

Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguízamo, Putumayo (Colombia)

Laura Nataly Tiria Forero¹

Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá - Colombia

Julián Santiago Bonilla Castillo²

Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué - Colombia

César Augusto Bonilla Castillo³

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), Puerto Leguízamo - Colombia

Resumen

El artículo busca caracterizar la transformación de la cobertura vegetal en el margen de la vía La Tagua-Puerto Leguízamo, en Putumayo (Colombia), y su incidencia en el calentamiento global. Para ello, se presenta el contexto histórico de la colonización en el municipio que provocó la transformación ecológica del paisaje; se analiza el comportamiento de variables climáticas, como precipitación y temperatura; y se mide la deforestación y emisión de CO₂ por conversión de bosque a pastos, en el periodo 2002-2016. Este estudio de caso permite ver cómo los cambios en la cobertura y uso del suelo en la Amazonía colombiana, fruto de procesos de colonización, han elevado la emisión de gases de efecto invernadero, como el CO₂.

Palabras clave: cambio climático, cambio de cobertura y uso del suelo, deforestación, emisiones de co₂, efecto invernadero, cobertura vegetal.



doi: 10.15446/rcdg.v27n2.70441

RECIBIDO: 16 DE FEBRERO DE 2018. ACEPTADO: 9 DE MAYO DE 2018.

Artículo de investigación sobre la emisión de CO₂ y disminución de captura de CO₂ a partir de la deforestación para la conversión de pastos limpios y la modificación de las variables climáticas (precipitación y temperatura) a partir del cambio de coberturas vegetales.

COMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Tiria Forero, Laura Nataly, Julián Santiago Bonilla Castillo, y César Augusto Bonilla Castillo. 2018. "Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguízamo, Putumayo (Colombia)." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (2): 286-300. doi: 10.15446/rcdg.v27n2.70441.

1 Intiriaf@unal.edu.co – ORCID: 0000-0003-4815-2663.

2 mvzjuliancastillo@gmail.com – ORCID: 0000-0003-4597-9745.

3 cbonilla@sinchi.org.co – ORCID: 0000-001-9816-529X.

Transformation of Vegetation Covers and Land Use in the Colombian Amazon Plain: The Case of Puerto Leguízamo, Putumayo (Colombia)

Abstract

The article describes the transformation of the vegetation cover on the margin of the La Tagua-Puerto Leguízamo highway, in Putumayo (Colombia), and its impact on global warming. To this end, it presents the historical context of settlement in the municipality that led to the ecological transformation of the landscape; it analyses the behaviour of climate variables, such as precipitation and temperature; and it measures deforestation and CO₂ emissions by transformation of forest to grasslands during the period 2002-2016. This case study allows one to understand how changes in vegetation cover and land use in the Colombian Amazon, as a result of settlement processes, have increased the emission of greenhouse gases, such as CO₂.

Keywords: climate change, land cover and use change, deforestation, CO₂ emissions, greenhouse effect, vegetation cover.

Transformação da cobertura vegetal e uso do solo na planície amazônica colombiana: o caso de Puerto Leguízamo, Putumayo (Colômbia)

Resumo

Este artigo pretende caracterizar a transformação da cobertura vegetal na margem da rodovia La Tagua-Puerto Leguízamo, Colômbia, e sua incidência no aquecimento global. Para isso, apresenta-se o contexto histórico da colonização no município que provocou a transformação ecológica da paisagem; analisa-se o comportamento de variáveis climáticas, como precipitação e temperatura; e determina-se a extensão do desmatamento e de emissão de CO₂ por conversão de floresta em pastagem entre 2002-2016. Este estudo de caso mostra como as mudanças na cobertura e uso do solo na Amazônia colombiana por processos de colonização aumentaram a emissão de gases de efeito estufa, como o CO₂.

Palavras-chave: mudança climática, mudança de cobertura e uso do solo, desmatamento, emissões de CO₂, efeito estufa, cobertura vegetal.

Introducción

El tema del cambio climático en las últimas décadas ha sido uno de los ejes principales a tener en cuenta para el diseño de políticas de desarrollo a nivel mundial y, actualmente, en los ámbitos regional y local. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático —en adelante, IPCC, por sus siglas en inglés— es mundialmente el encargado de establecer los ejes estratégicos para combatir los efectos que conlleva este fenómeno, desde el conocimiento técnico, científico y socioeconómico (IPCC 2013). Cabe aclarar que, aunque el cambio del clima en la historia geológica es un proceso natural, la participación de las actividades antrópicas ha hecho que se altere de diferentes formas el balance de radiación del sistema superficie-atmósfera del planeta que mantiene el clima de la Tierra, pues las emisiones de Gases de Efecto Invernadero —en adelante, GEI— han ido aumentando paulatinamente. Ello ha reforzado su efecto, no solo por procesos de industrialización, sino también por la transformación de cobertura en la Tierra (como deforestación y expansión de la frontera agropecuaria), la cual genera al mismo tiempo cambio en las propiedades radiativas de la superficie terrestre, como el albedo y la emisividad (Pabón-Caicedo 2003, 112).

De cara a esta problemática, los ecosistemas de la cuenca amazónica han suscitado interés en su estudio y conservación, pues son parte de los reservorios de carbono más grandes del mundo; son el hábitat de una de cada cinco especies de mamíferos, peces, aves y árboles en el mundo, y, además, generan un equilibrio global de agua y energía, lo que convierte la cuenca en un actor estratégico en la circulación atmosférica global, ya que cerca de 8 millones de toneladas de agua se evaporan de los bosques amazónicos cada año (Nepstad et ál. 2008; OTCA 2014).

La Amazonía es fuente de preocupación mundial debido a que el cambio climático genera presión sobre los ecosistemas y amenaza su permanencia, y también porque el cambio de cobertura y uso del suelo en esta región puede contribuir drásticamente a la alteración del balance de radiación del sistema superficie-atmósfera. De acuerdo a Houghton (2005), durante la década de los noventa se liberaron entre 1×10^9 y 2×10^9 toneladas de carbono por año (15-35% anual

de combustibles fósiles) por deforestación tropical y conversión permanente a pastos y cultivos. Además, esta conversión genera en el suelo efectos de compactación; déficit hídrico causado por los cambios en la infiltración y disminución de la capacidad de retención de agua, y, en términos climáticos, cambios en la evapotranspiración y alteración en los flujos de calor y humedad que provocan desequilibrio energético local (Cox et ál. 2004).

En la Amazonia colombiana se ha deforestado, según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM sf.), entre 1990 a 2013, un total de 2.792.700 ha, de las cuales 71.233 ha corresponden específicamente del municipio de Puerto Leguízamo. Para el periodo 2010-2013, el área deforestada en este municipio fue de 10.762 ha (SINCHI y WWF 2015). El principal foco de deforestación en Puerto Leguízamo se concentra en la vía carretable que conecta los puertos fluviales de La Tagua (río Caquetá) y Puerto Leguízamo (río Putumayo), pues esta zona ha sido el eje de instalación de la actividad económica principal, y ello ha favorecido procesos de colonización y establecimiento de pequeños productores y terratenientes, con el consiguiente cambio de cobertura y uso de suelo a potreros mediante la tala y quema de bosque.

Aunque en el municipio han existido diferentes estrategias de conservación, como la creación del Parque Nacional Natural La Paya en 1984 y la adjudicación de quince resguardos indígenas donde habitan siete etnias diferentes (figura 1), el aumento de la deforestación desde la década de los noventa ha sido progresivo y con ello la emisión constante de CO_2 .

Por consiguiente, el objetivo principal de este estudio es caracterizar la transformación de cobertura en el margen de la vía La Tagua-Puerto Leguízamo y su incidencia en el cambio climático. Para ello, fue necesario analizar el contexto histórico territorial que determina la transformación de cobertura y uso del suelo; determinar la tasa anual de deforestación, de acuerdo con los datos para el periodo 2002-2016, y con ello la magnitud de emisiones de CO_2 por la conversión de bosques naturales a pastos limpios; y finalmente, caracterizar variables climáticas (precipitación y temperatura) y las repercusiones que puede conllevar el cambio de cobertura y uso de suelo en estas variables.

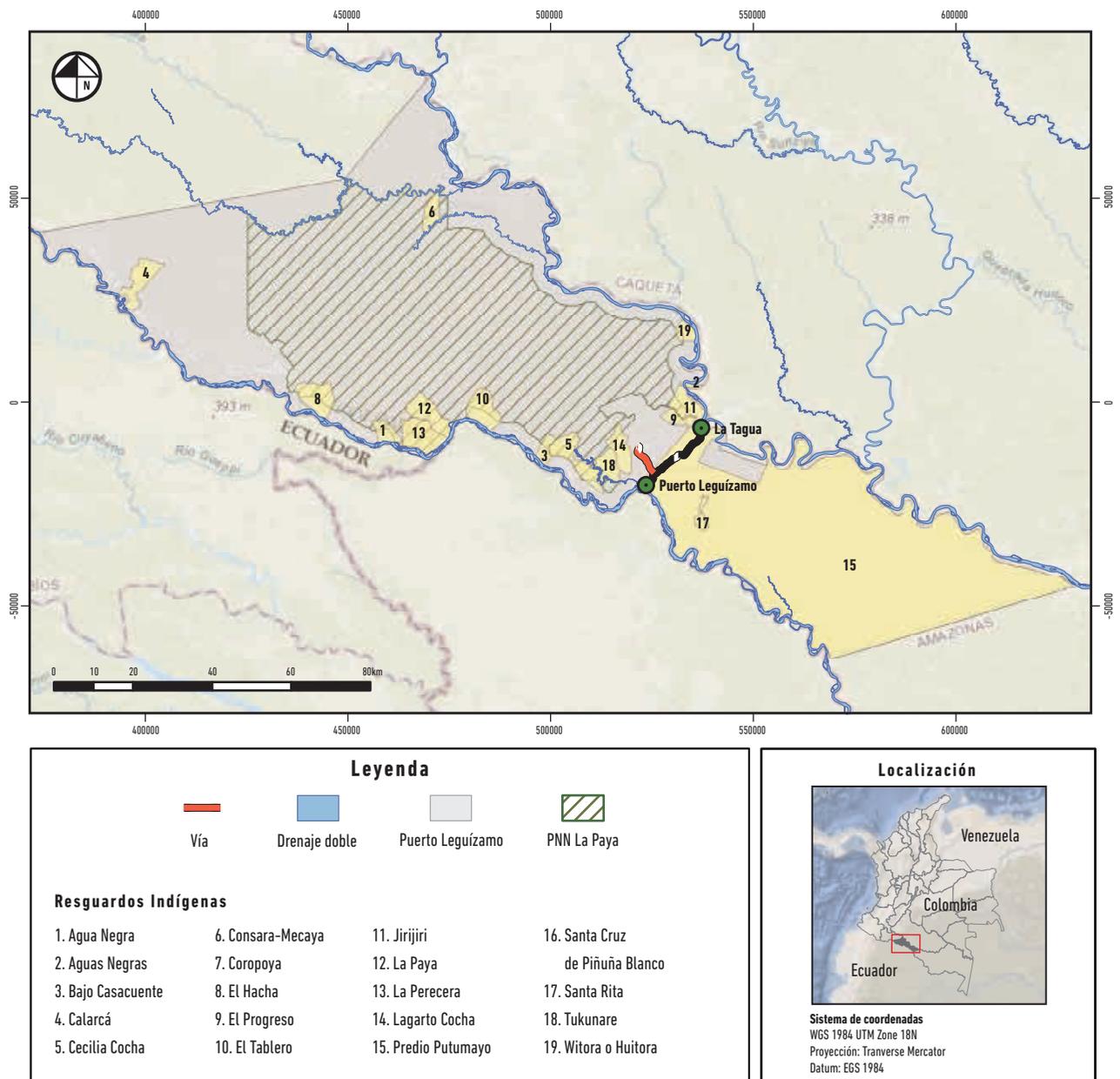


Figura 1. Localización de Puerto Leguizamo y su configuración territorial. Datos: IGAC 2015, Parques Nacionales Naturales de Colombia 2017.

Metodología

De acuerdo con los objetivos planteados, se estableció una ruta metodológica que contempla, por un lado, el análisis del contexto histórico del municipio de Puerto Leguizamo, a partir de revisión de fuentes documentales y, por otro lado, un análisis multitemporal espacial, expresado cuantitativamente para determinar el cambio de cobertura y la cantidad de emisiones de

CO₂ por este cambio. Cabe resaltar que los cambios de cobertura vegetal superpuestos con el contexto histórico permiten mostrar el resultado de las dinámicas socioeconómicas que paulatinamente se han ido estableciendo en los territorios. Por ende, es importante comprender cómo todas las dinámicas históricas en el territorio del Putumayo, desde el primer intento de colonización, inciden en las transformaciones y problemáticas ambientales presentes.

Así, las actividades desarrolladas fueron: trabajo de campo para observación del contexto territorial, búsqueda de fuentes documentales, cálculo de área de cobertura transformada entre los años 2002 y 2016 en el área de estudio (datos obtenidos de la base geográfica del Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonía Colombiana (SIATAC), del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas —en adelante, SINCHI—, y el cálculo de emisión de CO₂ del área de la conversión de bosques a pastos.

Para el cálculo de emisiones de CO₂ se tuvieron en cuenta los estudios realizados por Yepes et ál. (2011), quienes determinaron la biomasa de los principales bosques de Colombia mediante el método indirecto, el cual se fundamenta en el uso de ecuaciones alométricas desarrolladas para el contexto colombiano por Álvarez et ál. (2011). En síntesis, de estos estudios se usaron los datos de biomasa aérea y de carbono obtenidas para el bosque húmedo tropical en Colombia y los pastos, además de la metodología propuesta para determinar las emisiones de carbono por deforestación.

Yepes et ál. (2011) exponen que para determinar la cantidad de carbono liberado por deforestación (toneladas por hectárea - tn/ha), es necesario que al contenido de carbono por hectárea de otras coberturas (en este caso el de pastos limpios) se le reste el contenido de carbono por hectárea de bosque natural. El resultado será un valor negativo a partir de la aplicación de la ecuación 1:

Ecuación 1.

$$C (tn/ha) \text{ liberado} = C (tn/ha) \text{ pastos} - C (tn/ha) \text{ Bosque húmedo tropical}$$

Teniendo el contenido de carbono liberado de una hectárea por deforestación (tn/ha), se puede calcular el

carbono total liberado de un área específica en un periodo de tiempo determinado, así (ecuación 2):

Ecuación 2.

$$C (tn/ha) \text{ liberado} * \text{Área total deforestada (ha)} = C \text{ total liberado (tn)}$$

Finalmente, con el dato de carbono total, se puede determinar el dióxido de carbono (CO₂) total liberado multiplicando este valor con el factor de conversión de C a CO₂, equivalente a 3,67 (ecuación 3):

Ecuación 3.

$$1 \text{ mol C} * \frac{1 \text{ mol CO}_2}{12 \text{ g/mol C}} * \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 3,67 \text{ g CO}_2$$

Resultados y discusión

Contexto histórico de la colonización en Puerto Leguizamo y cambios de cobertura vegetal y uso del suelo

Antes de la llegada del hombre blanco a este territorio, según Pineda (1987), se estima que habitaban estas tierras cerca de 100.000 personas, pertenecientes a ocho comunidades indígenas con diferentes linajes locales. Vivían en malocas o casas colectivas ubicadas a cierta distancia de la ribera de grandes y pequeños ríos, protegiéndose de plagas, inundaciones y eventuales enemigos. Aunque los datos tienen un alto nivel de incertidumbre, debido a la precariedad censal en el siglo XX, se calcula que durante las primeras ocho décadas de ese siglo la población indígena había disminuido en más del 85% (tabla 1).

Tabla 1. Población indígena del bajo Caquetá-Putumayo durante el siglo XX

Población indígena del bajo Caquetá-Putumayo a principios del siglo XX			Población indígena bajo Caquetá-Putumayo (1980)		
Etnia	Población estimada	Fuente	Etnia	Población estimada	Fuente
Witoto	30.000	Casement (1912)	Witoto	5.000	Calle (1979)
Miraña	15.000	Von Hassel (1915)	Miraña	300	Guyot (1972)
Bora	3.000		Bora	1640 (?)	Dirección Asuntos Indígenas
Andoque	10.000	Whiffen (1915)	Andoque	250	Pineda (1975)
Ocaina	2.000		Ocaina	380	Dirección Asuntos Indígenas
Muinane	2.000		Muinane	500 (?)	Pineda (1975)
Nonuya-Witoto	1.000		Nonuya	380 (?)	Dirección Asuntos Indígenas
Resiguero	1.000				

Datos: Pineda 1987.

Se estima que la incursión del hombre blanco en este territorio se da en la década de los ochenta del siglo XIX, con la expedición de la empresa comercial Elías Reyes & Hermanos, proveniente de Boyacá, quienes implementaron la navegación a vapor por el río Putumayo (para la época río Iça), y la exploración a cargo de Rafael Reyes (presidente de la República de Colombia, 1904-1909) con el fin de encontrar una ruta para sacar la quina extraída de las selvas del alto Caquetá y alto Putumayo hacia el mercado internacional. Fue así como se logró llegar a Manaos y de allí salir directamente al océano Atlántico (Gómez y Domínguez 2010; Ramírez 2016). Sin embargo, para la época los precios de este producto habían caído drásticamente, lo que llevó a la empresa comercial Elías Reyes & Hermanos a comenzar la explotación del caucho, ya que el látex era un producto que tenía alta demanda en países como Francia, Inglaterra y Estados Unidos, además de las garantías que ofrecía el gobierno nacional a esta empresa, concediéndole “privilegios exclusivos para la explotación durante por lo menos cinco años de las selvas del alto Caquetá y Putumayo” (Sierra 2011). De allí, se fundó la estación cauchera La Concepción, pero no duró muchos años, ya que los trabajadores traídos de otras zonas del país (región Andina y del Caribe) no se adaptaron fácilmente a las condiciones ambientales, sobre todo por las altas tasas de mortalidad atribuidas a la fiebre amarilla (Gómez 2014; Sierra 2011).

Aunque la empresa de los Reyes & Hermanos no tuvo éxito con el caucho, logró establecer puertos y trochas que facilitaban la circulación de las mercancías y con esto el comienzo de la colonización en el bajo Putumayo. Después de esto, los caucheros colombianos siguieron construyendo caminos que comunicaban el río Caquetá con el río Putumayo, que más tarde fueron monopolizados por la empresa Peruvian Amazon Company o Casa Arana (Gómez y Domínguez 2010). Esta empresa da un giro completo a la extracción del caucho en Colombia a principios del siglo XX, ya que el peruano Julio César Arana, su dueño, pretendía conquistar el territorio del Putumayo para tener la hegemonía suramericana de la producción de caucho.

La Casa Arana⁴ sometió a la población indígena a la esclavitud, explotación sexual y, ligado al negocio del caucho, el

genocidio de la mayoría de la comunidad wuitoto, con apoyo de los misioneros capuchinos (Palacios y Safford 2002). De esta forma, empresarios peruanos, principalmente de la provincia de Loreto, lograron colonizar y dominar el comercio fronterizo desplazando a los colombianos de este territorio. Estos actos fueron investigados y demandados por los británicos, ya que la empresa se encontraba inscrita en Londres. Esto no generó muchas repercusiones para los empresarios, pero sí alertó a los políticos en Bogotá, quienes comenzaron a tomar medidas para formalizar las zonas limítrofes con Ecuador, Brasil y Perú, con este último país en medio de un conflicto patrocinado por Julio Arana (Palacios y Safford 2002). Aunque los precios del caucho decayeron en 1915 debido a la alta productividad de plantaciones en Malasia y Ceilán, en 1924 inversionistas estadounidenses identificaron el potencial cauchero del Putumayo e incentivaron a Julio Arana a invadir este territorio con la masiva llegada de caucheros peruanos. Ello desencadenó el conflicto colombo-peruano, el cual acaba militarmente entre 1932 a 1933 y diplomáticamente en 1935 (Palacios y Safford 2002).

Con este conflicto se consolida el asentamiento de Puerto Leguizamo (para la época, Caucayá) bajo el control militar del Estado colombiano, y se induce otro proceso de colonización, no solo influenciado por la construcción de la base militar, sino también por la adecuación que se llevó a cabo desde 1930 de la vía que conecta La Tagua con Puerto Leguizamo, entre los ríos Caquetá y Putumayo, por la cual los militares colombianos pudieron transportar armas. En ese momento histórico, la colonización la establecían los militares y algunos antiguos colonos que se encontraban dispersos en este territorio, apoyados institucionalmente por el gobierno colombiano, lo cual permitió la construcción de algunas viviendas, caminos y escuelas. A su vez, los pobladores empezaron a establecer una producción básica agrícola y pecuaria para suplir la demanda de alimentos en el nuevo asentamiento (Arcila Niño 2011).

Después de la guerra del caucho, además de la explotación de pieles silvestres, a Puerto Leguizamo llegó la extracción de madera, que inicialmente se comercializaba como materia prima para la construcción del casco urbano. Según Polanco (2013), para la década de los cuarenta, la madera comienza a comercializarse con los municipios cercanos, se intensificó la explotación de pieles silvestres transportadas por aviones de Avianca y comenzó el tráfico de animales vivos; además, se generalizó la ganadería a partir de 1943, pues militares y exmilitares compraban reses a precios favorables en Ecuador.

4 Casi toda el área que controlaba la Casa Arana quedó incluida en el resguardo indígena Predio Putumayo, establecido por la Resolución n.º 030 de 1988 del Instituto Colombiano para la Reforma Agraria - Incora (Ramírez 2016).

Fue así como comenzó a transformarse la selva, desde Puerto Leguísimo hasta La Tagua, en un cinturón de potreros, añadiendo que para la década de los cincuenta comenzaron a llegar colonos de Tolima, Santander, Norte de Santander y Antioquia, huyendo de la violencia bipartidista a incorporándose en la extracción de maderas, especialmente la del cedro (*Cedrela odorata*) (Polanco 2013). Esta actividad se extendió fuertemente la década siguiente y fue paulatinamente desapareciendo hacia la década de los ochenta, cuando llegan más colonos al Cauca a cultivar coca (*Erythroxylum coca*). Como señalan Palacios y Safford (2002), esta migración se debió principalmente al fracaso de las políticas de reforma agraria en el centro del país, que alentó un frente de colonización más amplio tanto del piedemonte amazónico como del bajo amazonas, del Caquetá y del Putumayo, además de otras regiones del país olvidadas por el Estado colombiano. Durante esta década también se estableció el Parque Nacional Natural La Paya (1984) y la mayoría de los resguardos indígenas que actualmente se encuentran consolidados en el municipio de Puerto Leguísimo (1987-1988) (figura 1).

El cultivo de la coca no tuvo gran éxito en el municipio, ya que para la década de los noventa había una alta presencia militar, tanto en Puerto Leguísimo como en La Tagua, donde se encontraba una Escuela de Militar, encargada de no permitir la incorporación de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia - Ejército del Pueblo (FARC-EP) en el territorio, sin que aún adelantaran operaciones en la lucha contra los cultivos de uso ilícito. Por lo tanto, las áreas que se encontraban cultivadas con coca eran reemplazadas por pasturas para el establecimiento del ganado, lo que convirtió la ganadería en la principal fuente económica del municipio, hasta el día de hoy, especialmente, en el margen de las dos vías principales: la vía más amplia del municipio, que conduce de Puerto Leguísimo a La Tagua, y la vía del Km 19.

Deforestación en Puerto Leguísimo

Aunque la mayor deforestación en la cuenca del Amazonas se ha presentado en Brasil por conversión a pasturas y cultivos de soja y caña, el resto de países que la componen paulatinamente también han ido siguiendo este camino, específicamente en el campo de la ganadería, pues esta representa el 80% de las tasas actuales de deforestación en la cuenca, con una densidad

de una cabeza de ganado por hectárea (Global Forest Atlas sf.). Así, en la región amazónica existe actualmente una presión económica hacia la expansión de la frontera agropecuaria (Nepstad et ál. 2008), tal como ocurre en departamentos de Colombia como Caquetá, Guaviare y Putumayo, donde la ganadería es la principal causante de dicha expansión. Ello ha provocado no solo la emisión de GEI como metano y dióxido de carbono (este último por el cambio de cobertura y uso de suelo y por la quema de la madera talada), sino también la alteración en la dinámica hídrica, por la compactación de suelos, la modificación en la evapotranspiración y la alteración en las propiedades radiativas de la superficie terrestre.

Ahora, para el caso de Puerto Leguísimo, desde la década de los noventa el territorio ha estado marcado por una constante deforestación para implementar sistemas productivos de ganadería extensiva, lo que marca un hito trascendental del cambio y desconexión ecológica, por la alta deforestación para la implementación de pastos limpios. Es importante resaltar que las vías tienen una directa incidencia en la fragmentación de los bosques, ya que los proyectos de infraestructura vial incentivan el cambio de cobertura y uso del suelo, tal como se puede observar en la figura 2, donde mediante imágenes satelitales multitemporales se puede observar: 1) el eje carretable como la base de la transformación, 2) el comienzo de la fractura ecológica de ecosistemas amazónicos en el bajo Putumayo, y 3) la invasión de la frontera agropecuaria en áreas de protección, como lo es el Parque Natural La Paya durante la última década.

Para el presente estudio se delimitaron 121.537 ha (figura 3), localizadas en el margen de la vía que conecta los centros urbanos de Puerto Leguísimo y La Tagua, usando la información georreferenciada de Coberturas de la Amazonía colombiana de los años 2002 y 2016, brindada por el SIAT-AC y el Instituto SINCHI.

En el análisis multitemporal se observa que la cobertura de bosque en el área de estudio disminuyó en 10.386 ha en catorce años. Es decir que cada año hay una deforestación aproximada de 742 ha, las cuales se convierten en pastos. Además, se observa la pérdida tanto de cobertura boscosa por deforestación del bosque denso como de las especies naturales que se encontraban en combinación con pastos y/o cultivos. Los resultados se pueden vislumbrar en la tabla 2 y figura 4.

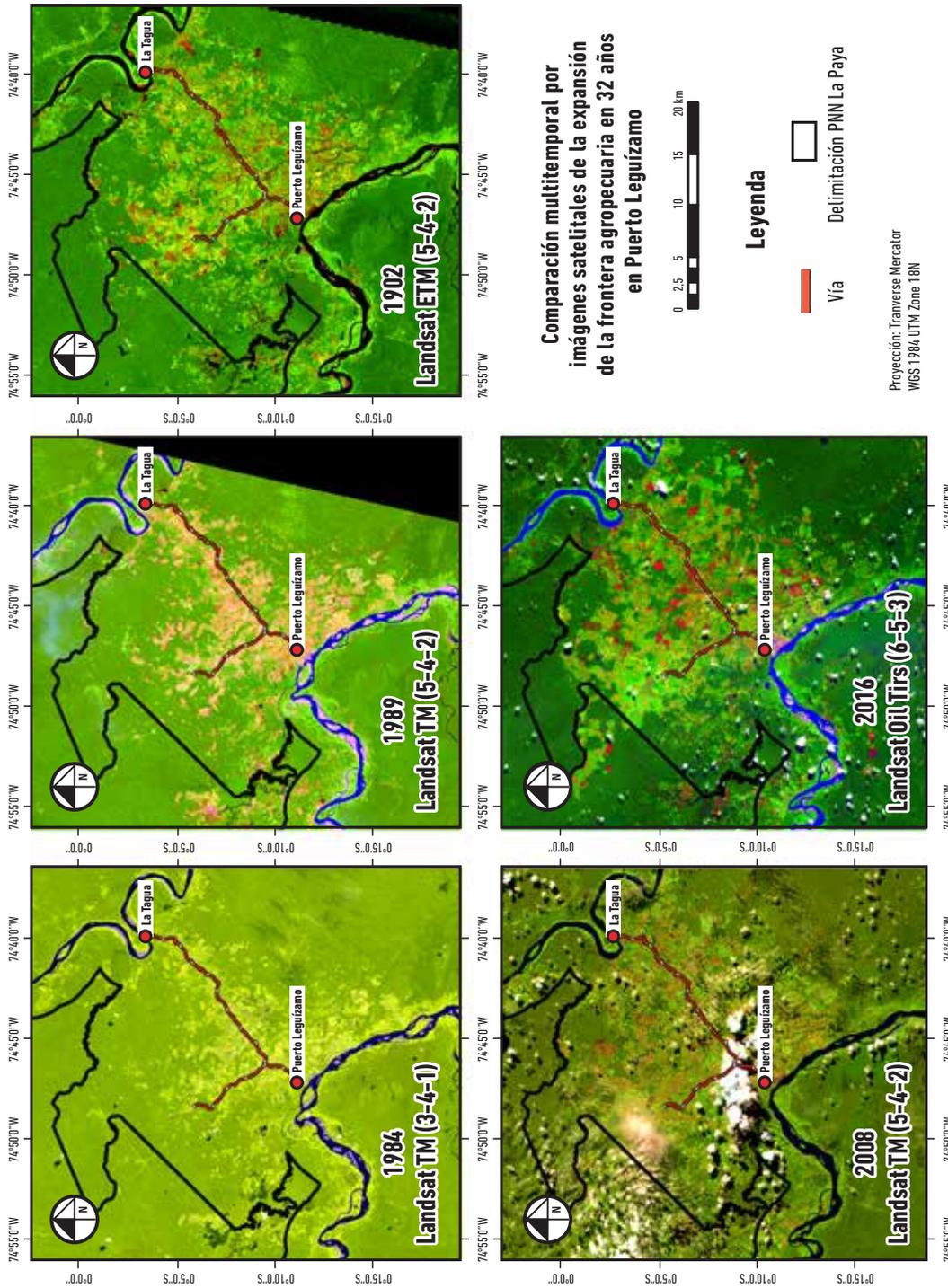


Figura 2. Cambio de cobertura y uso del suelo en el margen de la vía La Tagua-Puerto Leguízamo, en cinco ventanas temporales entre 1984 y 2016. Datos: Landsat TM, composición RGB 341 (diciembre 1984); Landsat TM, composición RGB 542 (diciembre 1989); Landsat ETM, composición RGB 542 (diciembre 2002); Landsat TM, composición RGB 542 (julio 2008); Landsat OLI TIRS, composición RGB 653 (marzo 2016). Nota: el color verde intenso representa el bosque denso, mientras que los tonos verdes claros, cafés y rojos representan las áreas de producción agropecuaria.

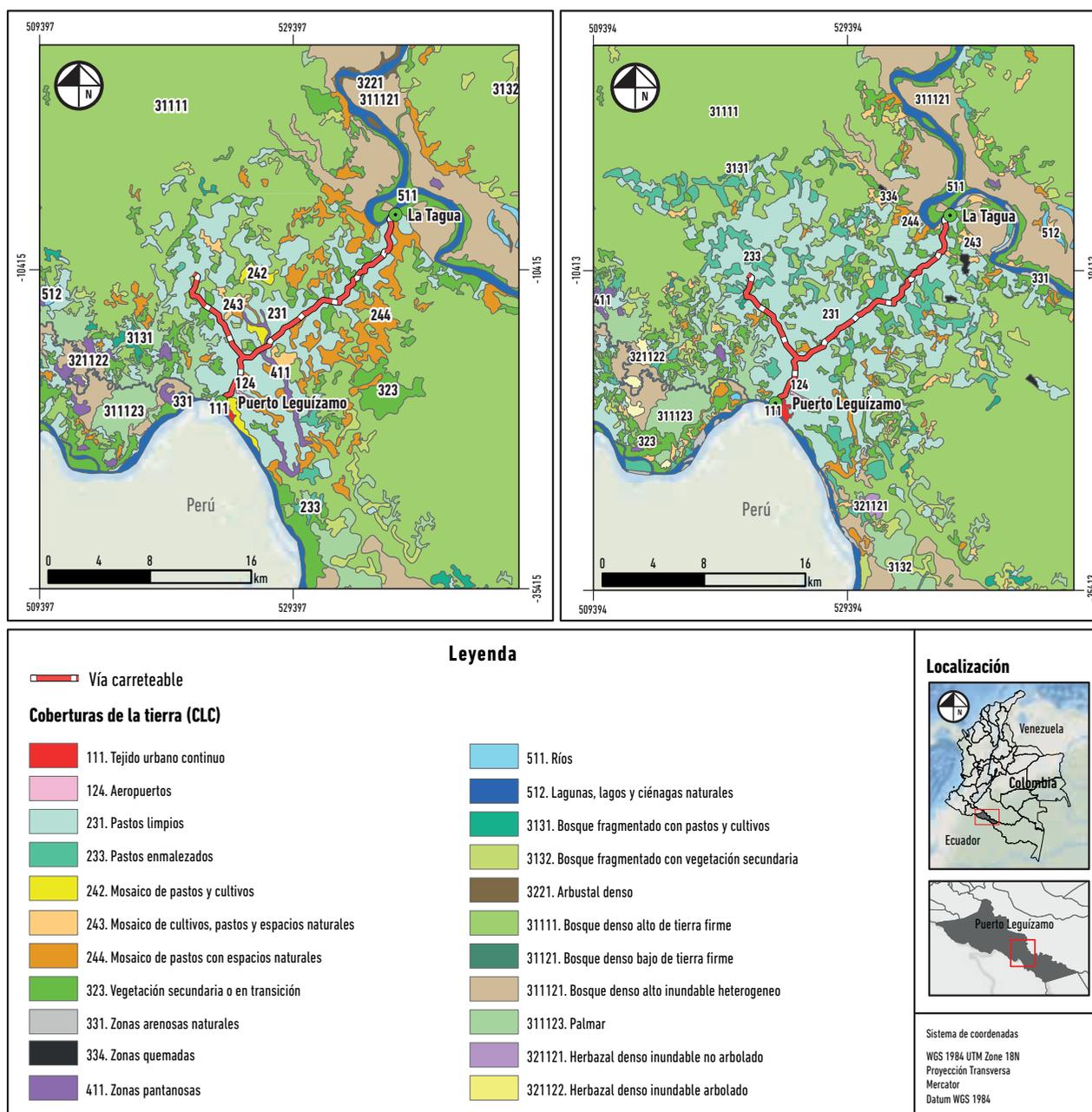


Figura 3. Cambio de cobertura y uso del suelo entre los años 2002 a 2016 en el margen de la vía que conecta los centros urbanos de Puerto Leguizamo y La Tagua.

Datos: SIAT-AC y SINCHI 2015.

En las gráficas de la figura 4 y la tabla 2 se puede observar explícitamente que la deforestación se realiza primordialmente para el establecimiento de pastos limpios y se expresa no solo en la pérdida de bosque denso, sino también en la drástica disminución de la cobertura de mosaico de pastos con espacios naturales. Por otro lado, el bosque inundable no presenta pérdida, de lo que se infiere que no es de interés su conversión a alguna actividad productiva, y lo mismo se podría inferir respecto

de la cobertura de palmar, pues su pérdida en términos porcentuales no es significativa. Con este análisis se puede concluir que las principales coberturas vegetales vulnerables a perderse son las que se encuentran en tierra firme, ya que las zonas de inundación no son de interés para el establecimiento de sistemas productivos por parte de la población. Así mismo, también se deduce que el sistema productivo principal es la ganadería, con un enfoque extensivo y no silvopastoril.

Tabla 2. Cambio de cobertura y uso del suelo en hectáreas en el periodo 2002-2016 en el área de estudio

Cobertura	Área (ha) 2002	Área (ha) 2016
Aeropuertos	30,51	30,53
Arbustal denso	422,03	0
Bosque denso alto de tierra firme	59.668,36	49.282,14
Bosque denso alto inundable heterogéneo	9.668,09	10.024,34
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	1.106,59	382,52
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1.970,23	2.796,94
Herbazal denso inundable arbolado	112,07	586,74
Herbazal denso inundable no arbolado	0,00	326,04
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	160,29	35,57
Mosaico de cultivos con espacios naturales	0	36,61
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	587,56	2.025,84
Mosaico de pastos con espacios naturales	7.268,42	2.436,52
Mosaico de pastos y cultivos	634,35	0
Palmar	7.953,14	7.759,18
Pastos enmalezados	547,54	6.059,81
Pastos limpios	15.983,76	24.889,10
Ríos (50 m)	2.596,79	2.337,93
Sin información	47,66	0
Tejido urbano continuo	95,10	144,04
Vegetación secundaria o en transición	10.833,92	11.247,50
Zonas arenosas naturales	27,71	351,44
Zonas pantanosas	1.822,89	480,88
Zonas quemadas	0	303,33
Total del área de análisis	121.537,02	121.537,02

Datos: SIAT-AC y SINCHI 2015.

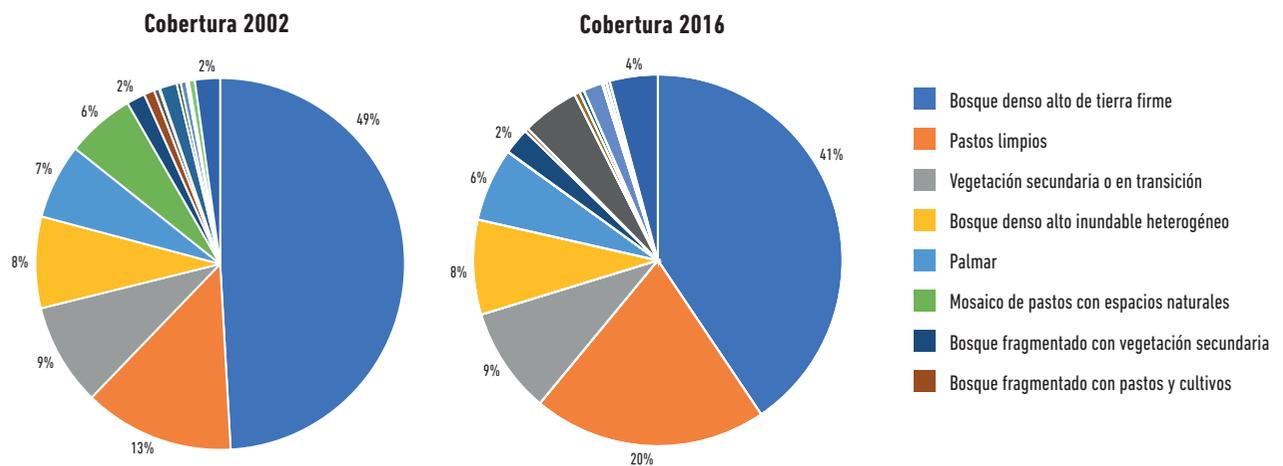


Figura 4. Porcentaje de cada cobertura y uso del suelo en los años 2002 y 2016 en el área de estudio. Datos: SIAT-AC y SINCHI 2015.

Aspectos climáticos de Puerto Leguízamo

Los factores climáticos en la cuenca amazónica son de gran importancia para el mundo, ya que es la cuenca hidrográfica más grande del mundo, al ocupar un área de 6,5 millones de km² y estar drenada por el río más grande del planeta, al cual recaen drenajes de los Andes. Se localiza en el cinturón ecuatorial de Suramérica, franja importante para el clima global, pues es donde se genera mayor evapotranspiración en el mundo y es una región que se ve influenciada por las dinámicas de la zona de convergencia intertropical —en adelante, ZCIT— de vientos alisios del hemisferio norte y del hemisferio sur; además, se estima que allí el 50% de las lluvias son producto de la evapotranspiración del bosque tropical (Poveda 2011).

Con este contexto, se exponen a continuación las características de la precipitación y temperatura de Puerto Leguízamo. El régimen anual de precipitación allí es monomodal, con época de lluvias y menor temperatura en los meses de mayo a julio, lo cual coincide con el paso de la ZCIT en la región y los altos niveles del río Putumayo (figuras 5 y 6). El promedio de precipitación anual es de 2.990 mm y el de temperatura de 25,7 °C.

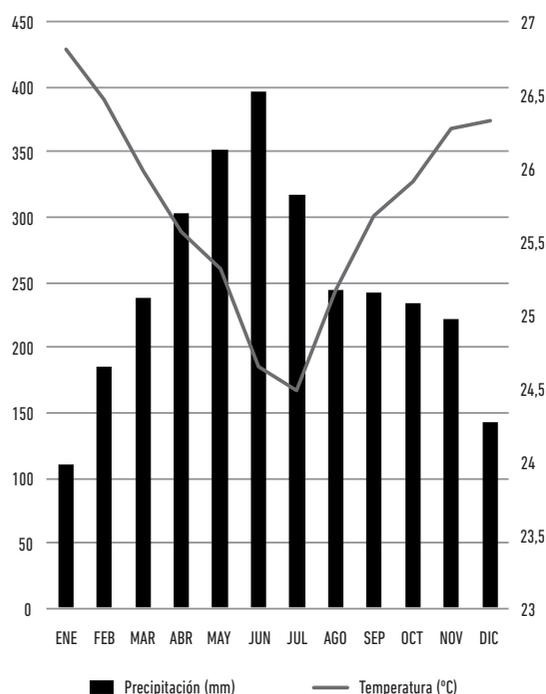


Figura 5. Climograma de Puerto Leguízamo. Datos: Estación Meteorológica de Puerto Leguízamo IDEAM.

En cuanto a la variabilidad climática⁵ en Puerto Leguízamo, esta se encuentra asociada a los efectos provocados por el ciclo de El Niño-Oscilación del Sur -ENOS, así como por el fenómeno de Niña, y se diferencia de los efectos generados en el oriente de la cuenca amazónica, donde el fenómeno del Niño causa sequía y el de la Niña provoca aumento en la intensidad de lluvias, mientras que en Puerto Leguízamo ocurre lo contrario: las precipitaciones aumentan durante la ocurrencia del fenómeno del Niño y las sequías se presentan durante el fenómeno de la Niña (figura 7 y tabla 3).

Tabla 3. Años de mayor precipitación (coincide con épocas de Niño) y años de menor precipitación (coincide con épocas de Niña)

Variabilidad climática en Puerto Leguízamo	
Años con mayor precipitación	Años con menor precipitación
1982-1983	1984-1985
1986-1987	1989-1990
1992-1993	1995
1998	1999
2002	2007-2008
2005-2006	2010-2011
2009	

Datos: Estación Meteorológica de Puerto Leguízamo IDEAM.

En cuanto al cambio paulatino del promedio anual de las variables climáticas de precipitación y temperatura, se observa que han aumentado, principalmente desde la década de los noventa, tiempo en la cual también se identifica un aumento en la deforestación y cambio de cobertura y uso del suelo. El aumento en la precipitación es de casi 3 mm por año, de acuerdo al análisis realizado entre 1976-2016; mientras que la temperatura presenta un incremento de 0,3 °C/década, de acuerdo al análisis de los años 1979-2016, un dato significativo si se compara con el incremento promedio nacional, el cual es de 0,1-0,2 °C/década para 1950-2000 (Pabón-Caicedo 2012) y mundial que corresponde a 0,09-0,13 °C/década para el periodo de análisis 1971-2010 (IPCC 2014)(figuras 8 y 9).

5 Variabilidad climática no es igual a cambio climático, pues el primero hace referencia a las fluctuaciones respecto de la media de la variable climática, mientras que la segunda refiere al cambio en la media de la variable climática (Pabón-Caicedo et ál. 2001).



Figura 6. Calle de Puerto Leguízamo inundada por el río Putumayo. Fotografía de César Bonilla, junio 2017.

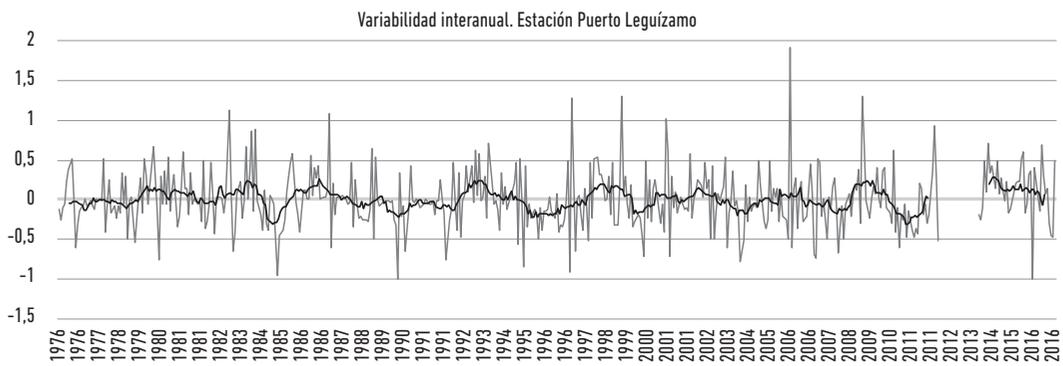


Figura 7. Índice de precipitación que evidencia la variabilidad climática en Puerto Leguízamo. Datos: Estación Meteorológica de Puerto Leguízamo IDEAM.

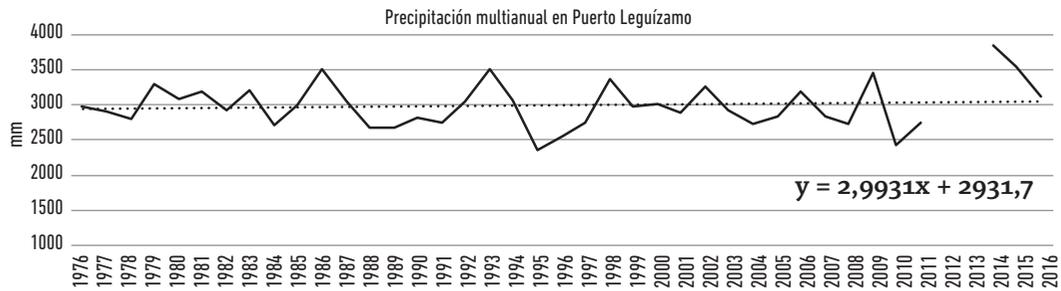


Figura 8. Cambio en el promedio anual de la precipitación en Puerto Leguízamo. Datos: Estación Meteorológica de Puerto Leguízamo IDEAM.

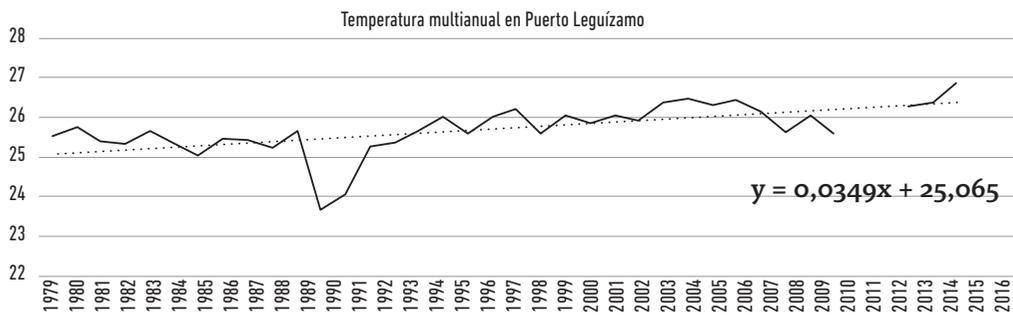


Figura 9. Cambio en la tendencia normal de la temperatura en Puerto Leguízamo. Datos: Estación Meteorológica de Puerto Leguízamo IDEAM.

Emisiones de CO₂ en Puerto Leguízamo en el periodo 2002-2016

Actualmente es imprescindible determinar en dónde se generan las mayores emisiones de GEI y sus causas, con el fin de actuar directamente sobre esas causas y evitar que las emisiones aumenten de forma drástica. Es así como el IPCC en su reunión 43, celebrada en abril de 2016, acordó que para el 2022 elaborará un informe metodológico sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC 2013), siendo el CO₂ el gas con la mayor contribución antrópica (Barquín 2004). En este sentido, es de gran importancia estimar el aporte de CO₂ proveniente de la deforestación en Puerto Leguízamo, teniendo en cuenta que la deforestación en los trópicos se ha convertido en la segunda fuente que más emite CO₂ aportando entre el 7% - 14% de las emisiones totales en el mundo, seguido de la quema de combustibles fósiles (Don, Schumacher y Freibauer 2011; Harris et ál. 2012).

Para determinar la cantidad CO₂ emitido en el área de estudio a causa de la deforestación para el periodo de análisis, se toman de referencia los siguientes datos de Yepes et ál. (2011):

- Biomasa aérea en el bosque húmedo tropical: 264,1 tn/ha.
- Carbono almacenado por el bosque húmedo tropical: 32,1 tn/ha.
- Biomasa aérea en pastos: 12,7 tn/ha.
- Carbono almacenado en pastos: 6,4 tn/ha.

De acuerdo con estos datos y aplicando la ecuación 1, se obtiene:

$$6,4 \text{ tn carbono/ha} - 132,1 \text{ tn carbono/ha} = -125,7 \text{ tn carbono/ha (liberados)}$$

Aplicando la ecuación 2 y teniendo en cuenta que la pérdida de bosque húmedo tropical en el área de estudio es de 10.386,22 ha, se obtiene:

$$-125,7 \text{ tn carbono/ha} * 10.386,22 \text{ ha} = -1.305.547,85 \text{ tn de carbono (liberado)}$$

Ahora, para determinar la cantidad de CO₂ liberado, se aplica el factor de conversión de carbono a dióxido de carbono (aplicando la ecuación 3):

$$-1.305.547,85 \text{ tn C} * 3,67 = -4.791.360,61 \text{ CO}_2 \text{ (liberado)}$$

Es decir que cerca de 342.240,04 tn de CO₂ se están emitiendo por año en el área de estudio a causa de la conversión de bosques naturales a pasturas para la ganadería, en

primera instancia porque este cambio de cobertura y uso del suelo provoca alteraciones en el intercambio de gases del sistema atmósfera y del sistema biosfera y, en segunda instancia, porque gran parte de la madera extraída del bosque y los subproductos no pueden ser comercializados, por el alto costo del transporte, haciendo que la población no encuentre una alternativa diferente a su quema (figura 10).



Figura 10. Quemadas de bosque sobre la vía Puerto Leguízamo-La Tagua. Fotografía de César Bonilla, agosto 2017.

Conclusiones

Con la construcción de la vía La Tagua-Puerto Leguízamo en el marco de la guerra binacional entre Perú y Colombia comenzó el proceso de colonización, incentivado por la extracción de las materias primas de la selva amazónica como la quina, el caucho y las pieles de animales silvestres. Aunque durante este primer proceso de colonización hubo transformación en la cobertura y uso del suelo, esta no fue tan significativa, como sí lo fue con el frente de colonización que se da desde la década de los ochenta con la llegada de campesinos de los Andes, quienes en un primer momento arriban para trabajar con el cultivo de la coca, que, posteriormente, cuando este fracasa, establecieron los sistemas productivos que practicaban en sus lugares de origen, como la tala y quema de bosque para la introducción cultivos y pastos. Además, la vía carretable se convirtió en el principal eje de comunicación y con ello en la médula de la deforestación, lo que provocó la desconexión ecológica entre los ecosistemas terrestres del medio Putumayo y los del bajo Putumayo.

La presión económica en Puerto Leguízamo, principalmente desde la última década del siglo XX, provoca actualmente la expansión de la frontera agropecuaria y consecuentemente la modificación de las coberturas y uso del suelo. Estas modificaciones, generalizadas en

la conversión de bosques naturales a pastos limpios, han aportado al fenómeno del calentamiento global, no solo por la emisión promedio anual de 342.000 tn de CO₂ gracias a la tasa anual aproximada de deforestación de 742 ha, sino también por provocar efectos de compactación en el suelo y cambios en la evapotranspiración, que inducen una alteración en los flujos de calor y humedad entre la superficie terrestre y la atmósfera. Así mismo, en el municipio se presenta un aumento paulatino de la temperatura promedio anual, mayor al aumento presentado tanto nacionalmente como mundialmente, lo que puede provocar que en un futuro los efectos de variabilidad climática por el fenómeno de la Niña sean más intensos. Finalmente, este estudio de caso permite evidenciar una problemática que actualmente presenta la Amazonia colombiana por la expansión incontrolada de la frontera agropecuaria. En este sentido, esta problemática contribuye al fenómeno del calentamiento global por la emisión constante de gases de efecto invernadero como el CO₂ y se ve afectado localmente por un aumento de temperatura significativo que puede llegar a afectar desde la dimensión ecológica hasta la dimensión social y cultural de este municipio.

Referencias

- Arcila Niño, Óscar Hernando. 2011. *La Amazonia colombiana urbanizada: un análisis de sus asentamientos humanos*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -SINCHI.
- Álvarez D., Esteban, Juan Guillermo Saldarriaga C., Álvaro Javier Duque M., Kenneth Roy Cabrera T., Adriana Patricia Yepes Q., Diego Alejandro Navarrete E., y Juan Fernando Phillips B. 2011. *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Fundación Natura. Consultado en enero de 2016. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Modelos+alometricos+Carbono.pdf/cc9e929f-50c2-4f6c-90d9-0a9affc20e3c>
- Barquín, Julián. 2004. *Energía: técnica, economía y sociedad*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Cox, P. M., R. A. Betts, M. Collins, P. P. Harris, C. Huntingford, y C. D. Jones. 2004. "Amazonian Forest Dieback under Climate-Carbon Cycle Projections for the 21st Century." *Theoretical and Applied Climatology* 78 (1-3): 137-56. doi: 10.1007/s00704-004-0049-4.
- Don, Axel, Jens Schumacher, y Annette Freibauer. 2011. "Impact of Tropical Land-Use Change on Soil Organic Carbon Stocks - A Meta-Analysis." *Global Change Biology* 17 (4):1658-1670. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x.
- Global Forest Atlas. sf. "Cattle Ranching in the Amazon Region." Consultado en junio de 2017. <http://globalforestatlas.yale.edu/amazon/land-use/cattle-ranching>
- Gómez, Augusto. 2014. "La explotación cauchera, el tráfico y la esclavitud de los indios en el contexto amazónico." En *Putumayo: la vorágine de las caucherías: memoria y testimonio*, editado por Tatiana Peláez, 21-48. Bogotá: Centro Nacional de Memoria Histórica.
- Gómez, Augusto, y Camilo Domínguez. 2010. "Quinerías y Caucherías de la Amazonia: caminos y varadores de la Amazonia." En *Caminos reales de Colombia*, editado por Pilar Moreno, Jorge Melo y Mariano Useche, 261-276. Bogotá: Fondo Fen Colombia.
- Harris, Nancy L., Sandra Brown, Stephen C. Hagen, Sassan S. Saatchi, Silvia Petrova, William Salas, Matthew C. Hansen, Peter V. Potapov, y Alexander Lotsch. 2012. "Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions." *Science* 336 (6088): 1573-1576. doi: 10.1126/science.1217962.
- Houghton, Richard. 2005. "Tropical Deforestation as a Source of Greenhouse Gas Emissions." En *Tropical Deforestation and Climate Change*, editado por Paulo Moutinho y Stephan Schwartzman, 13-21. Washington D.C.: Amazon Institute for Environmental Research.
- IDEAM. sf. "Mapa de bosque no bosque Colombia: 1990, 2000, 2005, 2010 y 2012 - formato shape." Consultado en mayo de 2017. <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2015. "Mapa Municipal de Resguardos Indígenas: escala 1:500000." Consultado en enero de 2017. http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_metadato.aspx?id=180473
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. "Cambio climático 2014: Informe de síntesis; resumen para responsables de políticas." Consultado en junio de 2018. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. "Actividades." Consultado en octubre de 2017. http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Nepstad, Daniel, Claudia Stickler, Britalo Filho, y Frank Merry. 2008. "Interactions among Amazon Land Use, Forests and Climate: Prospects for a Near-Term Forest Tipping Point." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363 (1498): 1737-1746. doi: 10.1098/rstb.2007.0036.
- OTCA (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica). 2014. *El cambio climático en la región Amazónica*. Brasilia: OTCA. Consultado en junio de 2017. http://otca.info/portal/admin/_upload/publicacoes/531-libro.cambio.climatico_esp.pdf
- Pabón-Caicedo, José Daniel. 2012. "Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y

- escenarios posibles para el siglo XXI.” *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 36:261-278.
- Pabón-Caicedo, José Daniel. 2003. “El cambio climático global y su manifestación en Colombia.” *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 12:111-119.
- Pabón-Caicedo, José Daniel, Jorge Zea, Gloria León, Gonzalo Hurtado, Olga González, y José Montealegre. 2001. “La atmósfera, el tiempo y el clima”. En *El medio ambiente en Colombia*, editado por Pablo Leyva, 34-91. Bogotá: IDEAM.
- Palacios, Marco, y Frank Safford. 2002. *Colombia: País fragmentado, sociedad dividida*. Bogotá: Norma.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2017. “Datos abiertos.” Consultado en marzo de 2017. <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/servicio-al-ciudadano/datos-abiertos/>
- Pineda, Roberto. 1987. “Witoto.” En *Introducción a la Colombia amerindia*, editado por Instituto Colombiano de Antropología, 166-183. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología.
- Polanco, Rocío. 2013. *Leguízamo: hacia una construcción histórica del territorio*. Bogotá: Tropenbos Internacional Colombia.
- Poveda, Germán. 2011. “Los bosques amazónicos y el cambio climático.” En *Amazonía colombiana: imaginarios y realidades*, editado por Juan Echeverri y Catalina Pérez, 141-156. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez, Roberto. 2016. *Putumayo: análisis de las conflictividades y construcción de paz*. Florencia: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Consultado en mayo de 2017. <http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/Paz/undp-co-putomayoconflictividades-2016.pdf>
- SIAT-AC (Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonía Colombiana), y SINCHI (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas). 2015. “Información Georreferenciada.” Consultado en junio de 2017. <http://siatac.co/web/guest/geoportal-descargas>.
- Sierra, Gina Paola. 2011. “La fiebre del caucho en Colombia.” *Credencial Historia* 262. Consultado en junio de 2017. <http://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-262/la-fiebre-del-caucho-en-colombia>
- SINCHI, y WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza). 2015. *Identificación de los motores, agentes y causas subyacentes de la deforestación en el departamento del Putumayo: Valle del Sibundoy, municipios de Villagarzón y Puerto Leguízamo*. Bogotá: SINCHI, Amazonia Colombiana GIAZT.
- Yepes Q., Adriana Patricia, Diego Alejandro Navarrete E., Álvaro Javier Duque M., Juan Fernando Phillips Bernal, Kenneth Roy Cabrera T., Esteban Álvarez D., María Claudia García D., y María Fernanda Ordóñez C. 2011. *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*. Bogotá: IDEAM. Consultado en enero de 2017. http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimación+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-obcc1af8f108

Laura Nataly Tiria Forero

Geógrafa de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá), miembro del grupo de investigación “Tiempo, clima y sociedad” de la misma universidad. Sus intereses de investigación están relacionados con cambio y la variabilidad climática, riesgos de origen natural, contemplando análisis tanto de amenaza como de vulnerabilidad, con un enfoque territorial; y el área ambiental y territorial.

Julián Santiago Bonilla Castillo

Médico veterinario zootecnista de la Universidad Cooperativa de Colombia (Ibagué). Sus intereses de investigación están relacionados con temas acuícolas, apícolas y con la aplicación de sistemas productivos ambientalmente sostenibles.

César Augusto Bonilla Castillo

Biólogo de la Universidad del Tolima (Colombia). Sus intereses de investigación están orientados a la dinámica poblacional de peces tropicales continentales, modelación ecológica multiespecífica, estadística pesquera y piscicultura amazónica.