

**ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y EL CAMBIO DE COBERTURAS EN EL ÁREA
FRONTERIZA DE LETICIA (COLOMBIA) Y TABATINGA (BRASIL) EN EL PERIODO
2015 - 2020**



AUTOR
CAMILO ANDRÉS GUERRERO RÍOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTÁ, NOVIEMBRE 2020**

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y EL CAMBIO DE COBERTURAS EN EL ÁREA FRONTERIZA DE LETICIA (COLOMBIA) Y TABATINGA (BRASIL) EN EL PERIODO 2015-2020

Camilo Andrés Guerrero Ríos
U3101503@unimilitar.edu.co
Universidad Militar Nueva Granada

Resumen

La conurbación Leticia -Tabatinga ubicada sobre la ribera del río Amazonas en la frontera entre Colombia y Brasil se ha consolidado como un centro económico para la región y un caso particular en cuanto a las dinámicas social, económica y espacial, dadas sus condiciones de frontera. En este artículo se presenta el análisis realizado para cuantificar el cambio de cobertura y la expansión urbana en el área limítrofe a partir de imágenes Landsat 8 para los años de 2015 y 2020. A partir del cálculo de índices (NDVI) y la transformación Tasseled Cap se realizó una clasificación no supervisada para cuantificar las coberturas asociadas, encontrando que la región presentó una disminución de bosques del 11% asociada a procesos de deforestación. Por otro lado, la expansión urbana tuvo un aumento del 20%, siendo mayor el crecimiento para el caso de Tabatinga pasando de 704,93 ha en el 2015 a 899,20 ha en el 2020; representando un crecimiento del 28%. Lo anterior debido a la dinámica del sector y la falta de monitoreo sobre áreas forestales y asentamientos informales que derivan en el crecimiento no controlado del área urbana.

Abstract

The Leticia-Tabatinga conurbation located at the Amazon River bank on the colombian and brazilian border has consolidated as an economic center for the region and a particular case in terms of social, economic and spatial dynamics, given its border conditions. This article presents the analysis carried out to quantify the change in coverage and urban expansion in the border area based on Landsat 8

images for the years 2015 to 2020. Based on the calculation of indices (NDVI) and the Tasseled Cap transformation, an unsupervised classification was performed to quantify the associated coverage, finding that the region showed an 11% decrease in forest coverage associated with deforestation processes, on the other hand urban expansion showed an 20% increase, Tabatinga's growth was higher, going from 704.93 hectares in 2015 to 899.20 hectares in 2020, representing an 28% increase. This is due to the sector dynamics and lack of monitoring of forest areas and informal settlements that lead to the uncontrolled increase of urban areas.

Índice de Términos: Leticia, Tabatinga, conurbación, expansión urbana

I. INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del río Amazonas cubre una extensión aproximada de 7,5 millones de kilómetros cuadrados recorriendo ocho países (Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela) y cuenta con una cobertura predominante de selva húmeda tropical, siendo la mayor y más importante superficie forestal del planeta [1]. Sin embargo, las dinámicas socioeconómicas de la región, fenómenos como los cultivos ilícitos, la minería y la extracción de hidrocarburos han intensificado la degradación y pérdida de área llegando a causar la pérdida de al menos el 20% del total de sus bosques. Solamente para el caso colombiano, se estima que la tasa anual de deforestación es de al menos 100.000 hectáreas [2].

Uno de los factores claves en el proceso de deforestación que ha sufrido la región es la proliferación de los asentamientos urbanos. Lo anterior, en parte como respuesta a la intención de ocupar la Amazonía mediante la implementación de proyectos industriales o de extracción y de la búsqueda de articulación de la región mediante el asentamiento sobre los límites internacionales promovidos desde los mismos gobiernos [3]. Dicho fenómeno de ocupación de tierras dentro de la cuenca hidrográfica del Amazonas dio origen a centros poblados con dinámicas particulares como es el caso de la conurbación Leticia-Tabatinga en el área fronteriza entre Colombia y Brasil, donde a partir de dos ciudades con desarrollos diferentes se conforma un gran espacio urbano codependiente tanto en lo económico como en lo social y lo cultural [4]. A lo anterior se suma la variable geográfica que, en el caso de Tabatinga, estando muy alejada de los centros de comercio brasileños, ha propiciado esta relación de dependencia entre los dos espacios urbanos.

Esta condición ha sido abordada desde muchas perspectivas: Desde la perspectiva geográfica y demográfica; en 2017 Aponte [3] realizó una línea de tiempo donde analizó el contexto social, político y económico de ambas ciudades desde sus inicios hasta la actualidad, mostrando cómo este relacionamiento ha trascendido las fronteras físicas y geopolíticas para formar un fenómeno de ocupación del espacio formal e informal aprovechando la condición de frontera y la falta de seguimiento gubernamental. Desde el urbanismo, en el 2008 Vergel-Tovar [5] realizó un análisis del componente físico y político de los asentamientos precarios en ambas ciudades buscando proponer a partir del marco legal una estrategia de manejo que permita dar solución al desarrollo subnormal. Finalmente, en el 2005 Riaño *et al* [6] abordó desde una perspectiva geográfica ambiental, implementando y evaluando la metodología propuesta por el INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales brasileño) para estimar la deforestación presente en el área de Leticia y Tabatinga para el periodo 1986-2000.

Este tipo de análisis sirven como insumo para el modelamiento de la realidad física del territorio y la

búsqueda de soluciones o estrategias de manejo para las problemáticas generadas a partir del desarrollo irregular en cada espacio geográfico individual y en conjunto. Teniendo en cuenta lo anterior, este artículo pretende aportar una mirada desde el campo de la geomática mediante la especialización y cuantificación del fenómeno de conurbación en las ciudades de Leticia y Tabatinga para el periodo 2015-2020 mediante la producción de mapas temáticos y la identificación de las áreas de expansión urbana.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la expansión urbana y el cambio de coberturas para el área fronteriza de Leticia y Tabatinga en el periodo comprendido entre 2015 y 2020.

Objetivos específicos

- Clasificar y delimitar las coberturas existentes para generar mapas temáticos de los años 2015 y 2020 en el área de estudio.
- Cuantificar y analizar los cambios de cobertura presentados entre 2015 y 2020 en el área fronteriza de Leticia y Tabatinga.
- Comparar la expansión urbana en cada municipio del espacio fronterizo.

III. ÁREA DE ESTUDIO

La conurbación Leticia-Tabatinga se ubica sobre la cuenca del río Amazonas en la confluencia de las fronteras entre Colombia (municipio de Leticia), Brasil (municipio de Tabatinga) y Perú (provincia de Ramón Castilla) río de por medio. La zona se caracteriza por una cobertura mayormente conformada por bosques tropicales.

El área de estudio establecida para el análisis (*Figura 1*) está conformada por parte de los municipios de Tabatinga y Leticia limitando con el río Amazonas;

excluyendo la provincia Ramón Castilla (Perú). La zona definida cuenta con un área de 575,3 Km².



Figura 1. Área de estudio – Casco urbano municipios de Leticia (Colombia), Tabatinga (Brasil) y áreas circundantes. Fuente: Elaboración Propia

IV. METODOLOGÍA

En la *Figura 2* se muestra el flujo de trabajo donde se resumen todos los procesos asociados a la generación del análisis de cambio de coberturas, empezando por la selección y obtención de las imágenes Landsat 8 que fueron procesadas en diferentes software (ArcGIS, ERDAS IMAGINE 2020 y PCI) para la generación de la cartografía temática. Se realizó la clasificación de coberturas a través de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia [7]. Posteriormente se cuantificaron las diferencias y cambios de cobertura haciendo uso de la matriz de índices empleada por el IDEAM, en el documento de Análisis de Dinámicas de cambio de las coberturas de la tierra en Colombia [8] adaptada para el estudio de caso.

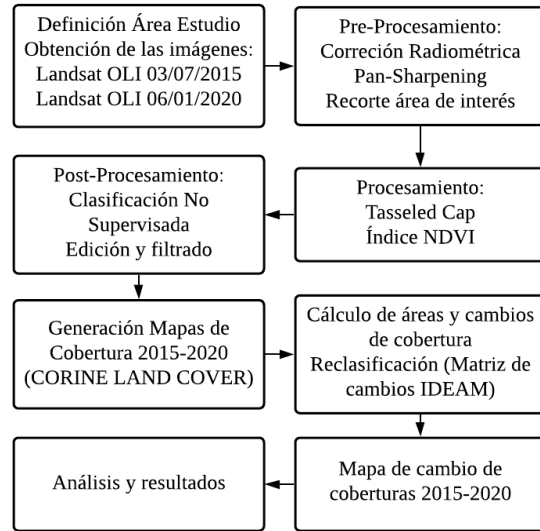


Figura 2: Diagrama Metodología empleada. Fuente: Elaboración propia

Imágenes Satelitales

Se utilizaron imágenes Landsat 8 con un nivel de procesamiento L1TP (Level 1 – Precision and Terrain Correction) que incluye calibraciones radiométrica y geodésica mediante la implementación de puntos de control (GCP) y un modelo digital de elevación (DEM SRTM). El criterio para la selección de las escenas se basó en el nivel de nubosidad presente en la totalidad de la imagen y específicamente en la zona de estudio. En la *Tabla 1* se encuentran relacionadas las principales características de las imágenes utilizadas.

Tabla 1. Datos de imágenes satelitales

Características	Sensor*	
	OLI Landsat 8	
Fecha Adquisición	03/07/2015	06/01/2020
Path	004	
Row	063	
Resolución Espacial	30 m (Bandas 1-7) 15m (Banda 8, Pancromático)	
Resolución Radiométrica	16 bits	
Resolución Espectral	B1(Costera): 0.43 - 0.45 μm B2(Azul): 0.45 - 0.51 μm B3(Verde): 0.53 - 0.59 μm B4(Rojo): 0.64 - 0.67 μm B5(NIR): 0.85 - 0.88 μm B6(SWIR 1): 1.57 - 1.65 μm B7(SWIR 2): 2.11 - 2.29 μm B8(Pancromática): 0.50 - 0.68 μm B9(Cirrus): 1.36 - 1.38 μm	
Nivel de procesamiento	Terrain Precision Correction (L1TP)	

* Fuente: Elaboración propia a partir de información tomada de la página informativa de la USGS [9]

Pre-Procesamiento

Corrección Radiométrica

Se realizó la calibración a nivel radiométrico para las imágenes en función de los valores digitales de cada banda. Con esto se busca pasar de los valores de entrada (digitales) a valores de reflectancia. Lo anterior a partir de los coeficientes ajustados de re-escalado radiométrico definidos para cada banda por la USGS [10].

Pan-Sharpning

Los algoritmos de fusión permiten mejorar la calidad de las imágenes de baja resolución en todas sus bandas a través de la inclusión de una imagen de alta resolución que se ajusta para aumentar la resolución espacial de los canales espectrales de la imagen inicial. Esto se logra a través de la integración de una imagen de alta resolución que se escala y se ajusta en función de los niveles digitales con una imagen multibanda de baja resolución. Los métodos más comunes para este procesamiento son el Análisis de Componentes Principales (PCA), Transformación de Brovey y el método Intensidad, Tono y Saturación (IHS)[11].

Para el caso de las imágenes Landsat 8, las bandas multispectrales vienen originalmente con una resolución espacial de 30 m por píxel salvo por la banda pancromática que cuenta con una resolución espacial de 15 m. A partir de este proceso se obtiene una imagen multispectral con resolución espacial de 15 metros por píxel.

Procesamiento

Transformación Tasseled Cap

La transformación Tasseled Cap permite identificar los cambios en la vegetación y en las coberturas asociadas al tejido urbano. El algoritmo fue desarrollado en 1976 por R. J. Kauth y G. S. Thomas del Instituto de Investigación Medioambiental de Michigan (ERIM). En la descripción del algoritmo del documento [12], se relacionan los cambios en la respuesta de reflectancia en las bandas del rojo e infrarrojo cercano en función del ciclo de vida de la vegetación observada. Esta transformación nos

permite obtener 3 componentes: brillo de la imagen, verdor y humedad.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI

Este es uno de los índices asociados a vegetación más utilizados en el análisis espectral de imágenes y se basa en una relación entre los valores de reflectancia de las bandas asociadas al infrarrojo cercano (NIR) y el rojo [13]. Esta relación se traduce en una sencilla fórmula (*Ecuación 1*) que permite generar una nueva banda que resalta la presencia de vegetación y discrimina las áreas de bosques y cultivos permitiendo una identificación clara de las coberturas asociadas.

$$NDVI = \frac{NIR - Rojo}{NIR + Rojo} \quad (1)$$

Post-Procesamiento

Clasificación No Supervisada

Este método agrupa los datos en base a las similitudes de los valores espectrales de cada píxel y cada banda incluida de manera automática, estableciendo las clases o grupos en función de la correlación de dichos valores de píxel para cada cobertura. Es comúnmente utilizado en los casos donde no se tiene un conocimiento previo de los tipos de cobertura existentes o datos directamente tomados en la zona de estudio [14]. La efectividad de este método depende principalmente de la homogeneidad de los valores para cada cobertura y al mismo tiempo la diferenciación específica entre coberturas [15]. Esta diferenciación entre coberturas se buscó a través de la implementación de algoritmos como la transformación Tasseled Cap o el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del ejercicio se obtuvieron los mapas de cobertura y cambios para la conurbación Leticia-Tabatinga para el periodo 2015-2020. En la *Figura 3* se muestra el mapa de temático correspondiente al año 2015, y en la *Figura 4* el mapa temático generado para el año 2020.

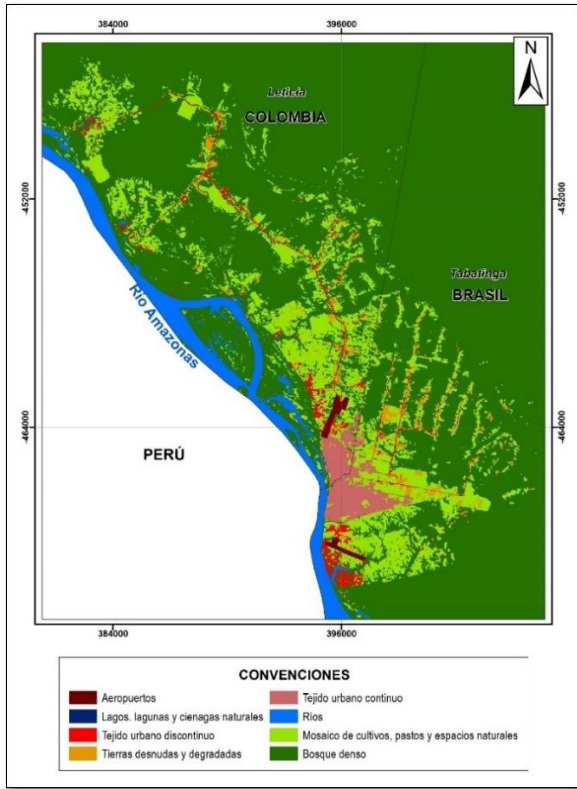


Figura 3: Mapa de coberturas área de estudio año 2015. Fuente: Elaboración propia

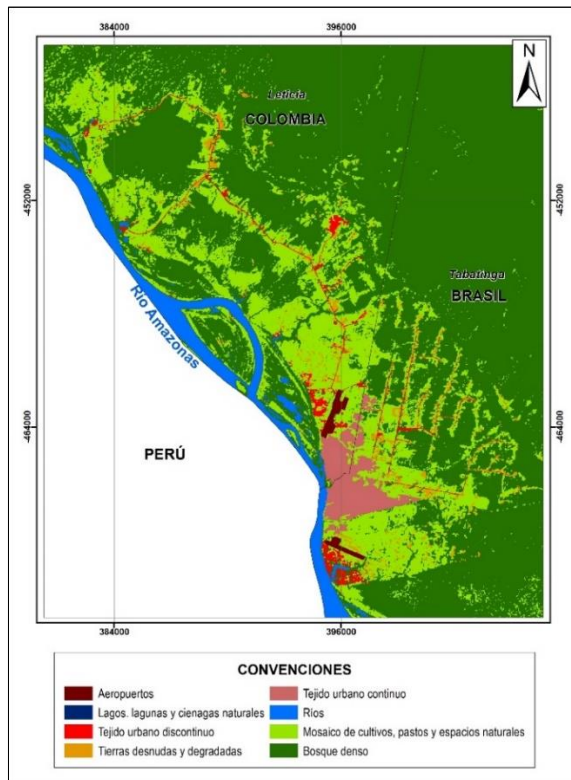


Figura 4: Mapa de coberturas área de estudio año 2020. Fuente: Elaboración propia

A partir de los mapas generados se puede identificar que la cobertura de bosque denso sufre un cambio entre 2015 y 2020, transformándose en mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales. Lo anterior se puede confirmar con el cálculo de áreas mostrado en la *Tabla 2* y la comparación mostrada en la *Figura 5*:

Tabla 2. Cuadro de comparación de áreas de cobertura 2015 – 2020

Cobertura (Corine Land Cover)	Mapa Tematico 2015	Mapa Tematico 2020	Dif. Área
Aeropuertos	161,03 Ha	190,98 Ha	-29,95 Ha
Tejido urbano discontinuo	740,18 Ha	703,35 Ha	36,83 Ha
Tierras desnudas y degradadas	782,15 Ha	945,45 Ha	-163,30 Ha
Tejido urbano continuo	1.048,34 Ha	1.258,88 Ha	-210,53 Ha
Ríos	2.487,21 Ha	2.382,10 Ha	105,10 Ha
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	7.506,73 Ha	12.264,45 Ha	-4.757,72 Ha
Bosque denso	44.806,16 Ha	39.786,59 Ha	5.019,56 Ha

Fuente: Elaboración propia

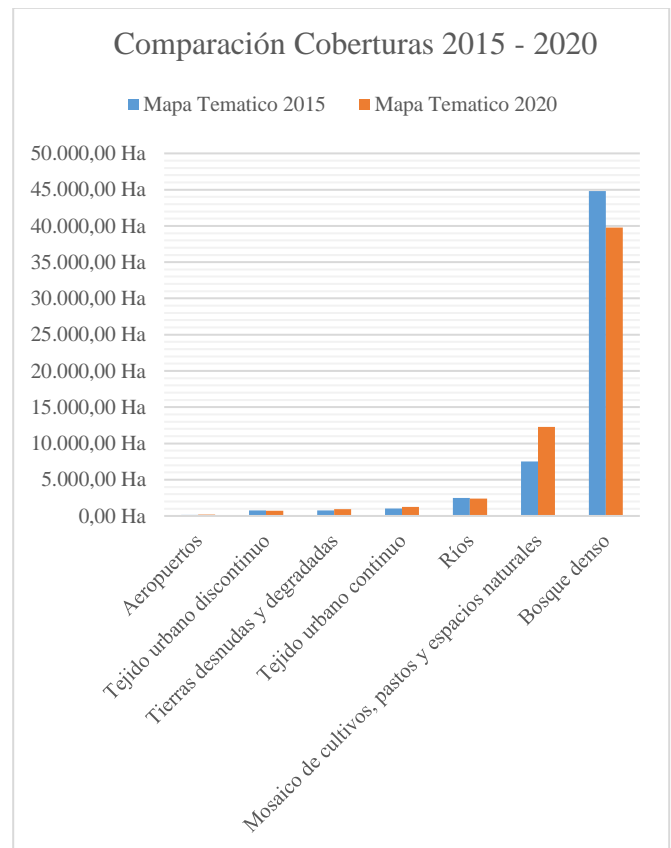


Figura 5: Comparación de coberturas identificadas periodo 2015 – 2020. Fuente: Elaboración propia

Dentro de los ítems destacables está la pérdida de 5019,5 hectáreas de bosque denso que se pudieron identificar en la interpretación inicial de los mapas temáticos (*Figuras 3 y 4*); este cambio se ve en parte reflejado en el aumento de 4757,7 hectáreas de Mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales; de 210,5 hectáreas de Tejido urbano continuo y 163,3 hectáreas de Tierras desnudas y degradadas entre 2015 y 2020.

Estas diferencias de área se muestran en el mapa de cambios de la *Figura 6*, donde se pudieron identificar principalmente áreas de consolidación del tejido urbano, expansión urbana y deforestación. Las áreas asociadas a la clasificación de cambios de cobertura se muestran en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Cuadro de índices de cambio de cobertura 2015 – 2020

Índice de Cambio de Cobertura	Área (Ha)
Consolidación Tejido Urbano	49,5
Dinámica de cuerpos de agua	59,2
Degradación de tierras	403,4
Ganancia de Pastos	482,6
Expansión Urbana	527,4
Deforestación	5620,8
Sin Cambios	49071,6

Fuente: Elaboración propia

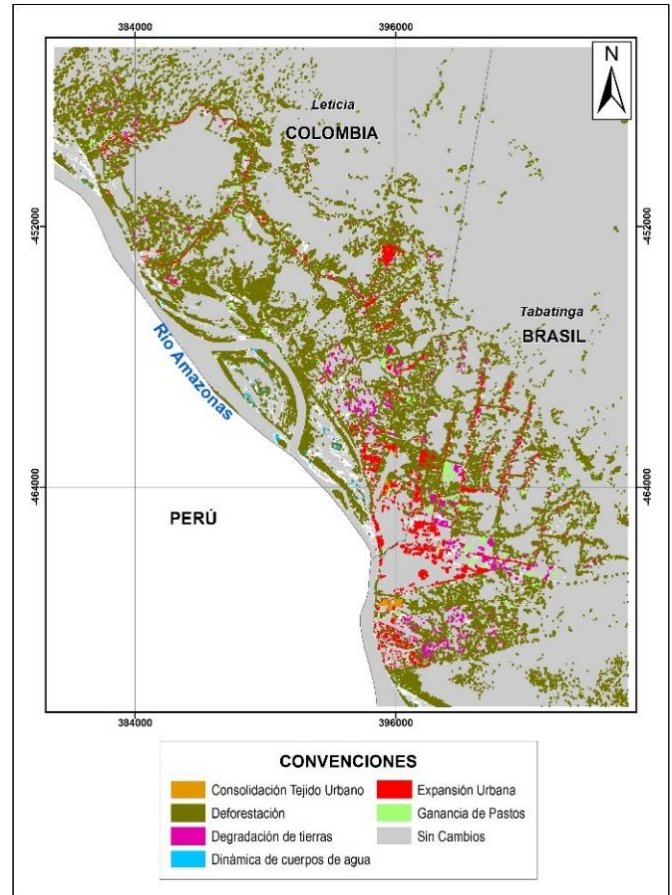


Figura 6: Mapa de cambio de cobertura 2015 -2020. Fuente: Elaboración propia

De lo anterior, se identifica que para el periodo 2015 – 2020 en el área conformada por la conurbación se presentó una deforestación calculada en 5620,8 hectáreas; áreas que corresponden al aumento de los mosaicos de pastos, tierras desnudas y tejido urbano. Por otra parte, la expansión urbana para el periodo 2015 – 2020 es de 527,4 hectáreas; este fenómeno se puede vincular al aumento de la degradación de tierras y la consolidación de tejido urbano como se muestra en la *Figura 7*.

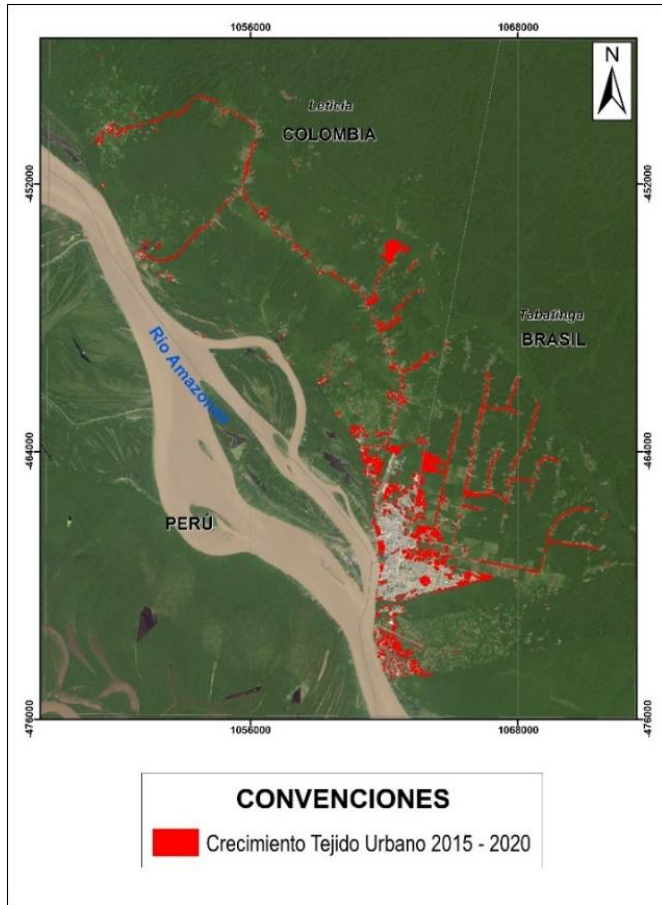


Figura 7: Mapa de expansión urbana área de estudio años 2015 – 2020. Fuente: Elaboración propia

En el desarrollo del ejercicio se calcularon los cambios por separado para cada espacio geográfico:

Tabatinga

En el caso de la ciudad brasileña se identifica una pérdida de bosque denso importante, siendo cuantificado en la matriz de cambios como un área de 1814,6 hectáreas asociadas a deforestación. Lo anterior, sumado a una expansión urbana calculada en 305,2 hectáreas y a 3,2 hectáreas de consolidación del tejido urbano. En la *Tabla 4* se relacionan las áreas por cada cobertura para el municipio de Tabatinga en los años 2015 y 2020.

Tabla 4. Cuadro de comparación de áreas de cobertura Tabatinga 2015 – 2020

Cobertura (Corine Land Cover)	Mapa Temático 2015	Mapa Temático 2020
Aeropuertos	61,76 Ha	67,88 Ha
Tejido urbano discontinuo	340,58 Ha	296,31 Ha
Tierras desnudas y degradadas	394,81 Ha	506,52 Ha
Tejido urbano continuo	704,93 Ha	899,20 Ha
Ríos	471,39 Ha	478,27 Ha
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.988,87 Ha	4.347,70 Ha
Bosque denso	22.790,40 Ha	21.156,86 Ha

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior se traduce en un aumento del 28% del tejido urbano continuo y una disminución del tejido urbano discontinuo del 13%, esto último asociado a la consolidación del tejido urbano de la zona. Estos cambios se relacionan en la *Tabla 5* y se muestran en la *Figura 8*.

Tabla 5. Cuadro de índices de cambio de cobertura Tabatinga 2015 – 2020

Índice de Cambio de Cobertura	Área (Ha)
Sin Cambios	24.658,65 Ha
Deforestación	1.814,60 Ha
Expansión Urbana	305,26 Ha
Ganancia de Pastos	258,13 Ha
Degradación de tierras	240,12 Ha
Consolidación Tejido Urbano	38,27 Ha
Dinámica de cuerpos de agua	1,55 Ha

Fuente: Elaboración propia

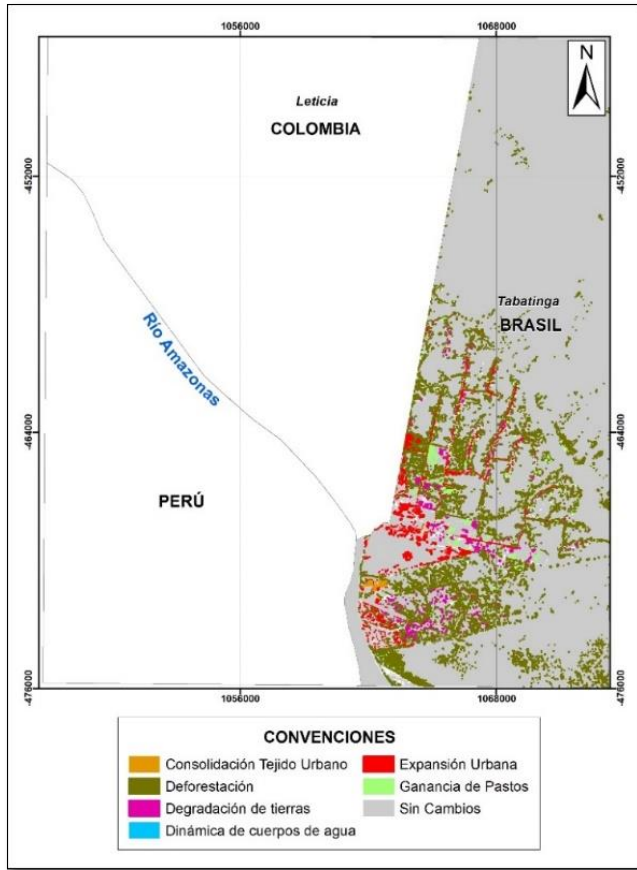


Figura 8: Mapa de cambio de cobertura Tabatinga 2015 – 2020. Fuente: Elaboración propia

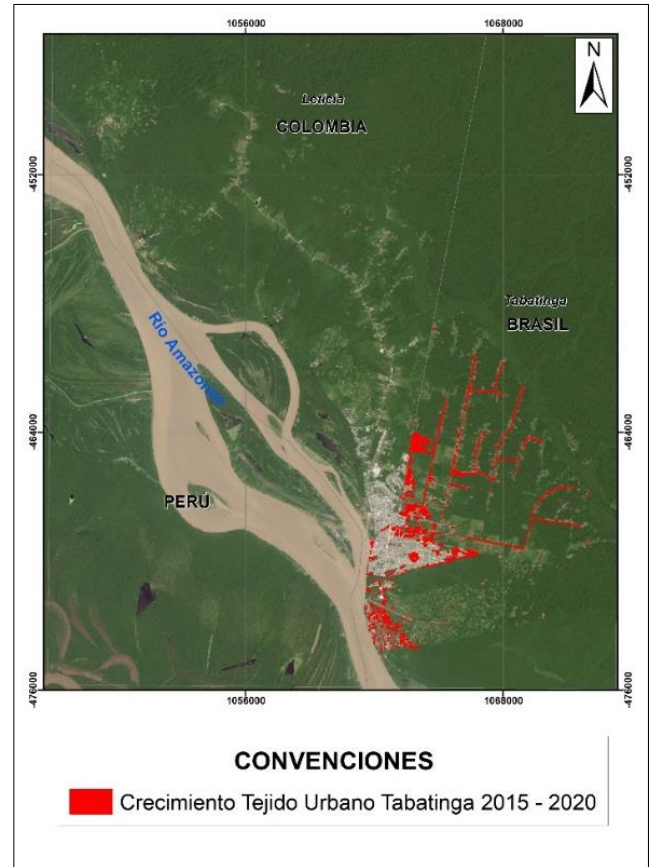


Figura 9: Mapa de expansión urbana Tabatinga 2015 – 2020. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la expansión urbana en el municipio de Tabatinga, en la *Figura 9* se puede identificar que corresponde geográficamente a la consolidación de espacios circundantes al casco urbano, especialmente sobre la línea de frontera y parte del asentamiento ubicado sobre la ribera del río Amazonas.

Leticia

En el caso de la ciudad colombiana se evidencia una pérdida de bosque denso mayor que en el caso de Tabatinga, con un área asociada a deforestación calculada en 3806,2 hectáreas. Adicionalmente, se calculó que la expansión urbana para el periodo fue de 222,1 hectáreas sumado a las 11,25 hectáreas de consolidación del tejido urbano. En la *Tabla 6* se relacionan las áreas por cada cobertura para el municipio de Leticia en los años 2015 y 2020.

Tabla 6. Cuadro de comparación de áreas de cobertura Leticia 2015 – 2020

Cobertura (Corine Land Cover)	Mapa Temático 2015	Mapa Temático 2020
Aeropuertos	99,27 Ha	123,10 Ha
Tejido urbano discontinuo	399,60 Ha	407,04 Ha
Tierras desnudas y degradadas	387,34 Ha	438,93 Ha
Tejido urbano continuo	343,41 Ha	359,67 Ha
Ríos	2.015,82 Ha	1.903,83 Ha
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4.517,87 Ha	7.916,76 Ha
Bosque denso	22.015,76 Ha	18.629,74 Ha

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior se traduce en un aumento del 5% en el tejido urbano continuo y del 2% del tejido urbano discontinuo. Por otra parte, la deforestación en el periodo analizado corresponde a una disminución del bosque denso del 15%, esto último asociado a la consolidación del tejido urbano de la zona y el aumento de áreas de mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales. Estos cambios se relacionan en la *Tabla 7* y se muestran en la *Figura 10*.

Tabla 7. Cuadro de índices de cambio de cobertura Leticia 2015 – 2020

Índice de Cambio de Cobertura	Área (Ha)
Sin Cambios	24.412,91 Ha
Deforestación	3.806,21 Ha
Ganancia de Pastos	224,46 Ha
Expansión Urbana	222,19 Ha
Degradación de tierras	163,33 Ha
Dinámica de cuerpos de agua	57,60 Ha
Consolidación Tejido Urbano	11,25 Ha

Fuente: Elaboración propia

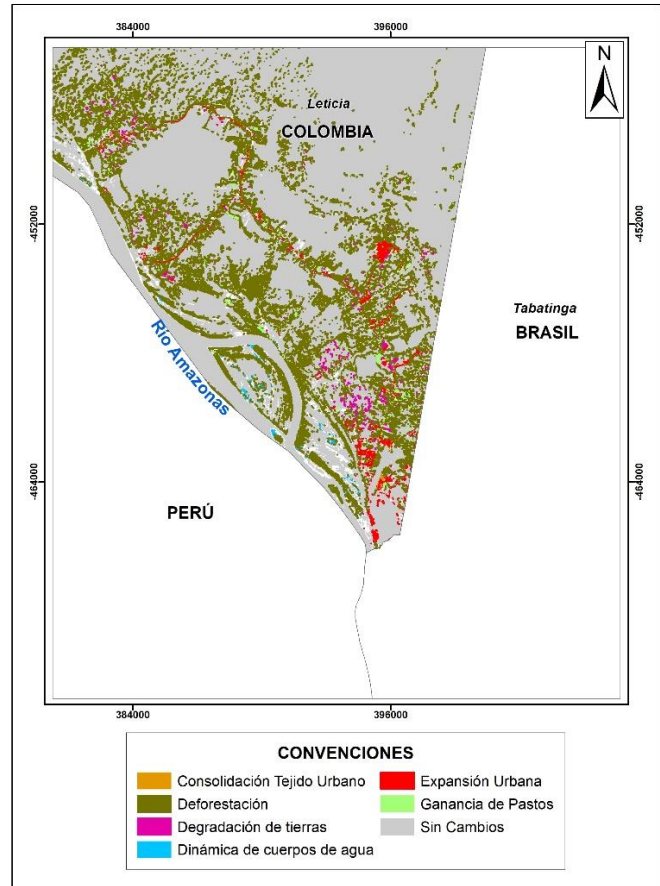


Figura 10: Mapa de índices de cambio de cobertura Leticia 2015 – 2020. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la expansión urbana en el municipio de Leticia, la *Figura 11* identifica que corresponde geográficamente a la consolidación de espacios circundantes al casco urbano y los asentamientos sobre la ribera del río Amazonas en la zona norte. Además, se identifican asentamientos sobre la línea de frontera como en el caso del municipio de Tabatinga.

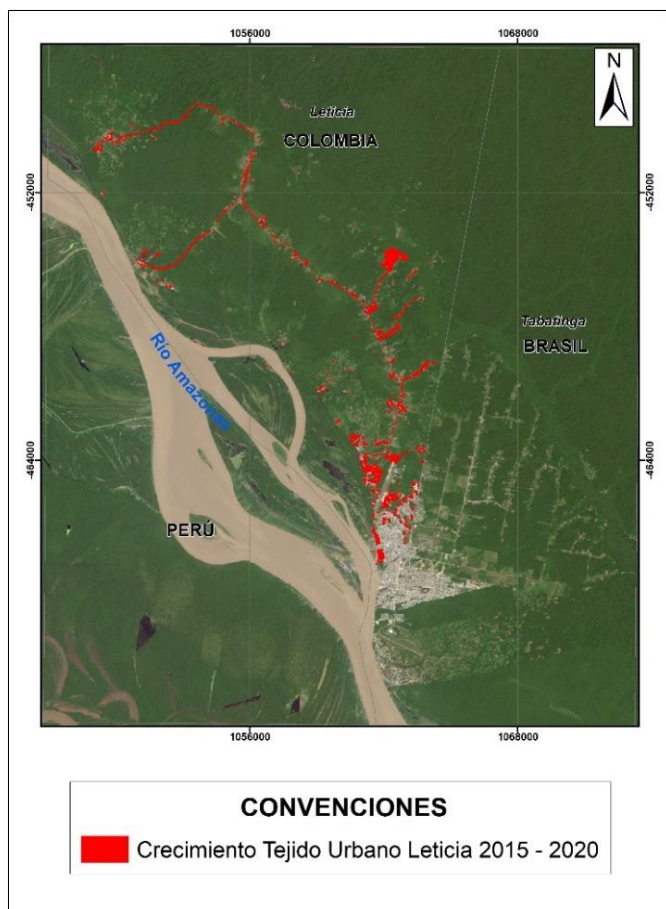


Figura 11: Mapa de expansión urbana Tabatinga 2015 – 2020. Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los cálculos realizados para ambos municipios se evidencia que la expansión urbana fue mayor en Tabatinga, con un total de 305,2 ha respecto a un total de 222,1 ha en Leticia. Caso contrario en el cálculo de la deforestación, que fue mayor en Leticia con un total de 3806,21 hectáreas respecto a un total de 1814,6 ha en Tabatinga. Estas diferencias entre el aumento de las coberturas asociadas a expansión urbana y deforestación son significativas teniendo en cuenta que del total del área de estudio (57531,8 Hectáreas), la proporción del área de cada municipio es similar (48,2% del área corresponde a Tabatinga y el 51,8% restante corresponde a Leticia). Esto indica una deforestación marcada del lado colombiano y una expansión urbana más presente en el lado brasileño. No obstante, se identificó que los nuevos asentamientos ubicados en ambos municipios se extienden sobre la línea fronteriza. Este fenómeno se asocia a la falta de control gubernamental en ambas ciudades que a pesar de tener materializado el trazado de la línea

divisoria, presenta problemas en cuanto a la jurisdicción, planeación y las estrategias de control en los barrios emergentes; lo que ha provocado una proliferación de parcelaciones y asentamientos nuevos en esa zona, como lo evidenció en el 2017 la investigación de Aponte [3].

Para futuros ejercicios de monitoreo se debe ampliar la temporalidad de las imágenes para tener el histórico geográfico de la evolución del fenómeno de conurbación fronteriza. También se hace necesario incluir imágenes de mayor resolución espacial (como es el caso de las imágenes de Radar o de UAV) que permitan realizar un seguimiento más detallado de las zonas de expansión urbana. También es necesario contar con un trabajo en campo que permita realizar una preclasificación de coberturas predominantes para facilitar el análisis posterior y una revisión de las normativas vigentes para cada uno de los municipios teniendo en cuenta la legislación de cada país en materia de uso del suelo y de ordenamiento del territorio.

VI. CONCLUSIONES

La expansión urbana en la conurbación Leticia-Tabatinga tiene una tendencia marcada hacia la línea de frontera, identificando una consolidación de espacios urbanos a lado y lado del espacio fronterizo. Este cambio de cobertura también se puede asociar a la pérdida de áreas naturales y bosques tropicales (deforestación). También se puede evidenciar que esta dinámica concuerda con los análisis realizados por diferentes autores desde otras ramas de la geografía, por lo que se sugiere continuar con el monitoreo incluyendo otras fuentes de información que permitan generar insumos más robustos para modelar la realidad de los centros urbanos, así como su dinámica y evolución. Lo anterior con la finalidad de servir como herramienta y factor de decisión en el marco de una gestión territorial optimizada, que incluya las necesidades de ambas poblaciones adaptándose a la realidad del espacio geográfico como una sola unidad y no como espacios independientes.

REFERENCIAS

- [1] OTCA, “El cambio climático en la Región Amazónica,” p. 24, 2014, [Online]. Available: http://www.otca-oficial.info/amazon/our_amazon%0Ahttp://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/integracao-regional/691-organizacao-do-tratado-de-cooperacao-amazonica-otca.
- [2] Cepal and Natural Patrimonio, *Amazonia posible y sostenible*, vol. 52, no. 5. 2013.
- [3] Aponte Motta Jorge, “Leticia y Tabatinga. Construcción de un espacio urbano fronterizo: hacia una geohistoria de la Amazonia,” p. 705, 2017.
- [4] T. Brasil, P. Enrique, and C. Gutiérrez, “Caracterización del proceso de conurbación fronteriza: el caso de Leticia (Colombia) y Tabatinga (Brasil) Characterization of the process of border suburbs :,” 2018.
- [5] D. Leticia and E. Vergel-tovar, “Ciudades gemelas en fronteras amazónicas: estudio de caso Leticia y Tabatinga,” *Cuad. Vivienda y Urban.*, vol. 1, no. 2, 2008.
- [6] E. Riaño Umbarila, V. Duarte, and R. Simi Júnior, “Aplicación de la metodología de PRODES Digital y detalle de su leyenda en área de la frontera Leticia (Colombia) - Tabatinga (Brasil),” in *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21, 2005*, p. INPE, 4269-4276., Accessed: Dec. 02, 2020. [Online]. Available: <https://docplayer.es/41768168-Aplicacion-de-la-metodologia-de-prodes-digital-y-detalle-de-su-leyenda-en-area-de-la-frontera-leticia-colombia-tabatinga-brasil.html>.
- [7] Ministerio del Medio Ambiente, *Leyenda nacional de coberturas de la tierra* Ministerio del Medio Ambiente. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra*. 2010.
- [8] J. Rodríguez and V. Peña, *Análisis de dinámicas de cambio de las coberturas de la tierra en Colombia, Escala 1:100.000 Periodos 2000-2002 y 2005-2009*. 2013.
- [9] “Landsat 8.” https://www.usgs.gov/core-science-support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (accessed Dec. 02, 2020).
- [10] “Landsat Level-1 Processing Details.” <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-level-1-processing-details> (accessed Dec. 02, 2020).
- [11] M. Hasanlou and M. R. Saradjian, “Quality assessment of pan-sharpening methods in high-resolution satellite images using radiometric and geometric index,” *Arab. J. Geosci.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2016, doi: 10.1007/s12517-015-2015-0.
- [12] R. J. Kauth, “Tasseled Cap - a Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops As Seen By Landsat.,” pp. 41–51, 1976.
- [13] D. Gozdowski *et al.*, “Comparison of winter wheat NDVI data derived from Landsat 8 and active optical sensor at field scale,” *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*, vol. 20, no. September, 2020, doi: 10.1016/j.rsase.2020.100409.
- [14] T. Duda and M. Canty, “Unsupervised classification of satellite imagery: Choosing a good algorithm,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 23, no. 11, pp. 2193–2212, 2002, doi: 10.1080/01431160110078467.
- [15] O. K. Dogan, Z. Akyurek, and M. Beklioglu, “Identification and mapping of submerged plants in a shallow lake using quickbird satellite data,” *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 7, pp. 2138–2143, 2009, doi: 10.1016/j.jenvman.2007.06.022.