



Cobertura del suelo bajo metodología *Corine Land Cover* para el bosque de Galilea y su área de influencia, Tolima (Colombia)

Soil coverage under *Corine Land Cover* methodology for the Galilee forest and its area of influence, Tolima (Colombia)

*Daniela Vargas Portela*¹, *Paula Andrea Bernal Pedroza*², *Julián Leal Villamil*³,
*Miguel Ángel Quimbayo Cardona*⁴

Para citar este artículo: Vargas Portela, D., Bernal Pedroza, P.A., Leal Villamil, J., Quimbayo Cardona, M.Á. (2020). Cobertura del suelo bajo metodología *Corine Land Cover* para el bosque de Galilea y su área de influencia, Tolima (Colombia). *UD y Geomática*, (15), 16-24

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448407.15256>

Fecha de envío: 15 de agosto de 2019

Fecha de aceptación: 12 de diciembre de 2019

RESUMEN

El uso de los recursos naturales debe soportarse en una adecuada planificación territorial; en este sentido, las coberturas del suelo son un insumo clave para el entendimiento de los procesos y dinámicas territoriales-ambientales de una determinada región. En este estudio se implementó la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia nivel 3 (CLC-3) como herramienta para la obtención de coberturas del suelo en imágenes *Planet Scope* del año 2017 correspondientes a la región del Bosque de Galilea y su área de influencia (oriente del departamento del Tolima). Mediante procesos realizados en los programas *ArcGIS 10.3* y *ENVI 5.1*, se elaboró un mosaico con las imágenes seleccionadas, se evaluó la separabilidad espectral de las coberturas del suelo y se realizó su clasificación visual a escala 1:25.000; las coberturas interpretadas fueron sometidas a evaluaciones de calidad mediante el índice Kappa. Para el área de estudio se obtuvieron 14 categorías de cobertura del suelo CLC-3 con alta predominancia de bosques densos y baja representatividad en coberturas de tejido urbano, tanto continuo como discontinuo. Los resultados servirán como insumo para la planificación territorial del área de estudio.

Palabras clave: cobertura del suelo, clasificación visual, sistemas de información geográfica, sensoramiento remoto, cartografía, Kappa.

ABSTRACT

The use of natural resources must be supported by adequate territorial planning, in this sense, land cover is an important way to understanding the processes and territorial - environmental dynamics of a determined region. In this study, the *Corine Land Cover* methodology adapted for Colombia level three (CLC-3) was implemented as a tool for obtaining land cover in *Planet Scope* images of 2017 corresponding to the Galilee Forest region and its area of influence (East of the department of Tolima). Through processes carried out in the *ARCGIS 10.3* and *ENVI 5.1* programs, a mosaic was elaborated with the selected images, the spectral separability of the soil cover was evaluated and a visual classification of them was made at a scale of 1: 25,000; The interpreted coverages were subjected to quality evaluations using the Kappa index. For the study area, fourteen categories of soil cover CLC-3 were obtained, with a high predominance of dense forests and low representativeness in both continuous and discontinuous urban fabric coverings. The results obtained will serve as an input for the territorial planning of the study area.

Keywords: classification of the coverage, visual classification, geographic information system, cartography, Kappa.

1 Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. dvargasp@ut.edu.co

2 Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. pabernalpedroza@ut.edu.co

3 Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura Tropical, Ibagué, Colombia. jlealv@ut.edu.co

4 Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Grupo de Investigación en Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas Tropicales (Gibdet). miguelq@ut.edu.co

Introducción

El análisis de los cambios de cobertura del suelo en cualquier territorio conlleva a comprender cómo interactúan los diversos factores socioeconómicos y biofísicos que en él se encuentran (Pineda *et al.*, 2011). El estudio del cambio de cobertura es importante para la planeación y utilización de los recursos naturales; el sensoramiento remoto (SR) se ha convertido en una herramienta para detectar, analizar y modelar los procesos físicos en la tierra, mediante el uso de información geoespacial (Mallupattu y Sreenivasula, 2013). Los estudios enfocados a la dinámica de las coberturas del suelo han implementado los sistemas de información geográfica (SIG) y el SR para la estimación de cantidades, localización y tipo de cambios presentados por las coberturas en el tiempo (Weng, 2002). La cartografía de coberturas del suelo, al ser un resultado obtenido por SIG y SR, debe ser sometido a evaluaciones de exactitud temática para su confiabilidad y veracidad (Mas, Reyes y Pérez, 2003).

Jiménez (2018) menciona que muchas instituciones públicas y privadas en Colombia han generado información valiosa utilizando los SIG como herramienta fundamental para la toma de decisiones locales, regionales y nacionales. Por esto, las coberturas vegetales de los suelos en un área o región son un componente importante para la definición de conflictos sociales y ambientales dentro del territorio, siendo la razón de ser del ordenamiento territorial, el cual busca evitar los usos del suelo contradictorios y propende por una mejor organización de las diferentes actividades socioeconómicas que se desarrollan en el suelo (Alcaldía Municipal de Boavita, 2002).

El bosque de Galilea es un área de especial interés ambiental porque constituye una de las principales áreas con cobertura vegetal nativa del Tolima, y de donde se obtienen datos cartográficos referentes a tipologías de coberturas del suelo, como bosque denso de tierra firme, bosques primarios sin intervención, bosques primarios intervenidos, sin obtener una suficiente resolución espacial y escala para establecer otras coberturas con un nivel detallado (Cortolima, 2017); por tanto, su planificación territorial es imperante para el adecuado uso de sus recursos naturales y su protección en el tiempo. La presente investigación tuvo por objeto establecer las coberturas del suelo en el Bosque de Galilea y su área de influencia empleando imágenes satelitales *Planet Scope* del año 2017 y la metodología CLC-3.

Área de estudio

El Bosque de Galilea se encuentra localizado en el municipio de Villarrica, oriente del departamento del Tolima, y comprende un área aproximada de 33.000 ha. El área está comprendida entre elevaciones de 850 y 3000 m s.n.m. y la temperatura promedio anual oscila entre 6 °C y 18 °C

(Gómez y Pastrana, 2016). Su zona de influencia comprende las veredas: Alto Torres, La Pepina y San Francisco (Cunday); El Café, El Carmen, El Piñal, Palmira, Riachón y Vegas de Café (Dolores); Mundo Nuevo (Icononzo); Altamira, Bello Horizonte, Buenos Aires, El Cruce y Montoso (Prado); Aguas Negras y Villa Esperanza (Purificación) y Alto Bélgica, Alto Puerto Lleras, Cuatro Mil, Cuinde Blanco, El Paraíso, El Recuerdo, Galilea, Guanacas, La Colonia, La Manzanita, Puerto Lleras, Río Lindo y San Joaquín (Villarrica) (Figura 1).

Metodología

Se seleccionaron diez (10) imágenes *Planet Scope* correspondientes al año 2017 teniendo en cuenta factores como el grado de nubosidad y la disponibilidad de productos para el área; los productos seleccionados tuvieron una resolución espacial de 3,12 m y espectral de 4 bandas (azul 455-515 nm, verde 500-590 nm, rojo 590-670 nm y NIR 780-869 nm); así mismo, las imágenes contaron con ortorrectificación y calibración radiométrica y geométrica provista por el fabricante. Para efectos prácticos, toda la información cartográfica de la investigación fue establecida en el sistema de referencia MAGNA Sirgas Colombia origen Bogotá, EPSG:3116.

Con la herramienta *Seamless mosaic* del programa *ENVI 5.3* (SIG, análisis de datos espaciales y plataforma de ubicación) se realizó un mosaico a color balanceado a partir de las imágenes seleccionadas. Se calculó la separabilidad espectral de las coberturas presentes en el área de estudio por medio de la divergencia transformada (Jeffries-Matusita) y evaluándola mediante los índices propuestos por Richards y Jia (2006) (>1,9: excelente separabilidad espectral; 1,5-1,9: buena separabilidad; y <1,5: mala separabilidad espectral). Con base en los resultados de la separabilidad espectral se procedió a establecer el método más adecuado para la clasificación de las coberturas del suelo del área de estudio. En este sentido, IGAC (2009) establece que en zonas con buena separabilidad espectral (menor complejidad de coberturas), las coberturas pueden determinarse mediante algoritmos de clasificación supervisada o no supervisada; caso contrario, en zonas de baja separabilidad espectral, se plantea el uso algoritmos de clasificación supervisada o clasificación visual directa sobre el territorio.

Posteriormente, usando *ArcGIS 10.3* se establecieron los polígonos de cobertura del suelo para el área de estudio, teniendo en cuenta el área mínima cartografiable requerida para mapear las coberturas a escala 1:25.000 (1 ha) y empleando el mapa de coberturas del Tolima (Universidad del Tolima y Gobernación del Tolima, 2016) y una imagen en línea *World View* (2013) como apoyo. A su vez, las entidades poligonales de coberturas del suelo generadas en la clasificación fueron sometidas a validación topológica y se empleó la restitución coloreada oficial CLC-3 para cada cobertura del suelo.

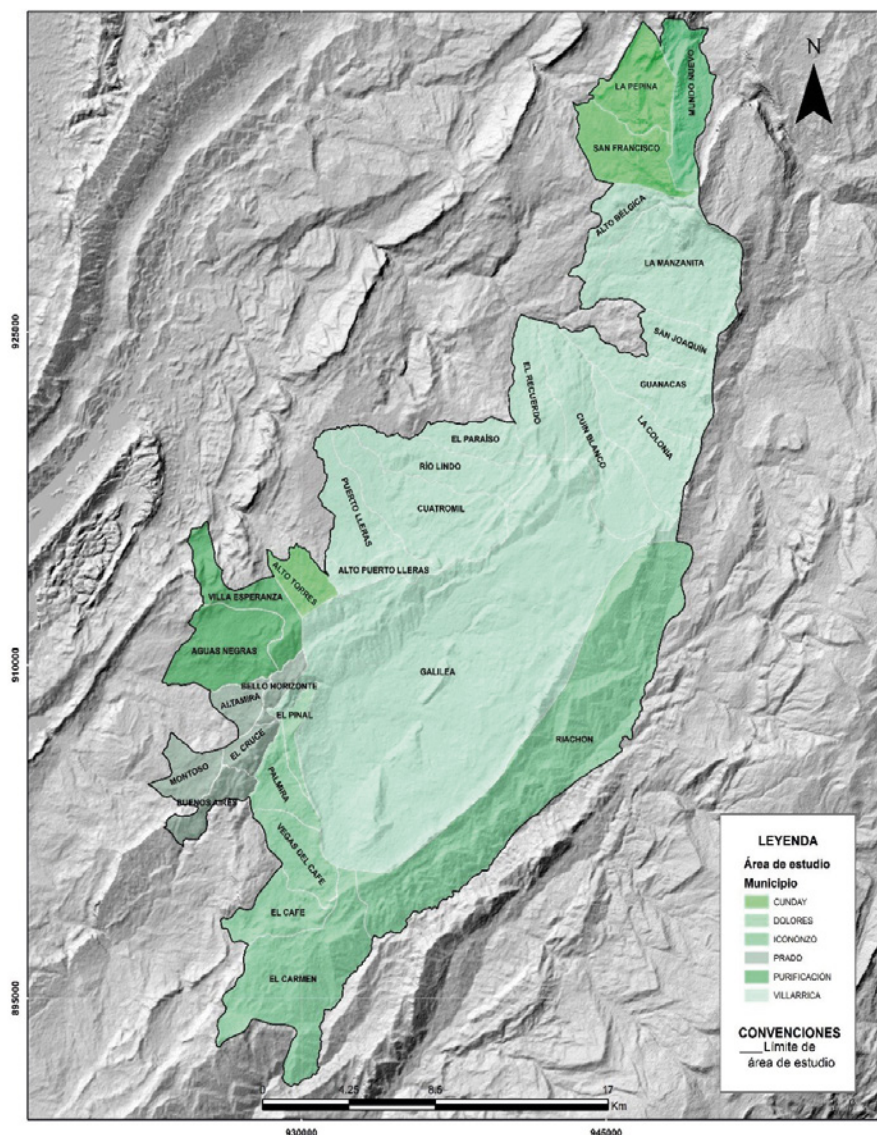


Figura 1. Localización del área de estudio

Fuente: Autores

Para evaluar la calidad temática del mapa de coberturas del suelo, se establecieron los criterios de la Norma Técnica Colombiana 5043 (ICONTEC, 2002); para tal fin, se verificó la información en campo con 104 puntos de observación, labor en la que se empleó un colector Juno SB para ubicar las coordenadas de cada punto en campo. Se realizaron las evaluaciones del tipo de cobertura presente y se efectuó su respectivo registro fotográfico. Con base en los datos de verificación en campo, y tomando en cuenta los lineamientos de la NTC 5043, la exactitud temática del mapa de coberturas del suelo fue evaluada mediante una matriz de incertidumbre que relacionara los elementos identificados en las imágenes satelitales respecto a los visitados en campo; la calidad de la interpretación se evaluó mediante el índice de concordancia Kappa (Landis

y Koch, 1977), donde un valor Kappa $< 0,00$ es pobre; $> 0,00-0,20$, leve; $0,21-0,40$, aceptable; $> 0,41-0,60$, moderada; $0,61-0,80$, considerable y $0,81-1,00$, casi perfecta. Una vez realizadas las verificaciones en campo y obtenidos los resultados de calidad del producto, se hicieron los ajustes pertinentes y se obtuvo el mapa de cobertura del suelo para el Bosque de Galilea y su área de influencia.

Resultados

Empleando las diez imágenes *Planet Scope* del año 2017 y el programa *ENVI 5.3* se obtuvo un mosaico con balance de color para el área de estudio (Figura 2). Los resultados de separabilidad espectral de las coberturas del suelo

presentes en la zona demostraron en estas una mala separabilidad espectral (divergencia transformada equivalente a 0,93) (Figura 3), lo cual estableció que el método de clasificación más acorde fuese la interpretación visual de las coberturas sobre los productos satelitales.

Con el resultado de la clasificación visual de las coberturas empleando CLC-3 y la respectiva validación topológica de las entidades creadas, se obtuvo el mapa preliminar de coberturas del suelo (Figura 4). El mapa demostró una alta ocupación por parte de la cobertura de bosque denso (59,69 %) y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (10,38 %); de modo opuesto, las coberturas con menor

extensión correspondieron a zonas quemadas (0,03 %) y tejido urbano continuo y discontinuo (0,02 % y 0 01 %, respectivamente).

La verificación de la exactitud temática del mapa preliminar de cobertura del suelo fue establecida mediante la matriz de incertidumbre presentada en la Tabla 1. En general, la interpretación visual de las coberturas de bosque denso, bosque fragmentado, pastos limpios mosaico de pastos y cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales, mosaico de cultivos y espacios naturales y vegetación secundaria o en transición fue muy buena, donde se llegó a obtener

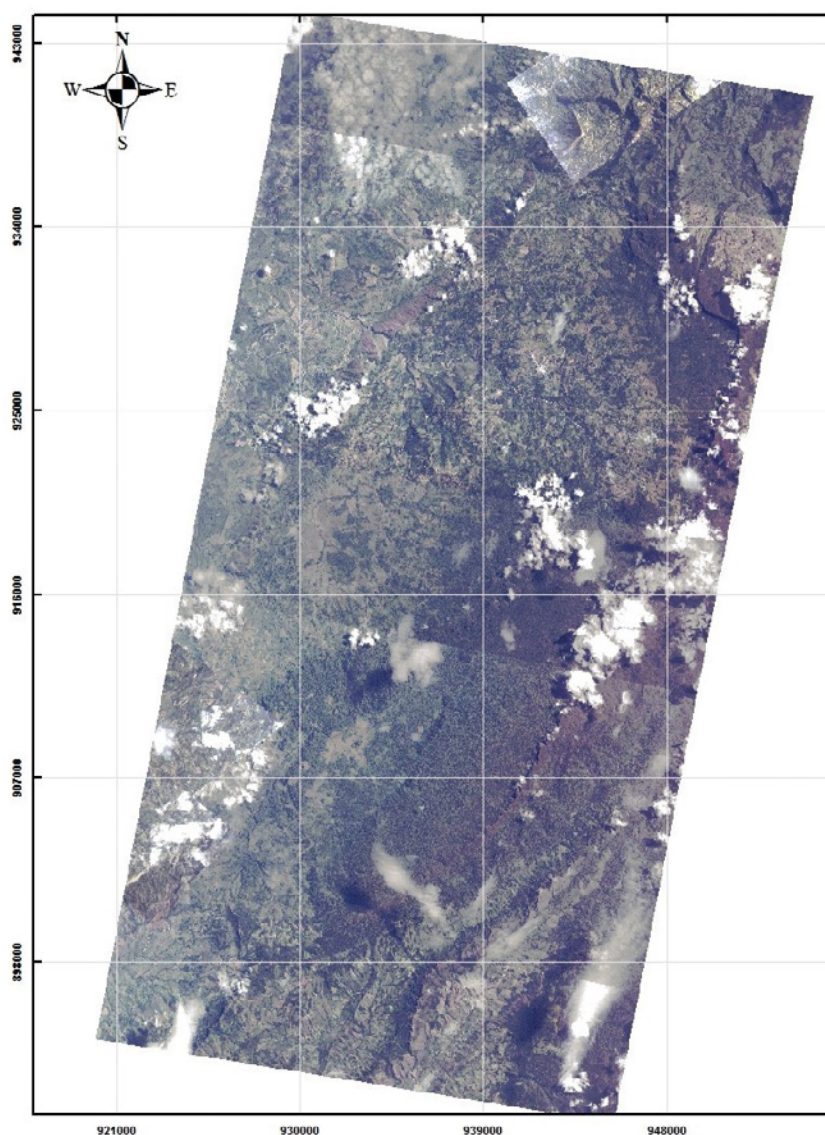


Figura 2. Mosaico de imágenes *Planet Scope* año 2017

Fuente. Autores

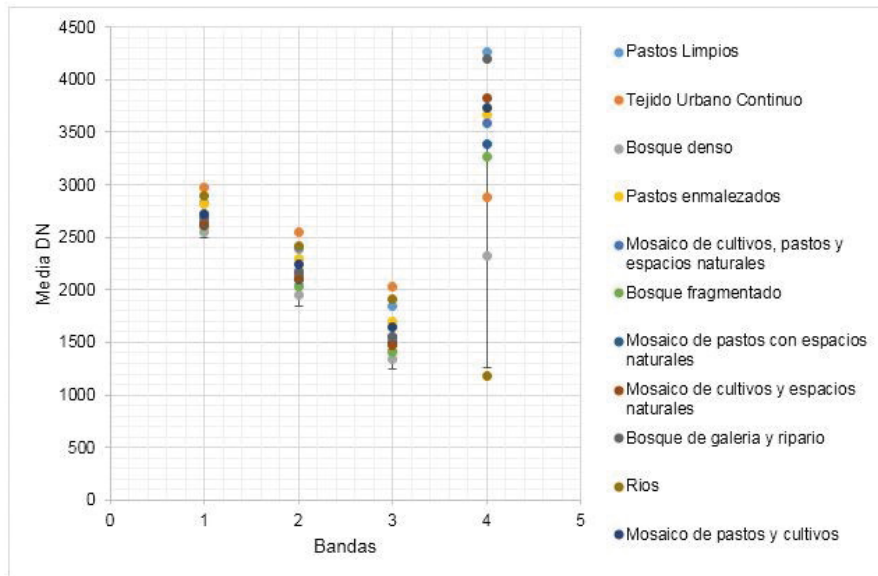


Figura 3. Diagrama de separabilidad espectral para las coberturas del suelo presentes en el área de estudio

Fuente: Autores

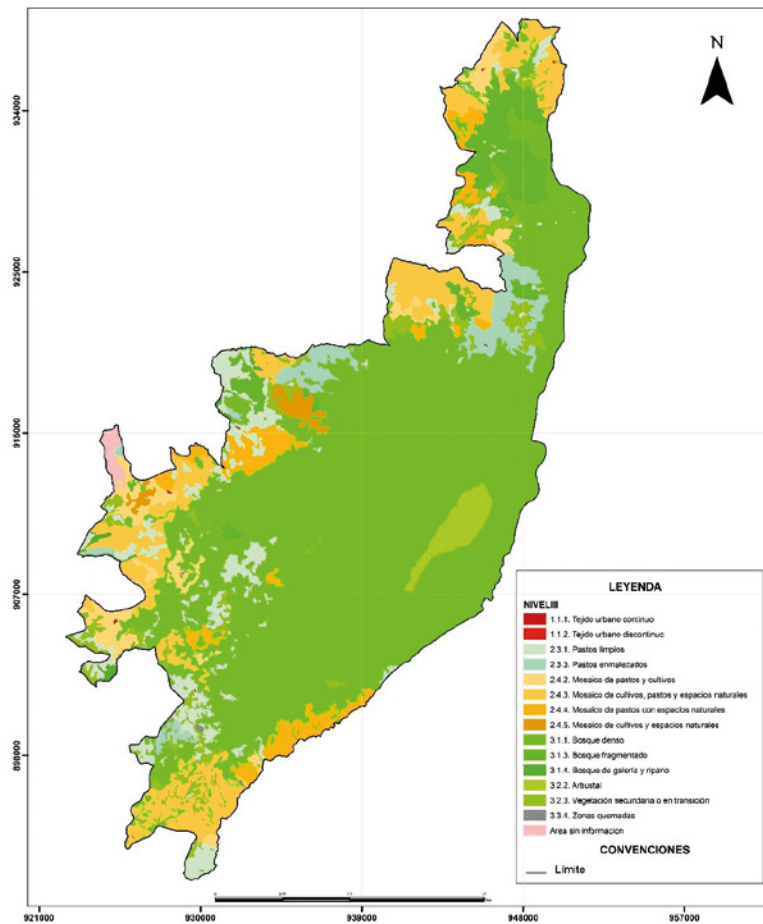


Figura 4. Mapa preliminar de cobertura del suelo para el bosque de Galilea y su área de influencia

Fuente: Autores

asertividades de hasta el 100 %. Por otra parte, hubo un alto grado de dificultad para interpretar visualmente la cobertura de pastos enmalezados, ya que la asertividad en la validación temática alcanzó incluso valores de 0 %.

El índice Kappa obtenido para el ejercicio de validación temática registró un valor de 76,63 %, lo cual, de acuerdo con los planteamientos de Landis y Koch (1977), equivale a una clasificación casi perfecta. Tomando los resultados de la evaluación de calidad temática, se ajustaron las coberturas de suelo del mapa preliminar y con ello se consiguió el mapa final de coberturas de suelo para el área de estudio (Figura 5). En tal sentido, la cobertura predominante es bosque denso, y las menos comunes son zonas quemadas y tejidos urbanos continuo y discontinuo (Figura 6).

Discusión

El clasificador de máxima verosimilitud no fue la opción más acertada para la obtención de información de coberturas, ya que se maneja gran cantidad de coberturas; por

tanto, no hubo una separabilidad espectral alta, en cambio, sí se observó baja separabilidad entre las coberturas manejadas. De este modo, de acuerdo con Lang et al. (2008), la precisión de la clasificación supervisada tiene cierto nivel de subjetividad que está dada por el entrenamiento de los datos, por ende, afecta el resultado final de la clasificación.

En cuanto a la calidad de los datos, se recomienda ampliamente el índice de asertividad Kappa, en aras de aceptar o no un insumo final, debido a que en el estudio se registró un resultado de 76,63 % en asertividad, rango común (considerable) entre índices de asertividad de mapas de coberturas del suelo (Landis y Koch, 1977). La clasificación supervisada y los índices de confiabilidad son herramientas necesarias para la aceptación de cartografía. Ariza et al. (2014), en el mapa de coberturas de bosque seco tropical en Colombia escala 1: 100.000, efectuaron clasificaciones digitales. Los resultados se analizaron respecto a cartografía temática digital del área real del bosque seco tropical en Colombia y con los puntos de muestreo se evaluaron la exactitud temática del mapa, la calibración de la clasificación y el estadístico de confianza (índice Kappa);

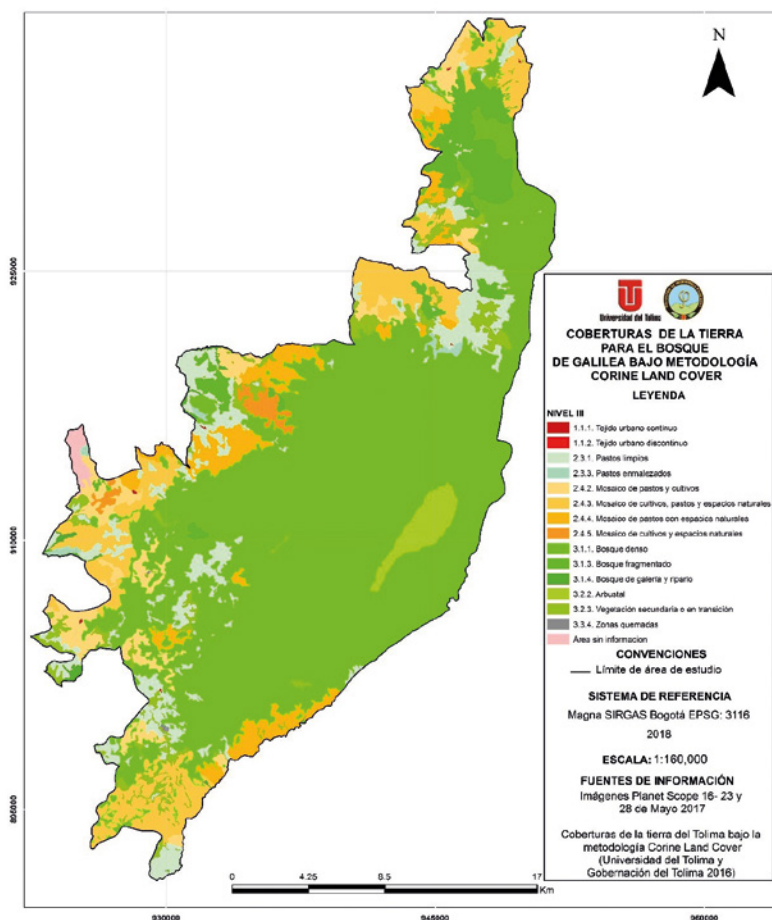


Figura 5. Mapa final de cobertura del suelo para el bosque de Galilea y su área de influencia

Fuente: Autores

Tabla 1. Matriz de incertidumbre para la evaluación de la calidad temática del mapa preliminar de cobertura del suelo en el Bosque de Galilea y su área de influencia.

	Verdad imagen/ categorías de mapa										Aserti- vidad (%)	
	Bosque denso	Bosque fragmentado	Pastos limpios	Pastos enmalezados	Mosaicos de pastos y cultivos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mosaico de pas- tos con espacios naturales	Mosaico de cultivos y espacios naturales	Vegetación secunda- ria o en transición	TOTAL		
Bosque denso	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	100.00%
Bosque fragmentado	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100.00%
Pastos limpios	0	0	17	9	0	0	0	0	0	0	26	65.38%
Pastos enmalezados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Mosaicos de pastos y cultivos	0	0	0	3	29	2	0	0	0	0	34	85.29%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	17	100.00%
Mosaico de pastos con espacios naturales	0	0	0	6	0	0	8	0	0	0	14	57.14%
Mosaico de cultivos y espacios naturales	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	100.00%
Vegetación secundaria o en transición	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	100.00%
TOTAL	6	2	17	18	29	19	8	2	3	3	104	
Aserti- vidad (%)	100.00%	100.00%	100.00%	0.00%	100.00%	89.47%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	
Número muestras	104											
Suma diagonal (Acertadas)	84											
Sumas productos cruzados	1916											
Kappa (%)	76.63%											

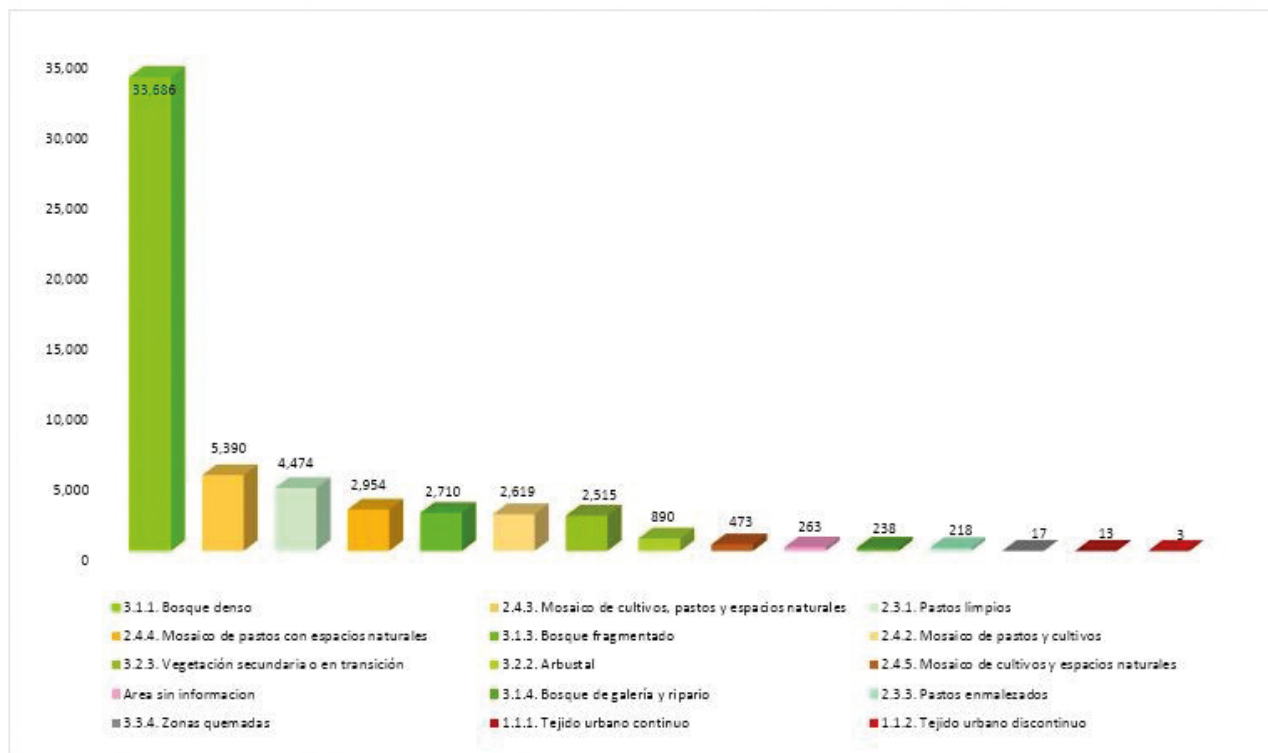


Figura 6. Extensión (ha) de las coberturas del suelo para el bosque de Galilea y su área de influencia.

Fuente: Autores

lo cual arrojó un resultado de 76,10 %, mejor que lo esperado aleatoriamente.

La cobertura que predomina en este estudio a escala 1:25.000 es bosque denso (59,66 %), y la que menos predomina es tejido urbano discontinuo (0,01 %). Por otro lado, el mapa de coberturas de la tierra del departamento del Tolima escala 1:100.000 determinó que para la zona del presente estudio la cobertura que predomina es bosque denso con 45,35 % y la que menos predomina es tejido urbano continuo (0,01 %). A pesar de la diferencia en las escalas, los porcentajes de las coberturas de los dos estudios se relacionan. Los análisis de cobertura del bosque de Galilea en donde se identifican áreas intervenidas permiten reconocer estrategias de manejo y conservación para la restauración ecológica en pro de la recuperación de la cobertura. De igual modo, para el área de estudio se pueden implementar planes de manejo para evitar la ampliación de la frontera agrícola y ganadera en la cobertura de pastos.

Conclusiones

La elaboración del mosaico con imágenes es una herramienta importante para la generación de mapas de coberturas del suelo, permitiendo una adecuada interpretación.

La clasificación supervisada de máxima verosimilitud no es adecuada para zonas donde se encuentran una gran

variedad de coberturas del suelo, se recomienda interpretación visual.

En el Bosque de Galilea y su área de influencia se identificó que predomina la cobertura de bosque denso, mientras que el tejido urbano discontinuo es el de menor presencia.

En el área del Bosque de Galilea existen procesos de presión que repercuten en el cambio de tipo de cobertura, reflejados en otras coberturas dentro del bosque.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Boavita (2002). *Esquema de Ordenamiento Territorial Boavita Boyacá 2002-2010*. Boavita, Boyacá.
- Ariza, A., Isaacs, P. y González, R. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia. Memoria técnica para la validación del mapa de coberturas de bosque seco tropical en Colombia (escala 1: 100.000, 2.0 v)*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima) (2017). Una apuesta a la conservación del Bosque de Galilea. *Mesa Ciudadana Ambiental*, 1(1), 1-22. Dolores, Tolima.

- Gómez, E. y Pastrana, E. (2016). *Estrategias de conservación comunitaria como contribución al desarrollo ambiental sostenible del bosque de Galilea, en el oriente del departamento del Tolima*. [Tesis de pregrado]. Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2002). Norma Técnica Colombia 5043 (NTC). *Información geográfica. Conceptos básicos de calidad de los datos geográficos*. Bogotá, D.C., Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2009). *Criterios de interpretación visual de imágenes satelitales. Principio de clasificación digital*. Curso de Fundamentos de Percepción Remota. Bogotá, D.C., Colombia: Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica, Grupo de Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas.
- Jiménez, L. (2018). *Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra del páramo Rabanal-río Bogotá y su condición frente a los escenarios de cambio climático, utilizando sistemas de información geográfica*. [Tesis de especialización]. Gerencia Ambiental. Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Landis, J. y Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lang, R., Shao, G., Pijanowski, B. y Farnsworth, R. (2008). Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data-assisted labeling approach. *Computers & Geosciences*, 34(12), 1877-1885.
- Mallupattu, P.K. y Sreenivasula, J.R. (2013). Analysis of land use/land cover changes using remote sensing data and GIS at an Urban Area, Tirupati, India. *The Scientific World Journal*, 1-6.
- Mas, J.F, Reyes, J. y Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 51, 53-72.
- Pineda, N.B. et al. (2011). Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del Estado de México en el período 1993-2000. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 9-34.
- Richards, J. y Jia, X. (2006). *Image classification methodologies. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Canberra, Australia. Springer.
- Universidad del Tolima y Gobernación del Tolima (2016). *Mapa de coberturas de la tierra del Departamento del Tolima: metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000 periodo 2015*. Ibagué, Tolima, Colombia.
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*, 64(3), 273-284.

