

Estimación de cobertura boscosa mediante el sistema TerraAmazon y análisis de fragmentación en los municipios de Viotá (Cundinamarca) y FuentedeOro (Meta), Colombia (2016).

Cristopher Edgar Camargo Roa¹

Victoriano Vargas Montaña²

Alexandra Rojas-Moreno³

Carlos Eduardo Pacheco Angulo⁴

¹Universidad Nacional Experimental del Táchira
Código postal 5001 – San Cristóbal, Venezuela
ccamargo@unet.edu.ve

²Universidad de Los Andes

Código postal 5101 – Mérida, Venezuela
victorianovm@yahoo.es

³Fundación Universitaria Agraria de Colombia
Código postal 111166 – Bogotá, Colombia
rojas.nancy@uniagraria.edu.co

⁴Universidad de Los Andes

Código Postal 5101 – Mérida, Venezuela
carlosa@ula.ve

Abstract. The purpose of this study was to estimate the forest cover and areas with low or without vegetation have in the municipalities of Viota (Cundinamarca Department) and Fuentedeoro (Meta Department) in the year 2016. In order to, make decisions on priority areas to reforestation, through the use of the TerraAmazon System and in turn, to perform a spatial fragmentation analysis through SAGA software. The TerraAmazon System was configured by the building of a database Postgres SQL, the conceptual model, access control, control phases, project, rules control and categories, required to the posterior visual interpretation display of existing covers on a 456 composition Landsat 8 imagery. The results determined a greater existence of land with low vegetation or without vegetation in the Viota municipality with 53,904 km² (25,9 %) in contrast to Fuentedeoro municipality, this cover present 470,200 km² (74,5 %). With these results were proceeded to develop the fragmentation analysis, that indicates, a high fragmentation in Fuentedeoro represented for the patch (19,56%) and border (8,93%) categories, in contrast to Viota municipality when the mayor vegetation is localized in the border (53,08%) and nucleus (23,90%) categories, annotating in addition the absence the perforated category.

Keywords: TerraAmazon, SAGA, Landsat, Colombia, deforestation, fragmentation.

1. Introducción

Colombia presenta una clara vocación forestal de sus tierras, sin embargo el uso que presentan muchas de ellas, no suele ser el indicado, por el contrario las mismas denotan diversos grados de conflicto de uso, que en muchos casos implica utilización excesiva generando procesos de degradación principalmente por el desarrollo de minifundios, alta demanda de servicios y recursos naturales, programas de colonización mal organizados y orientados, sistemas de producción inadecuados, pobreza de la población y prácticas de deforestación para plantar cultivos ilícitos y de subsistencia (Jaramillo, 2014), sobre esta última, hay que agregar que la tala y el tráfico ilegal de maderas constituye un problema creciente que amenaza la subsistencia de varias especies, particularmente de aquellas con un alto valor comercial en los mercados nacionales e internacionales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

A escala mundial, Colombia es considerado el primer país en diversidad de orquídeas, el segundo en plantas y el tercero en palmas (Instituto Alexander von Humboldt, 2016), cuenta con 53% de su territorio nacional bajo cobertura forestal (IDEAM, 2016), la cual se ha visto afectada por la deforestación, así lo evidencia la tasa de deforestación durante el 2014 de 140,356 hectáreas, y que significó un incremento de 16%, con relación al año 2013 de 120,934 hectáreas (IDEAM, 2015).

Aunado a la pérdida de bosques por deforestación, está también la fragmentación de los mismos, siendo esta una de las principales causas de pérdida de diversidad, de estabilidad

ecológica a largo plazo y de capacidad para la producción de servicios ecosistémicos (Vargas, 2015).

En el caso particular de los Municipios de Viotá y Fuentedeoro, el primero correspondiente a la región Andina, su vegetación natural ha desaparecido para dar paso a cultivos y pastizales, quedando rodales pequeños de bosque andino como testigos de la cobertura vegetal que existía, el segundo, perteneciente a la región de la Orinoquía, la vegetación boscosa de galería, ha sido reducida para proveer leña, postes para cercas y construcciones y también por la búsqueda de suelos para cultivos de subsistencia por acción misma de la tala y en muchos casos por el alcance de las quemadas de las sabanas que frecuentemente se realizan (Cortés, 2004).

Actualmente, Colombia cuenta con un sistema de monitoreo con imágenes de baja resolución MODIS TERRA/AQUA para identificar las zonas de deforestación, sin embargo dicha resolución espacial no cuenta con el nivel de detalle necesario para cuantificar la extensión del proceso (IDEAM, 2014), por tal razón se realizó el estudio con imágenes Landsat 8, como garante de una mejor resolución espacial y por tanto de mejores resultados, esto basado en la premisa que la resolución espacial es una importante herramienta para la gestión y conservación de la biodiversidad (Arenas *et al.*, 2011). Estudios empleando imágenes Landsat han sido realizados sobre los bosques de la región forestal Carare-Opón en el lapso 1991-2002 (Franco y Rodríguez, 2005), en la zona de reserva forestal del Río Magdalena (Cárdenas, 2006) y en la cuenca del Río el Valle, en los andes venezolanos (Hoyo *et al.*, 2015), por citar algunos ejemplos.

La determinación de las coberturas de los municipios de Viotá (Cundinamarca) y Fuentedeoro (Meta), se realizó utilizando TerraAmazon, que es una herramienta de SIG diseñada para ser un editor multi-usuario de datos geográficos vectoriales almacenados en una base de datos siguiendo el modelo TerraLib y que contiene herramientas para la clasificación del uso de la tierra y de la cubierta terrestre (FAO, 2016). Aunque el programa fue diseñado para la Amazonía, el mismo ha sido aplicado en la determinación de las áreas hot spot más críticas de deforestación en el estado de Sinaloa, México (Monjardín *et al.*, 2014), en una cuenca de los andes venezolanos, donde se logró estimar la cantidad de bosques existentes y su dinámica de deforestación en el lapso 1988 - 2014 (Pacheco *et al.*, 2015) y también en los llanos occidentales de Venezuela, donde se estimó los cambios en las coberturas forestales en el período 1990 - 2010 (Pacheco y Vilanova, 2015). La cuantificación de los mapas generados con respecto a la verdad - terreno, se realizó a partir de lo que usualmente se conoce en teledetección como matriz de confusión (Arenas *et al.*, 2011).

El análisis de fragmentación se centró en las coberturas obtenidas sobre los dos municipios por medio de los recursos y métodos previamente descritos, convirtiéndose estos en una excelente base para el cálculo de medidas de paisaje y patrones de fragmentación. Aplicación de herramientas SIG y el uso de sensores remotos para el análisis de fragmentación han sido llevados a cabo en México por Más y Sandoval (2000) y Ortega *et al.* (2005), en Colombia por Echeverry y Rodríguez (2006), en Bolivia por Fontúrbel (2007) y en Costa Rica por Benavidez (2008).

Estimar las áreas que se encuentran sin cobertura vegetal, así como zonas degradadas y zonas de conservación hídrica, que se encuentran desprotegidas o bordes de relictos boscosos, pueden ayudar en la toma de decisiones para priorizar zonas de reforestación que permitan recuperar la cobertura forestal, disminuyendo así el deterioro ambiental en municipios de estudio, como es el objeto del proyecto “formulación de planes de reforestación con especies promisorias en Viotá (Cundinamarca) y la Región del Ariari (Llanos orientales) para ser incorporadas en cadenas de valor por parte de comunidades locales”, en actual ejecución por parte de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, en la cual se enmarcan los resultados presentados.

2. Metodología

2.1. Áreas de Estudio. El municipio Viotá se encuentra ubicado al sur occidente del Departamento de Cundinamarca, sobre el piedemonte de la Cordillera Oriental, a 86 km de Bogotá y a 12 km de la carretera troncal que comunica el interior con el sur del país; se localiza en las coordenadas geográficas 4°27'00" de latitud norte y 74°32'00" de longitud oeste y cuenta con una superficie de 20.800 hectáreas (Alcaldía de Viotá, 2016). Por su parte, el municipio Fuentedeoro, está localizado al sur del Departamento del Meta, en la región denominada tradicionalmente del medio Ariari; Se localiza en las coordenadas geográficas 3°25'30" de latitud Norte y 73° 36' 46" de longitud Oeste y posee de superficie 6.287.900 hectáreas (Alcaldía de Fuentedeoro, 2016).

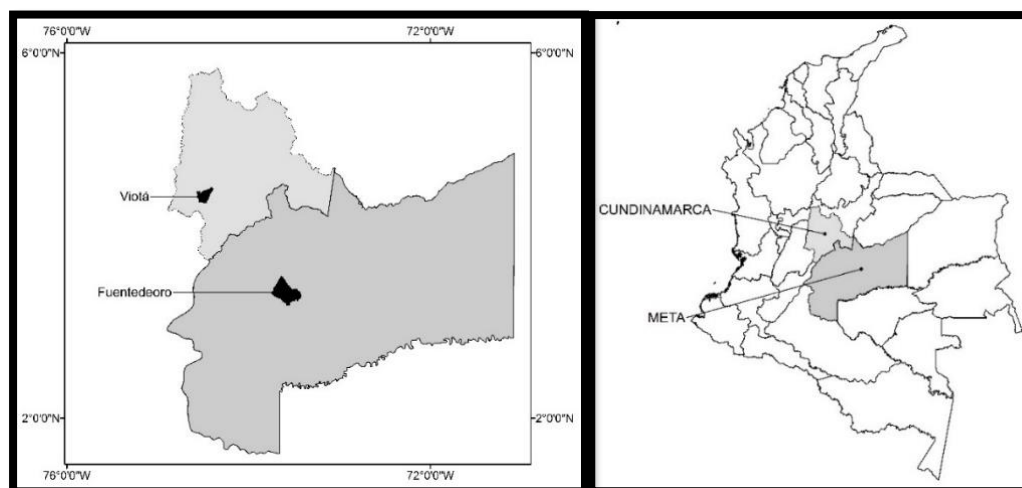


Figura 1. Izquierda: Ubicación de los departamentos en Colombia. Derecha: Ubicación de los municipio dentro de los departamentos.

2.2. Datos. Se emplearon dos imágenes Landsat 8 captadas en diciembre de 2015 y febrero de 2016, descargadas a partir de la colección del USGS (U.S. Geological Survey) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) de distribución gratuita y con un nivel de corrección radiométrica y geométrica L1T, necesario para la consecución del objetivo del estudio.

Tabla 1. Imágenes Landsat 8 empleadas.

path	row	Lat	Long	Sensor	Año de Referencia	Fecha de adquisición
008	057	4.33	74.47	L8 OLI/TIRS	2015	2015-12-22
007	058	2.89	73.23	L8 OLI/TIRS	2016	2016-02-01

2.3. Generación de cartografía. Para la generación de la cartografía del año 2016 de los Municipios Viotá y Fuentedeoro, se empleó la versión 4.4.2 de TerraAmazon, el cual fue configurado previamente, consistiendo en la creación de una base de datos PostgreSQL, un modelo conceptual, control de acceso, control de fase, generación de proyecto, reglas de control, definición de clases y de área de interés (INPE-FUNCATE, 2010). Posterior a ello, se creó una composición a falso color con un RGB 456 a partir de las bandas contenedoras de los rangos electromagnético de 0,63-0,68 μm (rojo), 0,84-0,88 μm (infrarrojo cercano) y 1,56-1,66 μm (infrarrojo medio), respectivamente. Sobre esta imagen se aplicó una interpretación visual en pantalla en la interface del TerraAmazon como método de categorización, siendo una técnica de vigencia y preferencia de autores como Larsson y Strömquist (1995) o Chuvieco (2008), se prefirió este método sobre un método de segmentación automática, dado a la posibilidad de generación de errores en segmentación de áreas con sombras generadas por el relieve, principalmente.

La clasificación de la imagen se definió específicamente bajo dos categorías, la primera de ellas como "**Bosque**", entendida como la comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos que forman un estrato de copas más o menos continuos, generalmente

mayor a 5 m de altura, pudiendo ser de tipo conífera, decidua y tropical (Ramírez y González, 2005) y la segunda, como “No Bosque”, opuesta a la primera, donde estarían representadas las coberturas urbanas, de cultivos, entre otras. Se definió como unidad mínima de interpretación la extensión de 1 hectárea y se definió el sistema UTM Zona 18 Norte, Datum WGS84, como sistema de coordenadas.

2.4. Validación de las cartografías de coberturas. Luego de creada las cartografías con las clases “Bosque” y “No Bosque” para los municipios, las mismas fueron validada para confirmar la precisión del producto generado. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado de 100 puntos por categoría, que consistió en considerar categorías típicas diferentes entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica y con lo que se asegura que todos los estratos de interés, estén representados adecuadamente en la muestra (Boca y Rodríguez, 2012).

Los puntos se obtuvieron de la imagen satelital interpretada con lo que se conformaron 200 muestras de Verdad - Terreno, acción que permitió estimar con mayor precisión y tiempo menor, el error contenido en el resultado (Chuvieco, 2008). Mediante el cálculo de la matriz de confusión, se pudo obtener la precisión de los resultados comparando con la información verdadera suministrada por la imagen (Harris Geoespatial Solution, 2016), esto se logró a partir de los errores de omisión, comisión, precisión global y el índice Kappa, el primero entendido como los elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella, el segundo, como los elementos que perteneciendo a una clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra, el tercero, que señala el número de unidades clasificadas correctamente, sobre el número total de unidades consideradas (Boca y Rodríguez, 2012), y el último, que estudia la proporción total de muestras que coinciden en ambas capas (Olaya, 2011) y que se expresa de la forma:

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^n m_{i,i} - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}$$

Donde i es el número de clases, N es el número total de píxeles clasificados que han sido comparados con la verdad terreno, $m_{i,j}$ es el número de píxeles que perteneciendo a la clase verdad terreno i , han sido también clasificado con una clase i (Ejemplo: valores encontrados a lo largo de la diagonal de la matriz de confusión), C_i es el número total de píxeles clasificados pertenecientes a la clase i . G_i es el número de píxeles verdad-terreno pertenecientes a la clase i (Harris Geoespatial Solution, 2016).

La validación presentada para la cartografía fue realizada por un experto externo que no intervino en la elaboración de las cartografías, principio señalado por Congalton (1988).

2.5. Análisis de fragmentación. La fragmentación de los bosques nativos es una perturbación que consiste en la disrupción de bosques originalmente continuos en fragmentos remanentes de diferentes tamaños y más o menos separados entre sí (Bustamante y Grez, 2004) y que provoca una disminución del tamaño medio de los parches de hábitat, aislamiento, además de un aumento del llamado efecto “borde” (Cayuela, 2006), causando incrementos en las tasas de mortalidad, daño y formación de claros al parecer por cambios micro climáticos y físicos cerca de los bordes del bosque (Laurance *et al.*, 1997). Es un proceso directamente relacionado con las actividades económicas y la presión demográfica sobre comunidades vegetales de interés estratégico (Vargas, 2015).

El análisis del proceso de fragmentación de bosques, parte del método introducido por Ritters *et al.* (2000) e implementado por el Sistema Automatizado para el Análisis Geocientífico (System for Automated Geoscientific Analyses SAGA). Los cálculos comienzan con la definición de la densidad Pf (proporción de celdas en la ventana que están cubiertos de bosque) y Conectividad Pff (en el sentido estricto y solo en puntos cardinales, de los pares de celdas que incluyan al menos una con bosque) (Vargas, 2015).

Las categorías iniciales se clasifican de acuerdo a lo siguiente: **Núcleo**, para lo cual la probabilidad Pf es igual a 1; **Interior**, categoría con una densidad superior a 0.9 y menor a 1, **el Parche**, que se ubica en el rango de Pf <0.4; la **Transición**, con valores de probabilidad en el rango que sigue 0.4 <Pf <0.6; **Borde** con dos criterios, considerando la probabilidad Pf > 0.6 y Pf - Pff > 0; **Perforado**, categoría que maneja los dos ejes dentro de los rangos Pf > 0.6 y Pf - Pff <0, y finalmente la categoría de **Indeterminada**, con probabilidades iguales Pf = Pff. (Riitters et al., 2002).

3. Resultados y Discusión

3.1. Validación de los municipios. La matriz de confusión arrojó como resultados para el Municipio Viotá, que la clase Bosque tuvo un acierto de 94%, por su parte, la clase No Bosque fue de 98%, explicado solo por un error de omisión en la primera clase de 6 muestras y de 2 en la segunda clase, que representa un error de confusión de 4% (Tabla 1).

Tabla 1. Matrices de confusión.

Clase	Verdad Terreno (Porcentaje)		Total
	Bosque	No Bosque	
Bosque	94.00	2.00	48.00
No Bosque	6.00	98	52.00
Total	100.00	100.00	100.00

Con respecto a los resultados de omisión y comisión, se pudo definir que la clase No Bosque fue la que obtuvo el error mayor del usuario (comisión) con 5,77% y la clase Bosque de 2,08%. En cuanto al error del productor (omisión) fue de 2% para la clase No Bosque y de 6% en la clase bosque. La precisión global fue de 96% y un índice de Kappa de 0.92.

Tabla 2. Errores de comisión y omisión, precisión global e índice Kappa.

Clase	Comisión (Porcentaje)	Omisión (Porcentaje)	Comisión (Píxeles)	Omisión (Píxeles).
Bosque	2,08	6,00	2/96	6/100
No Bosque	5,77	2,00	6/104	2/100

De la misma forma, La matriz de confusión para el Municipio Fuentedeoro emitió como resultados, que la clase Bosque tuvo un acierto de 86% y la clase No Bosque de 100 %, explicado solo por un error de omisión en la primera clase de 14 muestras y de ninguna en la segunda clase, y que representa un error de confusión de 7% (Tabla 3).

Tabla 3. Matrices de confusión.

Clase	Verdad Terreno (Porcentaje)		Total
	Bosque	No Bosque	
Bosque	86.00	0.00	43.00
No Bosque	14.00	100	57.00
Total	100.00	100.00	100.00

En relación a los resultados de omisión y comisión, se puede definir que la clase No Bosque fue la que obtuvo el error mayor del usuario (comisión) con 12,28% y la clase Bosque de 0 %. Sobre el error del productor (omisión), este fue de 14% para la clase No Bosque y de 0 % en la clase Bosque. La precisión global fue de 93% y el índice de Kappa de 0.86 (tabla 4).

Tabla 4. Errores de comisión y omisión, precisión global e índice Kappa.

Clase	Comisión (Porcentaje)	Omisión (Porcentaje)	Comisión (Píxeles)	Omisión (Píxeles).
Bosque	0,00	14,00	0/86	14/100
No Bosque	12,28	0,00	14/114	0/100

Los resultados hallados, comparados con algunos productos globales como la evaluada por Anaya y Chuvieco (2010) sobre áreas quemadas en Colombia, de mayor extensión y donde los valores de exactitud global estuvieron cercanos al 90% y con error de omisión particularmente alto, es mucho mayor en este estudio, lo que permite asegurar una alta confiabilidad sobre los productos cartográficos generados.

3.2. Coberturas en los municipios. En el caso del Municipio Viotá (Cundinamarca) arrojó como resultados 154,113 km² (74,1%) de la categoría “**Bosque**” y 53,904 Km² (25,9%) de “**No**

bosque” (Figura 2), en el mismo orden de ideas, el Municipio Fuentedeoro (Meta), presentó como resultados 160,758 km² (25,5 %) de la categoría “**Bosque**”, y 470,200 Km² (74,5%) de la categoría “**No bosque**” (Figura 3).

Teniendo en cuenta la resolución de las imágenes Landsat, donde un pixel corresponde a 900 m² y el tamaño de las fincas, principalmente en el Municipio de Viotá, donde el 71 % de los predios rurales tiene menos de 5 ha según el Plan de Desarrollo Municipal 2012 – 2015 (Alcaldía de Viotá, 2016), que implica una amplia parcelación del territorio, no es, en muchas ocasiones posible separar el bosque secundario existente de los cultivos tradicionales del municipio, por lo cual fueron estimados dentro de la categoría bosque; no obstante, con visita en campo y basados en la información del censo nacional agropecuario 2014 (DANE, 2016) (del total de los predios censados), aproximadamente el 16% del suelo estaba en bosque secundario y el 79% en coberturas agropecuarias, para ese año, siendo los principales cultivos café, plátano, mango, cacao, aguacate y cítricos (Plan Nacional de Desarrollo 2012 – 2015), que además por su porte generan una firma espectral similar al bosque natural, lo que hace aún más difícil su separación.

Con respecto a Fuentedeoro, una interpretación exhaustiva aunada a visita a campo permitió definir la existencia de 32,32 Km² de áreas correspondientes al cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*). Finalmente, en Fuentedeoro, dada la envergadura e importancia del río Ariari, se realizó a partir de éste un buffer de 30 metros, definido por el artículo 83 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente de Colombia (Decreto 2811, 1974), posteriormente intersectado con la capa de coberturas previamente generada, a fin de conocer el porcentaje de cumplimiento de la inalienabilidad de dicha área en específica y que arrojó la presencia de 78,61 ha de área de bosque y 472,19 ha en la clase no bosque, lo que significa un incumplimiento de la norma en al menos un 85,73%.

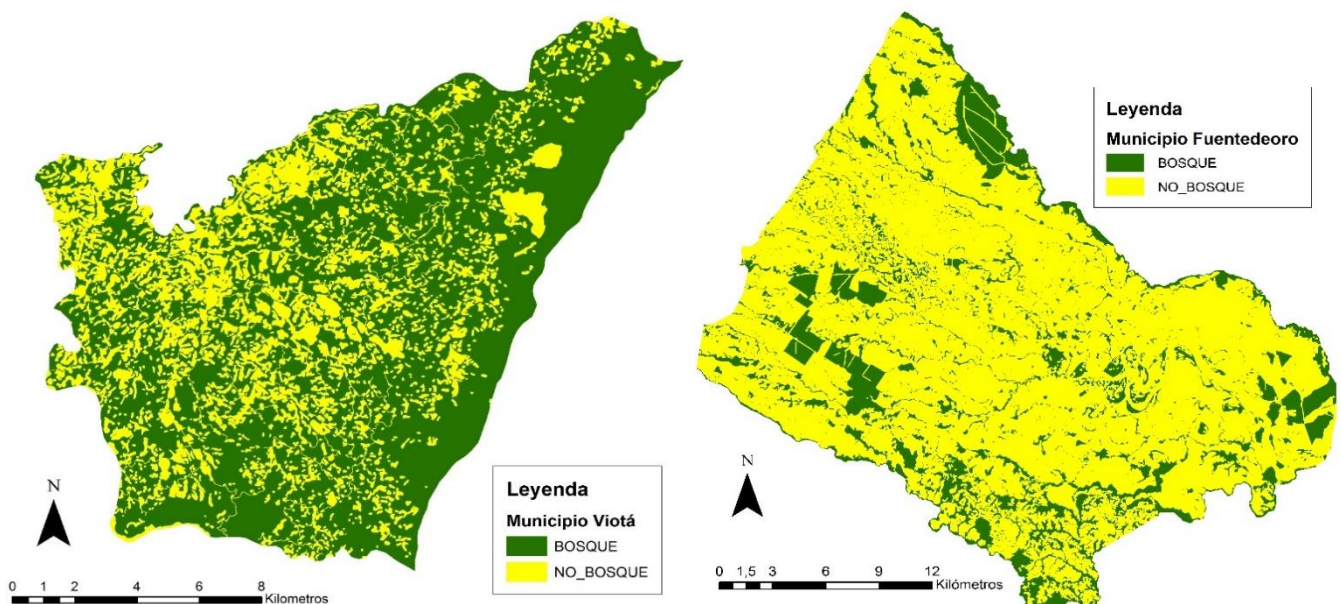


Figura 3. Izquierda: Cobertura forestal en el municipio Viotá (Cundinamarca). Derecha: Cobertura forestal municipio Fuentedeoro (Meta).

3.3. Análisis espacial de fragmentación en los municipios. Los resultados para el análisis espacial de fragmentación muestran en el caso del Municipio Viotá que muchos de los fragmentos identificados se encuentran en la categoría de borde y núcleo, seguidos por transición e interior, lo que denota una buena presencia de continuidad de los bosques. Por su parte, la situación es opuesta en el municipio Fuentedeoro, donde la existencia de la mayor parte de los bosques están en la categoría parche y borde, seguidos por transición, por otra lado, dada a la escasa cobertura boscosa, resulta prácticamente imposible hablar de perforado en los

bosques actuales (sobre este municipio, no fue tomado en cuenta el área perteneciente a las palmas) (Tabla 5, Figura 4).

Tabla 5. Fragmentación a nivel espacial de los municipios Viotá y Fuentedeoro.

Categoría de Fragmentación	Municipio Viotá	Porcentaje	Municipio Fuentedeoro	Porcentaje
Núcleo	4972,33	23,90	654,39	1,03
Interior	1717,80	8,25	434,24	0,68
Perforado	0,91	0,00		
Borde	11043,34	53,08	5634,84	8,93
Transición	1872,00	8,99	3985,62	6,31
Parche	1039,03	4,99	12346,959	19,56
Ninguno	156,26	0,75	40039,80	63,45

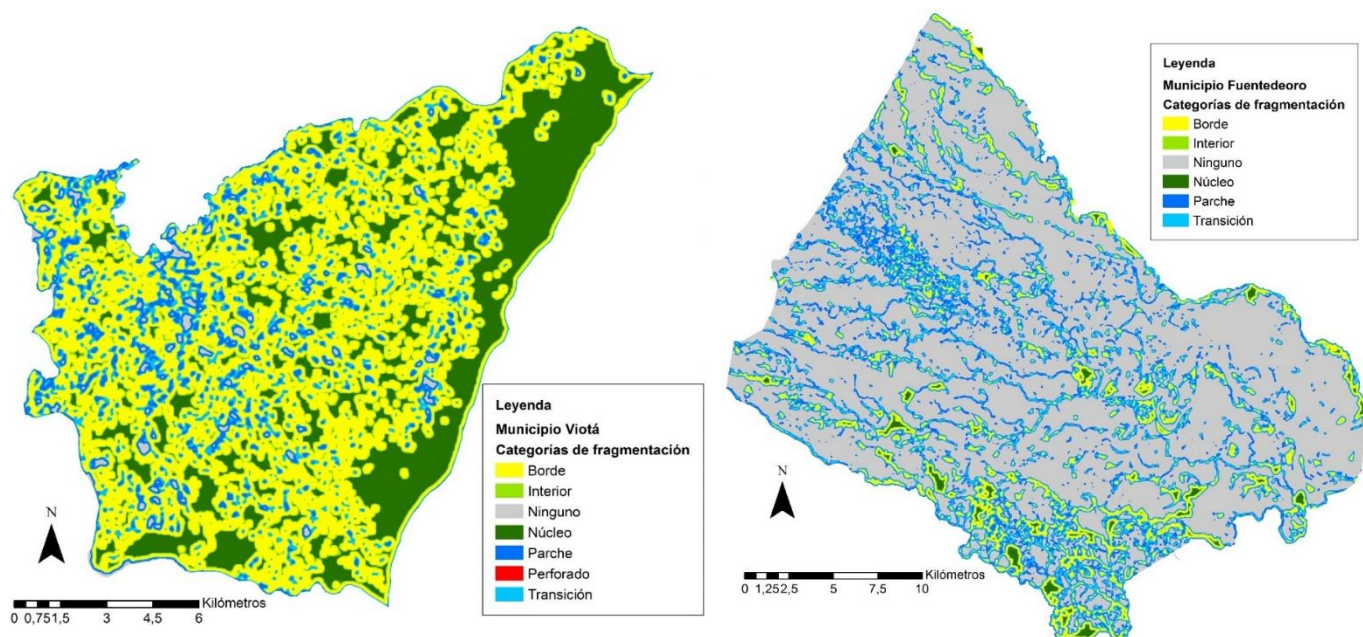


Figura 4. Fragmentación de los municipios Viotá (Cundinamarca) y Fuentedeoro (Meta) 2016.

4. Conclusiones.

La determinación de las clases permitiría establecer una aproximación a la determinación de las áreas donde posiblemente se han desencadenado procesos de degradación de diversa índole y con ello las áreas posibles de ser recuperadas. Un primer paso consistiría en concentrar las observaciones en la categoría “No Bosque”, donde se buscaría localizar procesos de degradación de fácil acceso o de gran impacto en el paisaje, así como zonas de conservación con conflicto de uso.

En la toma de decisiones que tienen que ver con la determinación de áreas degradadas, resulta conveniente el uso del SIG como una herramienta de apoyo, también el sistema puede brindar posibilidades de incorporación de nuevos criterios o requerimientos de los investigadores e instituciones participantes y finalmente, constituirse en una herramienta técnica de planificación para la toma de decisiones.

La cartografía generada a través de TerraAmazon, busca representar y gestionar la información espacial de una forma que sea accesible a la comunidad de investigadores y usuarios en general, además de servir de apoyo a actividades científicas, de administración pública y técnicas, cuyo propósito sea el de mejorar la calidad de vida a escala local, regional o nacional.

Las imágenes de Satélite Landsat 8, permiten una visión integral de las áreas que se propongan como de interés en los estudios. Estas pueden ofrecer en primer lugar una evaluación

del estado de las características existentes en un momento dado. A partir de varias imágenes sobre la misma área de interés, se podría sugerir una evaluación multitemporal partiendo de distintas fechas de adquisición, con lo que podría conocer la dinámica de las características involucradas.

El proceso de caracterización de la fragmentación usado para este estudio permitió identificar la complejidad en la forma de los fragmentos existentes en ambos municipios, esta información también podría servir de base para la toma de decisiones en cuanto a la conservación de los bosques existentes y la restauración de las áreas degradadas.

Para ampliar la comprensión de la dinámica de la fragmentación espacial, se recomienda realizar este análisis sobre años anteriores, a fin de establecer un estudio multitemporal, preferiblemente en intervalos de 10 años.

Agradecimientos. Este estudio es uno de los productos del proyecto de investigación “Formulación de planes de reforestación con especies promisorias en Viotá (Cundinamarca) y la Región del Ariari (Llanos Orientales) para ser incorporadas en cadenas de valor por parte de comunidades locales” (en ejecución) gracias a la Vicerrectoría de Extensión y Proyección social y el Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia (UNIAGRARIA). El ingeniero Victoriano Vargas participó realizando los análisis de fragmentación y el Dr. Carlos Pacheco guiando el procedimiento con TerraAmazon.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Viotá. **Descripción física.** Disponible en: <http://www.viota-cundinamarca.gov.co/index.shtml>. Acceso en 15 de jun. 2016.
- Alcaldía de Viotá. **Plan de Desarrollo: “Viotá Territorio de Paz y Prosperidad 2012 - 2015”.** Disponible en: http://www.viota-cundinamarca.gov.co/Nuestros_planes.shtml Acceso en 07 de ago. 2016.
- Alcaldía de Fuentedeoro. **Descripción física.** Disponible en: <http://www.fuentedeoro-meta.gov.co/index.shtml>. Acceso en 15 de jun. 2016.
- Anaya, J. y Chuvieco, E. Validación para Colombia de la estimación de área quemada del producto vl3jrc en el periodo 2001-2007. **Actualidades Biológicas**, v.32 n 92, p. 29 - 40, 2010.
- Arenas, S., Haeger, J. y Jordano, D. Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quicbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo. **Revista de Teledetección**. V.35, n.1, p. 55 – 71. 2011.
- Benavidez, M. **Evaluación del análisis de fragmentación con base en imágenes TM y fotografías aéreas en Sarapiquí, vertiente Atlántico Norte, Costa Rica.** Escuela de Posgrado, Programa de Educación para Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 2008.
- Boca, T. y Rodríguez, G. **Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos.** Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar. 2012. 24 p.
- Bustamante, R. y Grez, A. Fragmentación del bosque nativo: ¿en qué estamos?. **Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA**, v.2, n.1, p. 89-91, 2004.
- Cárdenas, M. Estimación de la deforestación por cultivos ilícitos en la zona de reserva forestal del Río Magdalena. **Colombia Forestal**, V.9, n.19, p. 136 -154, 2006.
- Cayuela, L. Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. **Ecosistemas**, v.15, n.3, 192-198, 2006.
- Cortés, A. **Suelos Colombianos Una Mirada desde la Academia.** Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Recursos Naturales. 2004. 198 p.
- Congalton, R. comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.54, n.3, p. 593-600, 1988.
- Chuvieco, E. **Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio.** España: Editorial Ariel, S. A., 2008. 430 p.
- DANE. **Entrega de Resultados del 3er Censo Nacional Agropecuario – primera entrega (16 de marzo de 2016).** Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/Censo-Nacional-Agropecuario-2014>. Acceso en 19 jul. 2016.
- Echeverry, M., & Rodríguez, J. Análisis de un paisaje fragmentado como herramienta para la conservación de la biodiversidad en áreas de bosque seco y sub húmedo tropical en el municipio de Pereira, Risaralda Colombia. **Scientia et Technica**, v.3, p. 45 – 41, 2006.

- FAO. **TerraAmazon**. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/nfms-for-redd/85263/es/>. Acceso en 28 jun. 2016.
- Franco, R., y Rodríguez, J. Análisis multitemporal satelital de los bosques del Carare-Opón, mediante imágenes Landsat de 1991 y 2002. **Colombia Forestal**, v.9, n.18, 157 – 162, 2005.
- Fontúrbel, F. Evaluación de la pérdida de la cobertura del bosque seco Chaqueño en el municipio de Torotoro y en el Parque Nacional Torotoro (Potosí, Bolivia), mediante teledetección. **Ecología Aplicada**, v.6, n.1-2, p. 6 – 66, 2007.
- Harris Geoespatial Solution. **Calculate Confusion Matrices**. Disponible en: <https://www.harrisgeospatial.com/docs/calculatingconfusionmatrices.html>. Acceso en 17 jun. 2016.
- Hoyo, S., Pacheco, C., Bustillo, L. y López, R. Cambio de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca El Valle, estado Táchira -Venezuela. Períodos: 1991-2003 y 2003-2013. **Revista Forestal Venezolana**, v. 57, n.1, p. 57-77, 2015.
- Ideam. **Boletín Alertas Tempranas (AT) por Deforestación Año 2013**. Bogotá, Colombia. 2014.
- Ideam. **Aumenta deforestación en Colombia para 2014**. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/aumenta-deforestacion-en-colombia-para-2014. Acceso 07 de Jul. 2016. 2015.
- Ideam. **Biodiversidad en Colombia**. Disponible en: <http://www.sibcolombia.net/web/sib/cifras#36>. Acceso en 07 de jul. 2016.
- Inpe-Funcate. **TerraAmazon 4.4 User's Guide Administrator**. INPE FUNCATE 2013. 156 p.
- Instituto Alexander von Humboldt. **La biodiversidad en Colombia**. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/161-la-biodiversidad-y-los-servicios-ecosistemas?Itemid=269&highlight=YTo2OntpOjA7czoxMzoiYmlvZGI2ZXJzaWRhZCI7aToxO3M6MjoiZGU02k6MjtzOjM6ImRlcYI7aTozO3M6NzoicGxhbnRhcYI7aTo0O3M6MTY6ImJpb2RpdmdVyc2lkYWQgZGU02k6NTtzOjEwOiJkZSBwbGFudGFzIjt9>. Acceso en 07 de jul. 2016.
- Jaramillo, D. **El Suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad** – segunda edición. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. 2014. 553 p.
- Larsson, R. y Strömquist, L. **Monitoreo del Medio Ambiente con análisis de Imágenes Satelitarias**. Tryckkontakt, Uppsala. Suecia.1995. 97 p.
- Laurance, W., Laurance, S., Ferreira, L., Rankin-de Merona, J., Gascon, M., & Lovejoy, T. Biomass Collapse in Amazonian Forest Fragment. *Science*, 278, 1117–1118, 1997.
- Mas, J. y Sandoval, J. Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", Campeche, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del instituto de Geografía. UNAM*, v. 43, p. 42-59, 2000
- Monjardin, S., Pacheco, C., Rocha, W., Aguilar, J., Corrales, G. **Análisis de la deforestación en Sinaloa, México, mediante técnicas de Percepción Remota y Sistema de Información Geográfica, periodo 1990-2014**. XVI Simposio Internacional SELPER 2014, realizado en Medellín, Colombia, del 29 de septiembre al 3 de octubre de 2014. Disponible en: <http://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Fotogrametria-PDI-Fusion-de-datos/FP3-Analisis-de-la-deforestacion-en-Sinaloa-Mexico.pdf>. Acceso en 06 Jun. 2016.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **Pacto Intersectorial por la Madera Legal en Colombia 2015 - 2018**. Disponible en: <http://www.bosquesflegt.gov.co/publicaciones/periodico%20cinco%202.pdf>. Acceso en 07 de Julio 2016.
- Olaya, V. 2011. **Sistemas de Información Geográfica**. Disponible en: http://wiki.osgeo.org/wiki/libro_SIG. 877 p. Acceso en 12 jun. 2016.
- Ortega, C., Villavicencio, R., Gallegos, A. y Santiago, A. **Análisis de la fragmentación forestal del área de protección de flora y fauna “Sierra de Quila” en el estado de Jalisco, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG)**. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*, 135 – 140. 2005.
- Pacheco, C., Camargo C, Arias, F., Gutiérrez, N., Gámez, L., Vilanova, E. **Utilización del Sistema TerraAmazon para la evaluación de cambios en la cobertura forestal en una cuenca de los Andes venezolanos (1988-2014)**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), realizado en João Pessoa, PB - Brasil, del 25 al 29 de abril de 2015. INPE. Disponible en: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/>. Acceso en 05 de jun. 2016.
- Pacheco, C. y Vilanova, E. **Dinámica de los cambios en la cobertura forestal en 27 municipios de los Llanos Occidentales de Venezuela (1990-2010)**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), realizado en João Pessoa, PB - Brasil, del 25 al 29 de abril de 2015. INPE. Disponible en: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/>. Acceso en 05 de jun. 2016.
- Ramírez P. y González, P. **Diccionario de ciencias ambientales y desarrollo sustentable**. Editorial Los Libros del Nacional. Caracas – Venezuela. 2005. 451 p.
- Riitters, K., J. Wickham, R. O'Neill, B. Jones, and E. Smith. 2000. Global-scale patterns of forest fragmentation. **Conservation Ecology**, v, 4, n.2, p. 3, 2000.
- Vargas, V. Análisis de fragmentación del bosque de roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.) **empleando sensores remotos y SIG, en el sector Peña Lisa, Departamento de Santander, Colombia**. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida – Venezuela. 2015. 193 p.