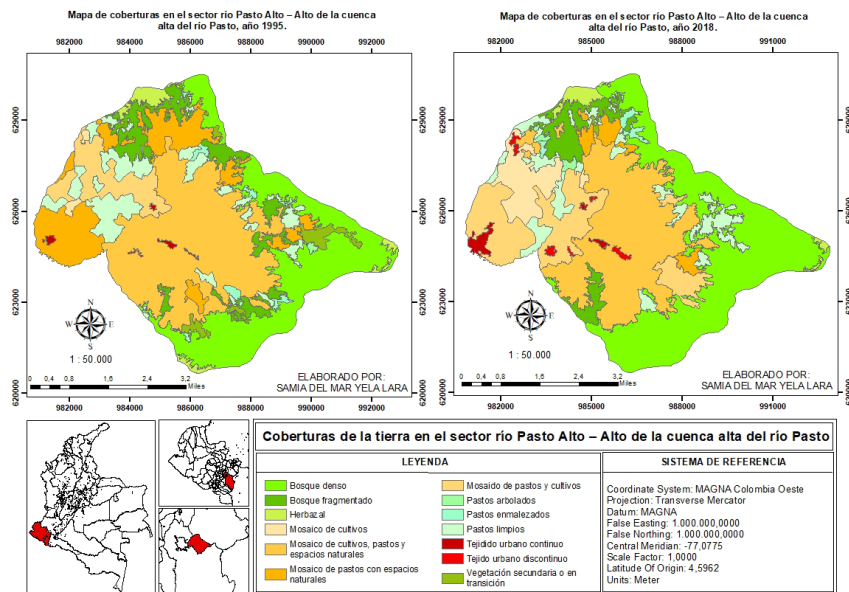


Figura 2. Mapa de coberturas en el sector de río Pasto alto – alto de la cuenca alta del río Pasto, años 1995 y 2018

Tabla 3. Coberturas de la tierra y áreas de ocupación en hectáreas y porcentaje en el sector de río Pasto alto – alto de la cuenca alta del río Pasto, 2018

Nivel 1	Nivel 2	Área (ha)	Área (%)	Nivel 3	Área (ha)	Área (%)
Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	94,29	1,55	Tejido urbano continuo	55,75	0,92
				Tejido urbano discontinuo	38,54	0,63
Territorios agrícolas	Pastos	535,15	8,81	Pastos limpios	456,30	7,51
				Pastos arbolados	50,54	0,83
				Pastos enmalezados	28,31	0,47
	Áreas agrícolas heterogéneas	3003,44	49,45	Mosaico de cultivos	345,78	5,69
				Mosaico de pastos y cultivos	880,46	14,50
				Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1615,60	26,60
				Mosaico de pastos con espacios naturales	161,60	2,66
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	2342,58	38,57	Bosque denso	1981,88	32,63
				Bosque fragmentado	360,70	5,94
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	98,45	1,62	Herbazal	90,25	1,49
				Vegetación secundaria o en transición	8,20	0,13
Total		6073,9	100	Total	6073,9	100

El 38,57 % del área evaluada era de bosque; el 49,45 % estaba conformado por áreas agrícolas heterogéneas, el 8,81 % por pastos, el 1,62 % por vegetación herbácea o arbustiva, y el 1,55 % por zonas urbanizadas. Esta información coincidió con los datos reportados por **Corponariño** (2011) en el Plan de Ordenación del Río Pasto, en el cual se señalaba que la cuenca alta era un territorio con gran potencial agropecuario y que se había incrementado la construcción de viviendas campestres por parte de los habitantes de Pasto.

Las áreas de pastos se han dedicado principalmente a la ganadería, en tanto que las áreas de bosques localizadas en sitios con fuertes pendientes presentan cierto grado de conservación. Según **Corponariño** (2008a), la cuenca alta del río Pasto presentaba un 30 % de cobertura vegetal con páramos, subpáramos y bosque alto andino y el 70 % se destinaba a uso agropecuario de tipo minifundista, con predominio de cultivos de papa, zanahoria, cebolla, maíz y hortalizas, así como a la cría de ganado bovino y otras especies menores.

Las características de la cobertura de los bosques y áreas semi-naturales del sector de la cuenca alta del río Pasto la convierten en un área de gran importancia por ser una zona de recarga hídrica integrada por 15 microcuencas: Las Tiendas, Pozo Hondo, El Retiro, El Barbero, El Tejar, El Purgatorio, Cabrera, Aguapamba, La Chorrera, Campoalegre, El Flautal, Las Minas, Rasacaloma, Pejendino y Dolores, las cuales alimentan el caudal inicial del río Pasto y abastecen acueductos veredales y urbanos (**Corponariño**, 2008b), siendo las de mayor influencia para la comunidad la microcuenca de Las Minas, Las Tiendas y Barbero.

Según **Corponariño** (2008b), la cuenca alta del río Pasto presentaba entonces una oferta hídrica neta disponible de 61,62 millones de m³/año, gracias a ecosistemas naturales ubicados en los márgenes de la cuenca como los páramos de Morasurco, Bordoncillo y El Tábano. Según el **Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander**

Von Humboldt (2012) allí se encuentran 1.240,36 ha que forman parte del complejo de páramos de La Cocha Patascoy (1.062,4 ha del páramo Bordoncillo y 177,96 ha del páramo El Tabano).

Dinámicas de cambio de las coberturas en el periodo de estudio

Características del hábitat y del paisaje. En el período de 23 años analizado el 58,73 % del área no presentó cambios en los tipos de cobertura, en tanto que la dinámica de transformación en el 41,27 % restante (**Tabla 4**) se atribuyó en gran medida a la intensificación de la agricultura, la recuperación de bosque y la ganancia de pastos. Estos cambios se caracterizan por la conversión de áreas con mosaicos que incluían espacios naturales en áreas con mosaicos de cultivos y otras de pastos y cultivos. Paralelamente, se observó la modificación de las áreas con vegetación natural, incluidos el bosque denso, el bosque fragmentado y la vegetación secundaria o en transición, que pasaron a tener coberturas de pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados, tal como se observa en la **figura 2**. Estos cambios en la composición de la cobertura de la tierra reflejan la influencia de diversas actividades humanas y procesos naturales en el paisaje a lo largo del período de análisis.

En este sentido, 659,26 ha que tenían coberturas de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (356,25 ha), así como mosaico de pastos con espacios naturales (303,02 ha), pasaron a presentar mosaicos de pastos y mosaicos de pastos y cultivos, reflejando así la eliminación o disminución de las áreas con espacios naturales, bosque y vegetación herbácea o arbustiva. Asimismo, las áreas con bosque denso y fragmentado se transformaron en pastos limpios, y los mosaicos con espacios naturales y pastos (302,87 ha) en mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales (153,22 ha).

En algunos sectores de las microcuencas de El Tejar, El Purgatorio, Cabrera, La Chorrera, Campoalegre, El Flautal, Barbero y Las Minas hubo una reducción en las actividades de agricultura y 8,2 ha que presentaban mosaicos de pastos con espacios naturales pasaron a tener vegetación secundaria o en transición, en tanto que las 149,69 ha que tenían mosaicos de pastos y cultivos, pastos enmalezados y pastos limpios ahora incluyen espacios naturales.

Cabe destacar la recuperación de 641,72 ha de cobertura boscosa, con 116,72 ha en bosque fragmentado que antes se hallaban dedicadas a usos agrícolas heterogéneos, y 525,01 ha de bosque denso que anteriormente presentaban bosque fragmentado, herbazal, vegetación secundaria o en transición, pastos y áreas agrícolas heterogéneas.

Tabla 4. Indicadores de cambio de las coberturas en el sector de río Pasto alto – alto de la cuenca alta del río Pasto entre 1995 y 2018

Indicador de cambio de coberturas	Área (ha)	Área (%)
Sin cambio	3567,14	58,73
Intensificación de la agricultura	659,26	10,85
Recuperación de bosque	641,72	10,57
Cambio similar	503,86	8,30
Ganancia de pastos	302,87	4,99
Desintensificación de la agricultura	157,89	2,60
Expansión de la agricultura	153,22	2,52
Urbanización	69,77	1,15
Fragmentación de bosque	16,54	0,27
Otros cambios	1,62	0,03
Total	6073,89	100

La recuperación de la cobertura natural se atribuye a las acciones de reforestación y aislamiento desarrolladas por la comunidad o por entidades como Empopasto y Corporenariño en los últimos años, lo que ha permitido un incremento en la cobertura boscosa y procesos de regeneración natural en áreas que se mantenían sin cobertura (**Corponariño et al.**, 2008). Un ejemplo de ello es la adquisición de predios por parte de Corponariño en áreas estratégicas para la conservación y recuperación, así como la implementación de alternativas productivas y restauración ecológica, del programa de familias guardabosques y de asistencia técnica a cargo de Empopasto (**Narváez et al.**, 2016). Asimismo, desde el 2016 la Alcaldía de Pasto viene adelantando la campaña “un millón de árboles para la vida” con la siembra de 1.013.676 de árboles para el enriquecimiento del bosque y la conectividad a través de cercas vivas en la cuenca del río Pasto, la cuenca del río Bobo y la cuenca del río Guamuez (**Alcaldía Municipal de Pasto**, 2019).

A pesar de estas medidas de recuperación y conservación en el área, persisten actividades agrícolas y ganaderas que contribuyen a la expansión de la frontera agropecuaria. También ha continuado la explotación del recurso forestal con fines dendroenergéticos en áreas con coberturas naturales de gran relevancia para la provisión y regulación de bienes y servicios ecosistémicos. En los recorridos de campo se evidenció la extracción de material vegetal, especialmente en áreas de bosque fragmentado. Estas actividades son consistentes con los hallazgos presentados en el estudio de **Solarte et al.** (2007) en torno a cómo las comunidades circundantes ejercen presión sobre la vegetación por la extracción de leña, carbón y madera.

Todo esto conlleva una degradación de las áreas con cobertura natural que afecta negativamente el funcionamiento y la estructura de las poblaciones y comunidades del bosque, ya que las áreas alteradas tienen una mayor tendencia a convertirse en terrenos agrícolas (**Food and Agriculture Organization – FAO**, 2018). Justamente la deforestación y la conversión de los bosques en tierras agrícolas son las amenazas más visibles a nivel mundial (**Bargali**, 2018). Además, la intervención antropogénica puede cambiar los patrones de comportamiento y la distribución, incluso destruir poblaciones sensibles al aumentar el estrés, reducir el éxito reproductivo, aumentar la depredación o causar un cambio en el hábitat (**Mainwaring et al.**, 2009).

La zona boscosa de la cuenca alta del río Pasto presenta un índice de fragmentación (F) de 0,29, que corresponde a la categoría de insularizado, la cual se considera el grado más crítico de fragmentación. Según **Cabrera et al.** (2020), la fragmentación insularizada se da en áreas con perturbaciones en su estado natural, lo cual ocasiona pérdida del ecosistema nativo a causa de las actividades antropogénicas (aumento de la frontera agrícola, tala indiscriminada, etc.). En el caso de la zona de estudio hay actividades agrícolas (cultivos de papa, cebolla, zanahoria, arveja) y pecuarias (cría de ganado bovino) en más del 45 % del área, lo que ha generado un paisaje con parches del bosque como puede verse en los polígonos que conforman las coberturas naturales (**Figura 2**). Se confirma, así, lo expuesto por **Galván-Guevara** (2015), quien afirma que los parches de bosque en paisajes fragmentados tienen una forma irregular y discontinua. En general, estas formas irregulares tienen un mayor efecto de borde y, por lo tanto, una mayor afectación por acción de la matriz o del uso del suelo circundante (**Galván-Guevara**, 2015; **De Matos et al.**, 2021).

El grado de fragmentación insularizado es más frecuente en bosques andinos y secos. Una situación similar a la de la cuenca alta del río Pasto se ha reportado en otras regiones del país, por ejemplo, en el norte del departamento del Tolima (fragmentación entre 0,04 – 0,21) (**Lozano-Botache et al.**, 2011), en la subregión del bajo Sinú en Córdoba, donde los bosques secos también presentan un estado de fragmentación categorizado como insularizado, con un valor de 0,00078 (**Saab Ramos**, 2020), y en los bosques de Montes de María, con un valor de 0,3550 (**Galván-Guevara**, 2015); en las coberturas naturales del departamento de Santander también se hallaron valores inferiores a 0,5 en la categoría de insularización, lo cual indica que son áreas en donde hay fragmentación en parches y aislamiento de especies, lo que puede ir aumentando a medida que dichos fragmentos se hacen más irregulares (**Cárdenas Camacho**, 2018).

La pérdida y fragmentación de bosques y áreas con vegetación herbácea o arbustiva en la zona de estudio en aras de las actividades productivas ha generado una reducción y alteración del hábitat. Asimismo, las actividades de extracción y aprovechamiento de las coberturas naturales tienen un impacto negativo en su estado. Según **Gurrutxaga (2004)**, actividades como la tala de ramas y troncos, la caza, el furtivismo, el abandono de basura y la frecuencia con que las personas acceden a los fragmentos contribuyen a la degradación del hábitat.

En el sector de la cuenca alta del río Pasto, el índice de continuidad (FCI) en el bosque denso presentó un valor de 5,15 y en el bosque fragmentado de 4,27. Teniendo en cuenta que los valores menores a 0 indican continuidad, estos bosques tienen la categoría de discontinuos. Esta condición convierte las coberturas naturales en áreas frágiles con relación a la matriz del paisaje o los tipos de uso del suelo de las áreas conexas (**Galván-Guevara, 2015**), donde se presentan principalmente pastos limpios, mosaicos de cultivos, mosaicos de pastos y cultivos, y mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales. Según **Zambrano- Fernández (2020)**, el paisaje discontinuo es el resultado de las actividades agrícolas y de la tala selectiva.

En los bosques andinos a nivel nacional se presentan resultados similares a los hallados en este estudio. Así, los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima presentan discontinuidad, con valores de FCI entre 4,98 – 5,30 (**Lozano-Botache et al., 2011**). Asimismo, algunas áreas del bosque andino del municipio de Quetame (Cundinamarca) registran discontinuidad, con valores en el índice de continuidad de 3,1 (**Rojas de los Ríos, 2019**). Resultados similares se han reportado en el bosque seco tropical: por ejemplo, en el arroyo Pechelín (Sucre), se halló un índice de continuidad de 3,98, lo que lo categoriza como discontinuo y evidencia que existe fragmentación en el bosque del área del estudio (**Galván-Guevara, 2015**).

Infortunadamente, los procesos de fragmentación de hábitats provocan un incremento del riesgo de extinción local de especies animales y vegetales, al reducir los tamaños de las poblaciones por la pérdida neta del hábitat y la dificultad de dispersión entre subpoblaciones impuesta por el incremento del aislamiento entre fragmentos (**Greenteach, 2019**). Esta problemática no es exclusiva de la cuenca alta del río Pasto, pues se observa en otros ecosistemas del departamento de Nariño y del país, con bosques naturales que presentan fragmentación y discontinuidad en los parches como resultado de los efectos causados por las actividades agrícolas y de ganadería extensiva. Por ello, la adopción de medidas de conservación o recuperación en la cuenca alta del río Pasto es de gran relevancia porque los ecosistemas de bosques altoandinos y páramo permiten la interceptación, almacenamiento y regulación del recurso hídrico, lo que a su vez garantiza el desarrollo económico y social del municipio de Pasto (**Findeter, 2015**).

Conclusiones

El análisis multitemporal de un período de 23 años evidenció el aumento de las áreas ocupadas por bosque denso. Sin embargo, también se registró un incremento en las áreas destinadas a la agricultura con mosaicos de pastos y cultivos y mosaicos de cultivos, lo que ha ocasionado un deterioro en la cantidad y calidad de las coberturas naturales fundamentales para la provisión y regulación de los servicios ecosistémicos. Los cambios en el uso del suelo han configurado un paisaje fragmentado y discontinuo, caracterizado por la presencia de fragmentos de formas irregulares y un mayor efecto de borde que influye en el funcionamiento y la estructura del bosque y afecta negativamente la biodiversidad, los ciclos de nutrientes y la dinámica de los ecosistemas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigaciones e Interacción Social (VISS) de la Universidad de Nariño, por el financiamiento de esta investigación, y a los agricultores locales que permitieron el ingreso a sus predios para el registro de información.

Contribución de los autores

SYL: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, redacción; AEBG: análisis, revisión y edición.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

- Abarca, O.** (2005). Metodología de bajo costo para el levantamiento planimétrico de predios agrícolas con sistemas de información geográfica. *Revista Agronomía Tropical*, 55(2), 183-201. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2005000200002&lng=pt&nrm=iso&tIng=es
- Alcaldía Municipal de Pasto.** (2019). *Campaña un millón de árboles*. <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Campa-a-un-mill-n-de-arboles/6kr2-mmpm>
- Altamirano, A. & Lara, A.** (2010). Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del Centro-sur de Chile. *Bosque*, 31(1), 53-64. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000100007>
- Bargali, S.** (2018). Forest Ecosystem: Structure and Functioning. *Current Trends in Forest Research*, 2(4), 2-4.
- Cabrera, D., Morales, H., Guerrero, D.** (2020). Metodología de la identificación de corredores de conservación en el santuario de flora y fauna Galeras y el cerro Morasurco en el municipio de Pasto (Nariño). *Boletín Informativo CEI*, 7(2), 89-101.
- Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J.M., Balderas-Plata, M.Á., Sánchez-López, M.** (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y bosques*, 23(3), 39-60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Cárdenas-Camacho, M.C.** (2018). *Evaluación de impactos ambientales a partir del análisis satelital de coberturas presentes en el área de influencia de las 28 microcuencas priorizadas por la CDMB*. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Santander. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4405/16.%20R-DC95.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corporación Autónoma Regional de Nariño - Corponariño.** (2008a). *Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Pasto "Renace río Pasto"*. Alcaldía de Pasto – Corponariño – Empopasto.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño - Corponariño.** (2008b). *Índice escasez de agua superficial cuenca del río Pasto*. Corponariño.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño – Corponariño, Universidad de Nariño, Grupo de Estudios y Acciones Ambientales – GREDA.** 2008. Plan de ordenamiento y manejo de la microcuenca Las Minas, cuenca alta del río Pasto, municipio de Pasto. <https://pasto.gov.co/transparencia/planes-ambientales?download=106:plan-ordenamiento-y-manejo-microcuenca-las-minas-cuenca-alta-rio-pasto>
- Corporación Autónoma Regional de Nariño - Corponariño.** (2011). *Plan de ordenamiento del cauce principal del río Pasto*. <https://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhriopasto.pdf>
- Cotillon, S. E. & Tappan, G. G.** (2016). *Landscapes of West Africa – A Window on a Changing World*. <https://eros.usgs.gov/westafrica/sites/default/files/ebook-English/index.html>
- De Matos, T. P. V., De Matos, V. P. V., De Mello, K., Valente, R. A.** (2021). Protected areas and forest fragmentation: sustainability index for prioritizing fragments for landscape restoration, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 5(1), 19-31. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1696266>
- De Azevedo, D. G., Gomes, R. L., Bruck de Moraes, M. E.** (2016). Estudos da fragmentação da paisagem na definição de áreas prioritárias para a recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio Buranhém. *Boletim de Geografia Maringá*, 34(2), 127-144. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i2.25554>
- Dechner, A. & Díazgranados, M.** (2007). Composición y estructura de la vegetación boscosa de la cuenca baja del río San Salvador, vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Universitas Scientiarum*, 12(2), 99-124.
- Food and Agriculture Organization - FAO.** (2018). *Reducción de la degradación forestal*. <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/reducing-forest-degradation/basic-knowledge/es/>

- Findeter.** (2015). *Plan de Acción 2038*. <https://webimages.iadb.org/PDF/Plan+de+Acci%C3%B3n+Pasto+2038.pdf>
- Galván-Guevara, S. I.** (2015). *Fragmentación de bosque y su relación con la conservación de primates diurnos en el Arroyo Pechelín, Sucre, Colombia*. Tesis de maestría, Universidad de Cartagena. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/4261/FRAGMENTACION%20DE%20BOSQUE%20Y%20SU%20RELACION%20CON%20LA%20CONSERVACION%20DE%20PRIMATES%20DIURNOS%20EN%20EL%20ARROYO%20PECHEL%C3%89N,%20SUCRE,%20COLOMBIA.pdf?sequence=1>
- Gómez, O., Páramo, F.** (2005). *Environmental Accounting*. European Environmet Agency. https://projects.eionet.europa.eu/leac/library/juan/methodological_guidebook/download/en/1/LEAC_Methodological_Guidebook_FP.doc
- Greenteach.** (2019). *Fragmentación de hábitats*. <https://www.greenteach.es/fragmentacion-de-habitats/>
- Gurrutxaga, M.** (2004). *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad. Nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial*. Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia. https://www.researchgate.net/publication/302252844_Conectividad_ecologica_del_territorio_y_conservacion_de_la_biodiversidad_Nuevas_perspectivas_en_ecologia_del_paisaje_y_ordenacion_territorial
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.** (2012). *Proyecto: Actualización del Atlas de Páramos de Colombia. Convenio Interadministrativo de Asociación 11-103*. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.** (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.** (2016). *La cifra de deforestación en Colombia 2015 reporta 124.035 hectáreas afectadas*. http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/la-cifra-de-deforestacion-en-colombia-2015-reporta-124-035-hectareas-afectad
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.** (2017). *Proyecto Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC)*. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Rodríguez, J., Peña, V.** (2013). *Análisis de dinámicas de cambios de las coberturas de la Tierra en Colombia, Escala 1:100.000 Periodos 2000-2002 y 2005-2009*. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023677/Analisisdinamicas.pdf>
- Lacava, A. N. D.** (2003). *Instrumentos para la planificación integral del uso de la tierra con sistemas de información geográfica – un caso de estudio en Argentina*. Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
- López-Gallego, C.** (2015). *Monitoreo de poblaciones de plantas para conservación: recomendaciones para implementar planes de monitoreo para especies de plantas de interés en conservación*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lorca, P., Soley, R., Boyando, D.** (2015). *Diagnóstico, Identificación y valoración económica de Servicios Ecosistémicos, municipios de San Juan Nepomuceno y Santa Rosa de Cauca*. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/obj_6_valoracion_san_juan_nepomuceno.pdf
- Lozano-Botache, L. A. L., Gómez-Aguilar, F. A. G., Chaves, S. V.** (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima-Colombia. *Revista Tumbaga*, 1(6), 125-140.
- Mainwaring, A., Culler, D., Polastre, J., Szweczyk, R. Anderson, J.** (2009). *Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring*. <https://people.eecs.berkeley.edu/~culler/papers/wsn02.pdf>
- Masis-Campos, R., Vargas-Picado, H.** (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. *Revista Reflexiones*, 93(1), 33-46.
- Mathez-Stiefel, S. L., Peralvo, M., Báez, S.** (2017). *Hacia la conservación y la gobernanza sostenible de los paisajes de bosques andinos: Una agenda de investigación*. Programa Bosques Andinos de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE, CONDESAN, Helvetas, Bosques Andinos, Universität Bern.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.** (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/GUIA_DE_POMCAS.pdf

- Narváez, Y., Paz, W., Guapucal, M., Leonel, H.** (2016). Procesos institucionales en el pago por servicios ambientales, cuenca alta del río Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33 (1), 64 – 72. <https://doi.org/10.22267/rcia.163301.7>
- Navarro, R., González, G., Flores, V., Amparán, S.** (2015). *Fragmentación y sus implicaciones: Análisis y reflexión documental*. Editorial de la Univ. Guadalajara UDG-CA-341.
- Posada, E., Ramírez, H., Espejo, N.** (2012). *Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualERDAS_web.pdf
- Rojas-de los Ríos, L. A.** (2019). *Evaluación del grado de fragmentación de un área de bosque andino, predio cascadas del pucará, municipio de Quetame-Cundinamarca*. Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16542/2019laurarojas.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Saab-Ramos, H.P.** (2020). *Diversidad florística y fragmentación del bosque seco tropical en la subregión Bajo Sinú-Córdoba, Colombia*. Tesis de maestría, Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3623/saabramosheidypaola.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Solarte, M. A., Narváez, G., Rivas, G., Bacca, A. E., Muñoz, D., Calderón, J.J., Torres, C., Figueroa, V., Rengifo, J., Martínez, P., Dávila, M., Cepeda, B., Castillo, G.** (2007). *Proyecto Estado del arte de la Información Biofísica y Socioeconómica de los Paramos de Nariño. Tomo I. Grupo de investigación en Biología de Paramos y Ecosistemas Andinos, Universidad de Nariño-Corporación autónoma regional de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia*. <https://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/biodiversidad/tomo01introduccion.pdf>
- Vallejo, E. M. Q., Benavides, A. M., Moreno, N., Caro, S. G.** (2018). *Bosques andinos, estado actual y retos para su conservación en Antioquia*. Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe - Programa Bosques Andinos (COSUDE).
- Velasco-Linares P. & Vargas, O.** (2008). *Problemática de los bosques altoandinos*. https://www.researchgate.net/publication/260640030_Problematica_de_los_bosques_altoandinos
- Victorino, A.** (2012). *Bosques para las personas: Memorias del Año Internacional de los Bosques (2011)*. Instituto de Investigación de Recurso Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Zambrano-Fernández, E. D.** (2020). *Determinación del grado de fragmentación del bosque seco tropical de la subcuenca Quimis de la comuna Las Lagunas, Cantón Montecristi*. Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2464/1/Elias%20Zambrano.pdf>