

CLASIFICACIÓN, MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS RELICTOS BOSCOSOS EN LA ZONA PROTECTORA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CATANIAPPO, AMAZONAS, VENEZUELA

Yessica Desiree Mujica Coronel¹; Rangel Ronald²; Juan López³

¹Ingeniero Forestal

²Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

E-mail: rangelronald794@gmail.com

³Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

Recibido: 14/06/2022
Aceptado: 07/04/2023

RESUMEN

Se realizó un análisis multitemporal de los cambios de uso y coberturas del área a través de imágenes satelitales (Landsat 8TM+) de la zona protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo, obtenidas en los años 2013 y 2017 (escala 1:25000). Los objetivos fueron clasificar, mapear e identificar los relictos boscosos presentes en el área. Para la clasificación se usaron tres categorías: (i) bosque, (ii) vegetación saxícola y (iii) otros. Para identificar la estructura y composición de las comunidades boscosas del área de estudio se establecieron tres parcelas de 0,1 ha (50 x 20 m). En cada parcela, se midieron todos los individuos de especies arbóreas con un diámetro a la altura de pecho (DAP) ≥ 10 cm. Se estimaron las diversidades alfa y beta, el índice de valor de importancia (IVI%), el índice de importancia familiar (IIF%). Se realizó un análisis de conglomerados para determinar si existían similitudes florísticas entre categorías. La categoría que presentó mayor superficie fue la de bosque con 259,4 km². Mientras que las categorías que presentaron menor superficie fueron: vegetación saxícola con 100,9 km² y otros con 228,7 km². Se registraron 114 individuos, clasificados en 14 familias, 25 géneros y 26 especies. El índice de diversidad de Shannon-Wiener fue 2,79. La densidad promedio del bosque fue 250 individuos ha⁻¹. Las familias Anacardiaceae y Leguminosae fueron las más representadas para el IIF%. La especie *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. obtuvo el mayor IVI%. Se discuten aspectos florísticos, ecológicos de las especies registradas y se presenta un listado.

Palabras clave: índice de valor de importancia, índice de importancia familiar, estudio multitemporal, uso y cobertura, Río Cataniapo.

CLASSIFICATION, MAPPING AND GENERAL CHARACTERIZATION OF FORESTED REMAINS IN THE PROTECTIVE ZONE OF CATANIAPPO RIVER HYDROGRAPHIC, AMAZONAS, VENEZUELA

ABSTRACT

A multitemporal analysis of the changes in use and coverage of the area was carried out through satellite images (Landsat 8TM+) of the protective zone of the Cataniapo River, obtained in the years 2013 and 2017 (scale 1:25000). The objectives were to classify, map and identify the forest remnants present in the area. For the classification three categories were used: (i) forest, (ii) saxicolous vegetation and (iii) others. To identify the structure and composition of the forest communities within the study area, three plots of 0.1 ha (50 x 20 m) were established. In each plot, all individuals of tree species with a diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm were measured. Alpha and beta diversities, the importance value index (IVI%), family importance index (IIF%) were estimated. A cluster analysis was performed to determine if there were floristic similarities between forest types. The category with the largest area was Forest with 259.4 km². While the categories that presented less area are: Saxicolous Vegetation with 100.9 km² and others with 228.7 km². A total of 114 individuals were registered, classified in 14 families, 25 genera and 26 species. The Shannon-Wiener diversity index was 2.79. The average density of the forest was 250 individuals ha⁻¹. The families Anacardiaceae and Leguminosae were the most represented for the IIF%. The specie *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. obtained the highest IVI%. Floristic and ecological aspects of the registered species are discussed and a list is presented.

Key words: importance value index, family importance index, multi temporal study, use and coverage, Cataniapo river.

INTRODUCCIÓN

La disminución de la vegetación natural genera graves consecuencias al medio que resultan globalmente en efectos como es el calentamiento global, el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad, la cual se acentúa en forma alarmante en los bosques y selvas tropicales (Velásquez *et al.*, 2002). Esta pérdida se debe, en gran medida, a los cambios en el uso de la tierra y procesos de deforestación, que, a su vez, se relacionan con el aumento de las actividades humanas que generan presión sobre recursos naturales (suelo, agua, alimentos, energía, etc.) y, consecuentemente, la degradación del suelo (Guerrero y Moreno, 2015; Farnum y Murillo, 2019). Los grandes espacios deforestados son muy estudiados en análisis multitemporales del uso del suelo en las zonas tropicales debido a las altas tasas de biodiversidad que albergan y al balance ecológico que aportan (Márquez *et al.*, 2005).

América Latina y el Caribe son consideradas las regiones con mayor biodiversidad. Por ello uno de sus principales desafíos ha sido detener la pérdida de especies de estos territorios, provocada, en gran medida, por la destrucción de hábitats y la degradación del suelo. Según Munita (2007), las selvas tropicales y los bosques pluviales podrían desaparecer dentro de 100 años si continua el ritmo actual de deforestación. La deforestación genera irremediables consecuencias no solo sobre el ambiente, sino también sobre reservas boscosas que son importantes para el desarrollo de los países y sus industrias (Valero, 1997).

Además, las cuencas hidrográficas a nivel mundial, regional y local sufren de manera progresiva un fuerte deterioro, producto del fuerte crecimiento poblacional y su demanda. Las acciones antrópicas como las deforestaciones, la contaminación e incendios al bosque natural, son asociadas a condiciones de fragilidad natural del medio, lo que hace parte de los principales problemas ambientales que se plantean en casi todas las cuencas hidrográficas (Ramírez, 2017).

El establecimiento de áreas naturales protegidas, donde se hace la exclusión de toda actividad humana, constituye una estrategia para la conservación de la biodiversidad (Guevara y Laborde, 2008). En Venezuela, la Zona Protectora Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), enmarcada como Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), según el Decreto Presidencial N° 2.314 de 1992 (GOV, 1993), no escapa de esta realidad, producto del alto grado de intervención y un mínimo control de manejo. Por otra parte, el aumento

demográfico y de la expansión agrícola (conucos) promueven la deforestación de los relictos boscosos presentes en el área perjudicando a las nacientes de agua. Este conjunto de elementos está ocasionando cambios ambientales en las cabeceras de la cuenca, lo que a su vez genera una serie de conflictos de uso en el orden social y político administrativo. En consecuencia, se espera que la pérdida de la cobertura vegetal boscosa genere cambios severos en la regulación hídrica, erosión, contaminación, variación del nivel freático, deslizamientos de suelo.

La ZPCHRC, no obstante, no cumple con los requisitos de ordenación de uso de la cuenca para la cual fue creada. Por ello, este trabajo tuvo por objetivo clasificar, mapear e identificar los relictos boscosos presentes en el área, mediante (i) el análisis de imágenes satelitales (Landsat 8TM+) obtenidas en los años 2013 y 2017 y (ii) la realización de relevamientos de especies, con el fin de evaluar los cambios de cobertura y uso de la tierra, y de analizar su nivel de deterioro ambiental.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área bajo estudio tiene una superficie aproximada de 153.402 ha (MARN, 2000, 2005) y se encuentra dentro de la ZPCHRC, en el Municipio Atures del estado Amazonas (Venezuela), al sureste de la ciudad de Puerto Ayacucho (Figura 1). Se extiende desde la serranía Cuao-Sipapo al sur (67° 26'W-5° 25' N), al norte con la cuenca del Río Parhuaza (67° 09' O - 5° 43' N), al este con la cuenca del Río Ventuari (67° 05' O - 5° 37' N), al oeste el límite es el puente de Cataniapo (67° 35' W - 5° 36' N) (MARN, 2005).

La ZPCHRC se ubica a 200-500 m s. n. m., y presenta valores promedios de precipitación de 2.632 mm (MARN, 2005). La topografía del terreno incluye montañas bajas, colinas altas y bajas, cerros rocosos, lomas, valles coluvio - aluviales, afloramientos rocosos y vegas de río. Los suelos, clasificados como Ustortent lítico, son muy pobres, y constituyen verdaderos esqueletos minerales que juegan el papel de soporte y donde solo el horizonte superior (A) es relativamente fértil.

Según la clasificación de Holdridge (1967), la cuenca del Río Cataniapo se encuentra dentro de la zona de Vida del Bosque Húmedo Tropical (Bht). Las principales formaciones vegetales son: bosque, sabana y vegetación de laja. Se pueden diferenciar así los siguientes tipos de vegetación: bosque bajo denso, bosque medio denso, bosque alto ralo, bosque de galería, bosques

ribereños, vegetación de laja, sabana abierta, sabana con chaparro y vegetación secundaria, esta última como consecuencia de la actividad antrópica. El cauce principal del Río Cataniapo tiene un recorrido aproximado de 108 Km de longitud, equivalentes a 67,5 km en línea recta. El Cataniapo, junto con el Autana, el Cuao, el Sipapo y el Guayapo, constituyen los principales ríos cortos de montaña, afluentes del Río Orinoco en su Cuenca media. El Río Cataniapo tiene como afluentes principales los caños Colorados, Gavilán, Culebra Danto, Manuare, Pintao y Tigre. Además, el área de estudio presenta un microrelieve accidentado y pendientes variables entre el 0-15%.

Diseño del relevamiento

Se instalaron tres parcelas (en adelante, P1, P2 y P3) de 1.000 m² (50 x 20 m), de acuerdo con Dezzeo *et al.* (2008), Alvarado (2008), Leython y Ruiz (2006), Díaz *et al.* (2010, 2012), quienes encontraron que esta superficie es adecuada para el estudio de la composición florística en

este tipo de ambientes. Cada parcela se dividió en cuadrículas de 250 m² (10 x 25 m), para facilitar el inventario dentro del área de estudio y así evitar medir en más de una oportunidad a un mismo individuo, buscando así también poder observar la frecuencia de las diferentes especies arbóreas dentro del área. Como restricciones se estableció (i) un mínimo 25 m de efecto de borde y (ii) que la distancia para la ubicación de cada parcela tuviese una longitud de separación mínima de 150 m.

En cada parcela se registraron todos los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 10 cm (Vincent *et al.*, 2000; Osorio *et al.*, 2019), tomando en cuenta los siguientes parámetros: (i) identificación de la especie, (ii) parcela (número de aparición), (iii) subparcela (número de aparición), (iv) DAP, (v) altura en metros (total, fuste y copa). Para realizar la identificación botánica, se tomaron muestras representativas para su posterior procesamiento y determinación en el laboratorio de Dendrología del MINEA-

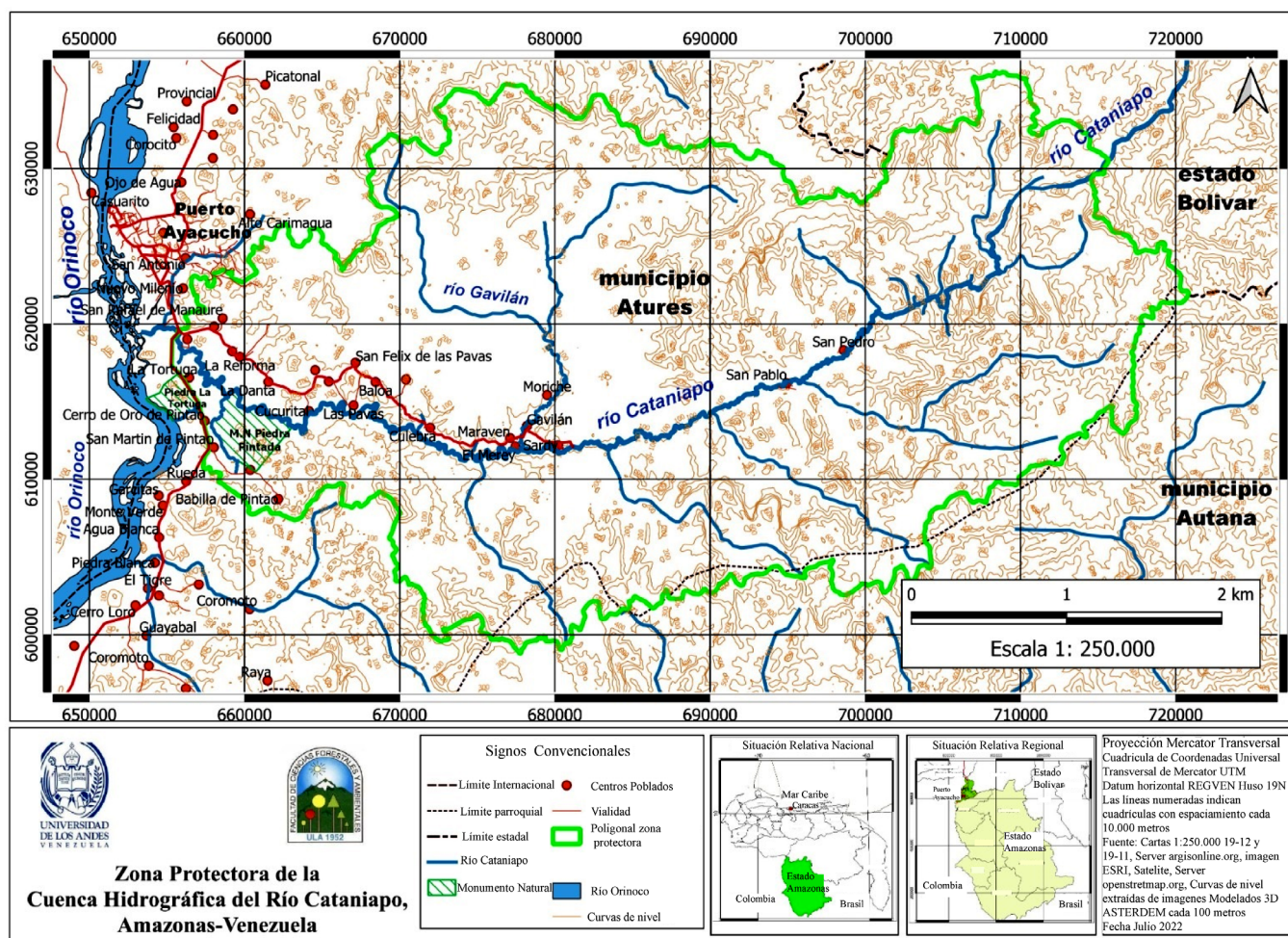


Figura 1. Ubicación relativa nacional y estatal del área establecida para el relevamiento florístico en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Amazonas. En total, se recolectaron y preservaron tres muestras por especie en el herbario. Los nombres científicos de las diferentes especies se determinaron utilizando como referencia bibliográfica la plataforma "online" de Word Flora (WF, 2023).

Procesamiento de los datos

Con los datos obtenidos se realizó una caracterización estructural de los tipos de bosque a través de la determinación de: índice de importancia familiar (IIF%), coeficiente de mezcla (CM); índice de valor de importancia (IVI%) (Curtis y McIntosh, 1951); por parcela, por especie. También se estimaron los índices de diversidad alfa de Margalef, Shannon-Wiener y Simpson. Para comparar las comunidades de las parcelas (P1, P2, P3) se utilizó el índice de diversidad beta de Jaccard. Adicionalmente se realizó un análisis de conglomerados (cluster), aplicado sobre las tres parcelas utilizando el método de clasificación "Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic" (UPGMA, por sus siglas en inglés) (Bray-Curtis) que se basa en la identificación de las parejas más similares y el cálculo de la media de las distancias entre ellas. Las estimaciones se realizaron con el programa PAST3 (versión 1.0.0).

Cálculo de los índices

A continuación, se describen los índices estimados:

(i). *Índice de importancia familiar (IIF%)*: permite resaltar la importancia ecológica de una familia dentro de un área de muestreo y se estima según la Ecuación 1.

$$IIF\% = \frac{\text{Número de especies en la familia} \times 100}{\text{Número total de especies}^{-1}}$$

[Ecuación 1]

(ii). *Coefficiente de mezcla (CM)*: es un indicador de la homogeneidad o heterogeneidad del bosque, relacionando el número de especies y el número de individuos totales ($S:N$ o S/N). El CM permite tener una idea general de la intensidad de mezcla, es decir, de la forma como se distribuyen los individuos de las diferentes especies dentro del bosque. Los valores del cociente de mezcla dependen fuertemente del diámetro mínimo de medición y del tamaño de la muestra, por lo cual, sólo se debe comparar ecosistemas con muestreos de igual intensidad (Alvis, 2009).

$$CM = S \times N^{-1} = \frac{(S/S)}{(N/S)}$$

[Ecuación 2]

donde, S es el número total de especies en el muestreo y N es el número total de individuos en el muestreo.

(iii). *Densidad relativa ($Ai\%$)*: es la relación porcentual del número de individuos de la especie con respecto al total de individuos de la unidad de muestreo.

$$Ai\% = (Ai \times At^{-1}) \times 100$$

[Ecuación 3]

donde, Ai corresponde al número de individuos de una especie en una unidad de muestreo y At es el número total de individuos de todas las especies dentro de una unidad de muestreo.

(iv). *Frecuencia relativa ($Fi\%$)*: es la relación porcentual entre la frecuencia de una especie (Fi) y la suma de frecuencia de todas las especies (Ft).

$$Fi\% = (Fi \times Ft^{-1}) \times 100$$

[Ecuación 4]

donde, Fi es la relación porcentual entre el número de subunidades de muestreos en que aparece una especie y el total de subunidades de muestreo.

(v). *Área basal (AB)*: es una medida indirecta de la biomasa y de la productividad de un sitio; se expresa en $m^2 ha^{-1}$ y representa la superficie de una sección transversal del tronco del individuo a la altura de pecho (1,30 m de altura). Es un parámetro muy preciso. No hay solapamiento. Generalmente, se toma la circunferencia a la altura de pecho (CAP; mm) y excepcionalmente el DAP (cm) (Pino *et al.*, 2021). Se calcula según la Ecuación 5.

$$AB = (\pi/4) \times (DAP)^2; AB = (CAP)^2 \times (4\pi)^{-1}$$

[Ecuación 5]

(vi). *Dominancia relativa ($Di\%$)*: es la relación porcentual entre la dominancia absoluta (Di) de una especie con respecto al área basal total de la unidad de muestreo ($Dt = \sum ABi$), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Di\% = (Di \times Dt^{-1}) \times 100$$

[Ecuación 6]

(vii). *Índice de valor de importancia (IVI%)*: se calcula para cada especie a partir de la suma de abundancia, la frecuencia y la dominancia relativas (Curtis y McIntosh, 1951). Es un indicador de la importancia

fitosociológica de una especie dentro de una comunidad (Lozada, 2010). Se expresa en términos porcentuales en una escala de 0 a 100 (Mora *et al.*, 2013), buscando así jerarquizar la dominancia de cada especie en la unidad de muestreo.

$$IVI\% = Ai\% + Fi\% + Di\%$$

[Ecuación 7]

(viii). *Índice de diversidad Margalef (Da)*: toma como suposición una relación funcional entre el número de especies y el número de individuos, transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra (Margalef, 1977). Tiene en cuenta únicamente la riqueza de especies, pero de una forma que no aumente al aumentar el tamaño de la muestra (Valdez *et al.*, 2018). A mayor valor del índice será mayor la riqueza de especies.

$$Da = (S - 1) \times (\log N)^{-1}$$

[Ecuación 8]

donde, S es el número de especies y N es el número total de individuos.

(ix). *Índice de diversidad Shannon-Wiener (H')*: expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra (Magurran, 1988; Cabrera *et al.*, 2018; Pino *et al.*, 2021). Este índice mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar dentro de las unidades de muestreo. Varía de 0 a log base 2 del número de morfoespecies censadas, determinadas por el número de morfoespecies presentes en la comunidad y basándose en la escala logarítmica escogida (Iannacone *et al.*, 2003). A mayor valor de H' mayor diversidad de especies.

$$H' = -\sum_{i=1}^S Pi \ln (Pi)$$

[Ecuación 9]

donde, S es el número de especies y Pi es la proporción de individuos de la especie i.

(x) *Índice de dominancia Simpson (DSi)*: permite evaluar cuál es la especie que se encuentra en mayor proporción en un muestreo (Campo y Duval, 2014; Salazar *et al.*, 2019). Considera la probabilidad que dos individuos de la población tomados al azar sean de la misma especie. Indica la relación existente

entre riqueza y número de especies y la abundancia o número de individuos por especies (Pino *et al.*, 2021).

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S Pi^2}$$

[Ecuación 10]

donde, Pi refiere a la proporción entre el número de individuos de la especie i y el número total de individuos.

(xi). *Coefficiente de similitud de Jaccard (Ij)*: expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad, que se refiere al cambio de especies entre dos estaciones (Pielou, 1975; Magurran, 1988). El intervalo de valores para el índice de Jaccard va de 0, cuando no hay especies compartidas entre ambas estaciones, hasta 1, cuando dos estaciones tienen la misma composición de especies. Este coeficiente se obtuvo según la siguiente expresión (Reyes y Torres-Florez, 2009):

$$I_j = C \times (A + B - C)^{-1}$$

[Ecuación 11]

donde, A es el número de especies presentes en el sitio a, B es el número de especies presentes en el sitio b y C es el número de especies presentes en ambos sitios a y b.

(xii). *Disimilitud Bray-Curtis (BC_{ij})*: cuantifica la disimilitud en la composición entre dos sitios diferentes basadas en conteos en cada sitio (Bray-Curtis, 1957; Caranqui *et al.*, 2016). Es una medida de la diferencia entre abundancia de cada especie presente (Argumedo y Siqueiros, 2008). El valor 1 significa que dos sitios tienen la misma composición (es decir comparten todas las especies), y 0 significa que los dos sitios no comparten ninguna especie. En los sitios donde AC es intermedia (por ejemplo, AC= 0,5), este índice se diferencia de otros índices comúnmente utilizados (Caranqui, 2015; Caranqui *et al.*, 2016). El índice se reduce a $2C/2 = C$, donde la abundancia en cada sitio se expresa como un porcentaje.

$$BC_{ij} = (2C_{ij}) \times (S_i + S_j)^{-1}$$

[Ecuación 12]

donde, C_{ij} es la suma del valor menor para únicamente aquellas especies en común entre ambos sitios, Si

y S_j son el número total de especímenes contados en ambos sitios.

Desarrollo de los mapas de uso y cobertura

Los mapas de cobertura se realizaron interpretando individualmente cada imagen Landsat 8 TM y luego validándolas mediante una matriz de confusión. Para ello, se tomaron los archivos en formato vectorial para los años 2013 y 2017. El esquema metodológico (Figura 2) consistió en la búsqueda y respaldo del material bibliográfico del área de estudio, así como también las imágenes satelitales Landsat 8 TM. Esto su vez fue respaldado por visitas de campo que permitieron delimitar el área de estudio y realizar los relevamientos estructurales de los relictos boscosos dentro de la ZPCHRC. Una vez seleccionadas las imágenes satelitales Landsat 8

para los años 2013 y 2017, se procedió a realizar los mapas de cobertura y las diferentes comparaciones de los cambios ocurridos en el período seleccionado (2013-2017), con el fin de culminar con el análisis de los resultados encontrados. Para el procesamiento de las imágenes satelitales (Cuadro 1) se utilizó el programa QGIS 3.4.4, con un modelo de datos vectorial-ráster y un sistema de proyección UTM-REGVEN, datum 19N a una escala de 1:25000.

Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica

El análisis morfométrico se realizó con el módulo de Morfometría Automatizada de Cuencas (MAC) (Ramírez, 2017) para obtener la delimitación del área de estudio. Este módulo usa comandos de GRAS (Sistema de Soporte de Análisis para Recursos Geográficos, puede soportar

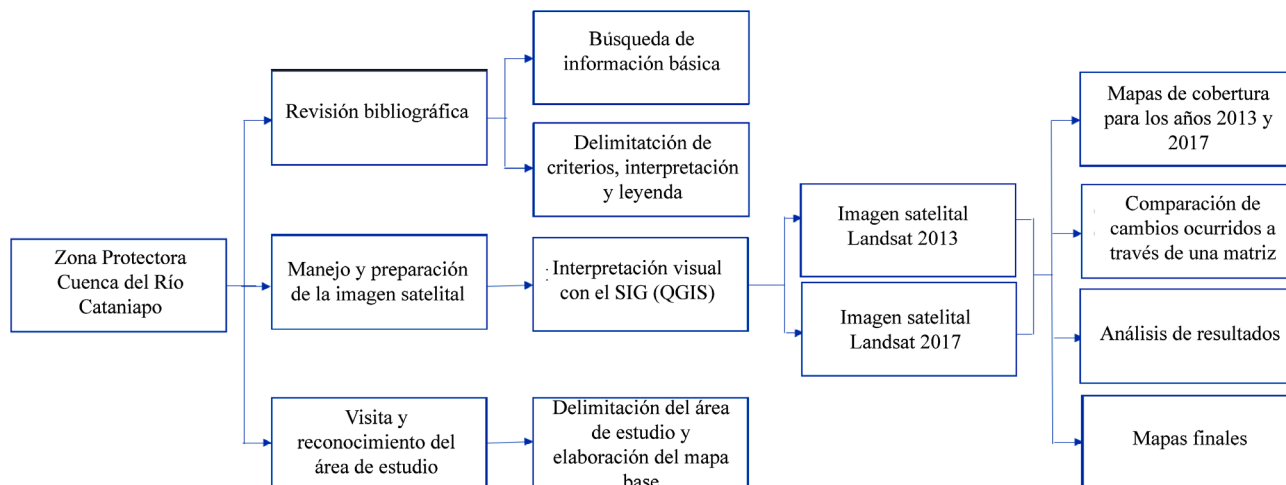


Figura 2. Esquema metodológico usado para los mapas de coberturas de los años 2013 y 2017, para la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Cuadro 1. Criterios cartográficos usados para la elaboración de los mapas de cambios de usos y coberturas para la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Criterios	Características
SIG gestor	Qgis 3.14 y Saga 23.2
Modelo de datos	Tipo Vector y Raster
Unidad mínima de interpretación	1 ha
Sistema de coordenada	Sistema de coordenada universal
Años de referencia	2013 y 2017
Categoría	Bosque, Saxicola y otros
Escala	1:25000

información tanto ráster como vectorial y posee herramientas de procesamiento digital de imágenes), a partir del modelo digital de elevación de una zona derivando la acumulación de flujo. Se estimaron los parámetros morfométricos que conducen a la delineación automática de las cuencas. El parámetro de inicio para la delineación del trazado de drenajes fue de 2.000 píxeles y de esta manera se logró suficiente detalle para generar toda la red de drenajes de la cuenca.

La identificación del área de estudio se obtuvo con el software QSIG 3.4.4, aplicando la herramienta de Open Layer de Google Maps para visualizar las capas vectoriales. Se obtuvo el perímetro de la cuenca, drenaje principal y secundario del área de interés, dando a conocer la naciente principal de la ZPCHRC.

Obtención de las imágenes satelitales y corrección atmosférica

La evaluación y análisis de la dinámica del bosque dentro la cuenca se realizó utilizando cuatro imágenes del sensor multispectral Mapeador Temático (TM+) del satélite Landsat 8TM+ (orto rectificado y georreferenciado, con fechas adquiridas para los 2013 y 2017, cuyas características fueron: resolución espacial (30 m), resolución pancromática (15 m), composición (nueve bandas), con nivel 1 TP de procesamiento. Estas imágenes fueron descargadas de la colección del Instituto de Estudios Geológicos de los Estados Unidos, Earth Explorer (USGS, 2018), el cual ofrece 13 archivos en imágenes satelitales en formato GeotIFF, un archivo con metadatos (MTL) y uno más con una elevación de la calidad de la escena (QA) por lo que pueden ser importados a un software libre SIG (QGIS).

Para la corrección atmosférica se usó la herramienta SemiAutomatic Classification Plugin del software QGIS (para imágenes de Landsat, Sentinel y Aster), a través del Dark Object Substruction (DOS) o sustracción de objeto oscuro, el cual es una familia de corrección atmosférica basadas en imagen.

Clasificación de los tipos de cobertura

Para la clasificación se consideraron tres categorías (Pernía, 1999):

- (i). *Bosque*: es una formación vegetal pluriestratificada en la cual predominan formas de vida arbóreas de por lo menos 5 m de altura y cuyo dosel presenta una cobertura de cierto grado de densidad.
- (ii). *Vegetación saxícola*: son pequeñas comunidades rocosas de tierras bajas y sobre las cimas de los

tepúyes. Una de sus características resaltantes es su alta riqueza en endemismo.

- (iii). *Otros*: está conformada por un mosaico de varias categorías que incluyen pequeñas áreas como suelos descubiertos, cuerpos de agua, sombras, etc.

Esta clasificación del grado de cobertura de la tierra se realizó mediante una interpretación visual de las imágenes según estándares definidos, tales como:

- (i). *Color*: Checa (2015) sostiene que el ojo humano es más sensible a las variaciones cromáticas que a la intensidad luminosa. Si a esto se añade el aumento de información que supone la mezcla de varias bandas del espectro, fácilmente se comprende que el color resulta un elemento básico en la interpretación visual de imágenes de satélite. Entre las múltiples combinaciones de color que se han empleado en análisis visual, la más destacada sin duda es el denominado falso color o infrarrojo color. Para la simbología de las capas se usó el tipo de relleno en gradientes de colores (códigos de color hexadecimal HEX) que por defecto vienen en la librería de QGIS. El color verde (HEX #42963f, HEX #660661) representa la zona de vegetación boscosa, el color rosado (HEX #f99cd, HEX #f3e1e9) representa la unidad de vegetación Saxícola que se caracteriza por una vegetación de gramíneas y afloramientos rocosos, mientras que para la cobertura Otros se destaca el color amarillo (HEX #ffff33, HEX #f5f9a9).
- (ii). *Tono*: hace referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro. También se relaciona con el comportamiento espectral de las distintas cubiertas, para las bandas del espectro sobre las que se trabaje.
- (iii). *Forma*: es la configuración general de los bordes o límites de un objeto u elemento contenido en la imagen, permitiendo la clasificación del mismo para asignarlo a un grupo de formas comunes.
- (iv). *Patrón espacial*: organización peculiar de individuos dentro de la imagen. Existen patrones naturales que, por lo general, poseen formas irregulares, mientras los artificiales presentan formas irregulares y/o líneas y en ocasiones patrones geométricos. El resultado obtenido de cada interpretación fue una nueva imagen en formato vectorial, definido por polígonos y una base de dato que servirá para el análisis de la comparación de matriz de confusión para el producto final de cobertura vegetal del área de estudio.

Clasificación supervisada

Una vez obtenidos los mapas de cobertura vegetal (para los años 2013 y 2017, a escala 1:25000), se aplicó una clasificación supervisada para crear una clase de cobertura vegetal y se definió el área de interés. Esto permitió que la creación de polígonos de interpretación definidos por el operador sea únicamente clasificada por las reglas topológicas dentro del área de estudio. Para la ejecución de la clasificación supervisada se crearon tres tipos de clases (cada una representada por 20 muestras de entrenamiento y 60 muestras de verificación). La calidad de las muestras de entrenamiento se evaluó mediante graficas de frecuencia y dispersión espectral, donde se tomaban las bandas que tenía mayor separación espectral entre tipos de clases. Luego de ser evaluadas las gráficas se seleccionaron las mejores bandas para aplicar el algoritmo en toda la imagen.

Seguidamente se realizó un enmascarado con el Modelo Digital de Elevación (MDE) del área de estudio y el resultado de la clasificación, con la finalidad de obtener la unión de los bosques con los tepuys (*i.e.* tipo de meseta especialmente abrupta, con paredes verticales y cimas relativamente planas, característica del escudo guayanés, principalmente en la zona de la Gran Sabana venezolana). Luego de ejecutar la clasificación con el MDE, se realizó el cálculo de las tablas de contingencias para medir la exactitud del producto cartográfico.

La validación consistió en aplicar un procedimiento y verificación de muestras, que permitió cuantificar los errores y en función a ellos generar su aplicabilidad operativa. Se obtuvo el estadístico Kappa (Cohen, 1960), que mide la precisión o acuerdo basado en la diferencia entre el error de la matriz y el acuerdo en los cambios. Una vez finalizada la clasificación de las imágenes correspondientes a los años estudiados, se evaluó la fiabilidad y calidad de los productos. Para ello, se tomaron 180 puntos muestrales en forma aleatorio sobre las imágenes satelitales. Los puntos fueron utilizados para cada una de las áreas que correspondiesen a lo que el auditor consideraba según la clasificación propuesta (i) bosque, (ii) vegetación saxícola y (iii) otros. De esta manera se inició el proceso de validación con el lenguaje R (versión 4.2.2), lo que proporcionó una evaluación que correspondía entre la realidad espacial y los productos cartográficos que se generaron en la fase de interpretación.

Posteriormente se generó una matriz de confusión, que recogió y combino los problemas presentados en las categorías y tal forma se realizó una evaluación de

confiabilidad de los productos cartográficos a partir de los parámetros estadísticos. Una vez obtenida la información de la base de datos cartográfica y la caracterización del área de estudio, se generó una serie de mapas temáticos del área de estudio, los cuales se describen a continuación:

- (i). *Mapa base*: se tomó como referencia el MDE, para generar curvas de nivel, hidrografía, perímetro de la cuenca, vialidad, centros poblados. Este procedimiento se realizó siguiendo las normas para el diseño de cartografía temática por medio del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSM, 2002).
- (ii). *Mapas de áreas de cambio*: se desarrolló a partir del cruce de los mapas de coberturas/uso (representación de la distribución de los tipos de uso que se le dan a los suelos en el paisaje) obtenidos para los años 2013 y 2017. Este análisis permite señalar las áreas que se han mantenido estables entre pares de fechas y los posibles cambios ocurridos. De esta manera se hizo posible evaluar cualitativa y cuantitativamente el estado de las coberturas entre las dos fechas y definir así las áreas de cambio y permanencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización florística y estructural del área

En el área de estudio de la ZPCHRC se registraron 114 individuos clasificados en 26 especies nativas (Cuadro 2), las mismas pertenecen a 25 géneros y 14 familias. Las 10 primeras familias con mayor IIF% para el área de estudio representaron más del 84,62% del total, de estas Anacardiaceae y Leguminosae son las más importantes con un valor de 19,23%, seguidas por Lecythidaceae con 11,54%, Meliaceae y Euphorbiaceae en tercera posición con 7,69% (Cuadro 3). Por otro lado, las demás familias presentaron valores por debajo de un 4% en el índice, lo que coincide en parte con Díaz *et al.* (2012) quienes reportaron para bosques ribereños del río Kakada en su desembocadura en el río Erebató, estado Bolívar (Venezuela), como principales familias a Euphorbiaceae entre otras. Asimismo, Malagón (2008) encontró que la familia Euphorbiaceae se ubicaba dentro de las familias con mayor presencia en bosques primarios lluviosos submontanos localizados en la Reserva Forestal Galilea, municipio de Villarrica-Tolima (Colombia). En tanto, Ortiz (2020) encontró a las familias Lecythidaceae, Meliaceae y Euphorbiaceae con valores de IIF% superiores al 7%, dentro de un bosque húmedo tropical, en el sur del departamento de Bolívar, Colombia.

Cuadro 2. Listado de especies encontradas en el relevamiento florístico en el área de estudio dentro de la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Especie	Familia	Nombre Vulgar
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	Merey
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Leguminosae	Gateado
<i>Astronium</i> sp.	Anacardiaceae	Desconocido
<i>Bactris major</i> var. <i>major</i>	Arecaceae	Cubarro
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Burseraceae	Indio desnudo
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	Carapa
<i>Cecropia riparia</i> Warb. ex Snethl.	Urticaceae	Yagrumo
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Malvaceae	Ceiba
<i>Couroupita guianensis</i> Aubl.	Lecythidaceae	Coco de mono
<i>Diphysa punctata</i> Rydb.	Fabaceae	Sarrapia
<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	Vochysiaceae	Salado
<i>Gustavia hexapétala</i> Sm.	Lecythidaceae	Palo de muerto
<i>Gustavia</i> sp.	Lecythidaceae	Rabipelado
<i>Handroanthus</i> sp.	Bignoniaceae	Palo de mosquito
<i>Hevea guianensis</i> var. <i>guianensis</i>	Euphorbiaceae	Caucho
<i>Himaranthus</i> sp.	Apocynaceae	Lechero
<i>Inga spuria</i> Will	Fabaceae	Guamo
<i>Licaria cymbarum</i> (Kunth) Pittier	Lauraceae	Sassafras
<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	Mango
<i>Pterocarpus</i> sp.	Fabaceae	Palo de arco
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Sapindaceae	Jaboncillo
<i>Sapium clausenianum</i> Huber	Euphorbiaceae	Lechero
<i>Sclerolobium paniculatum</i> var. <i>paniculatum</i> Vogel	Fabaceae	Guamillo
<i>Spondias mombin</i> var. <i>mombin</i>	Anacardiaceae	Jobo
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	Caoba
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	Cazabe

El análisis del IVI% mostró las 10 especies más importantes, con un total de IVI%= 78,75% (Cuadro 4), constituyendo las más representativas del área estudiada. En general, se observó que las abundancias ≥ 8 individuos se concentraron solo en las primeras cinco especies. De ellas, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. presentó no solo alta abundancia (30 individuos), representando el 26,32%, sino también por su área basal (AB) de 1,2523 m² que corresponde al 42,75% del total. En este sentido, Rojas *et al.* (2021) reportaron diversas especies del género *Inga* en bosques asociados a la especie *Theobroma* en la Amazonía colombiana.

Resulta notorio que las especies *Spondias mombin* var. *mombin* y *Couroupita guianensis* Aubl. con tan solo ocho y nueve individuos, respectivamente, presentaron valores de AB > 0,20 m², valores de IVI% > 7 y rango de importancia en la cuarta y quinta posición. Según Quispe

(2010), la especie *Spondias mombin* L. tiene muy bajo valor comercial dentro de los bosques concesionados en la región de Madre de Dios, Perú. Alvarado *et al.* (2016) reportaron dentro de tres bosques ribereños de la cuenca del río Misora estado Lara-Venezuela, al mismo género (*Bactris*) pero diferente especie entre la primera y segunda posición para el mismo índice (IVI%), debido en gran medida a tener valores de abundancia > 58%. Por otro lado, el resto de las especies presentan valores de AB < 0,10 m². A excepción de *Hevea guianensis* var. *guianensis* que, con tan solo tres individuos, tiene un AB > 0,10 m².

Especies como *Anacardium occidentale* L. y *Mangifera indica* L. fueron reportadas por Ricardo *et al.* (2016) en un estudio realizado en conucos y rastrojos de la etnia Piaroa en la cuenca media del Río Cataniapo, estado Amazonas, Venezuela.

Cuadro 3. Índice de importancia familiar (IIF%) estimado a partir del relevamiento florístico llevado a cabo en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Familias	Géneros	Especies	IIF%
Anacardiaceae	5	5	19,23
Fabaceae	4	4	15,38
Lecythidaceae	2	3	11,54
Euphorbiaceae	2	2	7,69
Meliaceae	2	2	7,69
Apocynaceae	1	1	3,85
Arecaceae	1	1	3,85
Bignoniaceae	1	1	3,85
Burseraceae	1	1	3,85
Lauraceae	1	1	3,85
Leguminosae	1	1	3,85
Malvaceae	1	1	3,85
Sapindaceae	1	1	3,85
Urticaceae	1	1	3,85
Vochysiaceae	1	1	3,85
Total 14 familias	25	26	100

Cuadro 4. Índice de valor de importancia (IVI%) estimado a partir del relevamiento florístico llevado a cabo en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela. Ab: abundancia absoluta; Ab%: abundancia relativa; Fi: frecuencia absoluta; Fi%: frecuencia relativa; Dom: dominancia absoluta; Dom%: dominancia relativa; IVI: índice de valor de importancia absoluto; IVI%: índice de valor de importancia.

Especie	Ab	Ab%	Fi	Fi%	Dom	Dom%	IVI	IVI%
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	30	26,32	10	14,93	12.523	42,75	83,99	28,00
<i>Bactris major</i> var. <i>major</i>	15	13,16	5	7,46	0,2735	9,34	29,96	9,99
<i>Gustavia</i> sp.	10	8,77	7	10,45	0,1319	4,5	23,72	7,91
<i>Spondias mombin</i> var. <i>mombin</i>	8	7,02	5	7,46	0,218	7,44	21,92	7,31
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	9	7,89	3	4,48	0,2764	9,44	21,81	7,27
<i>Handroanthus</i> sp.	5	4,39	4	5,97	0,0624	2,13	12,49	4,16
<i>Cecropia riparia</i> Warb. ex Snethl.	4	3,51	4	5,97	0,0708	2,42	11,89	3,96
<i>Hevea guianensis</i> var. <i>guianensis</i>	3	2,63	3	4,48	0,1018	3,47	10,58	3,53
<i>Inga spuria</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	4	3,51	3	4,48	0,0685	2,34	10,33	3,44
<i>Licaria cymbarum</i> (Kunth) Pittier	3	2,63	3	4,48	0,0721	2,46	9,57	3,19
<i>Swetenia macrophylla</i> King in Hook.	2	1,75	2	2,99	0,0726	2,48	7,22	2,41
<i>Himaranthus</i> sp.	3	2,63	2	2,99	0,0328	1,12	6,74	2,25
<i>Sclerolobium paniculatum</i> var. <i>Paniculatum</i> Vogel	2	1,75	2	2,99	0,0248	0,85	5,59	1,86
<i>Bursera simaruba</i> Sarg.	2	1,75	2	2,99	0,0202	0,69	5,43	1,81
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	2	1,75	1	1,49	0,0577	1,97	5,22	1,74
<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	1	0,88	1	1,49	0,0575	1,96	4,33	1,44
<i>Pterocarpus</i> sp.	2	1,75	1	1,49	0,0174	0,59	3,84	1,28
<i>Mangifera indica</i> L.	1	0,88	1	1,49	0,0241	0,82	3,19	1,06
<i>Diphysa punctata</i> Rydb.	1	0,88	1	1,49	0,0161	0,55	2,92	0,97
<i>Sapium clausenianum</i> Huber	1	0,88	1	1,49	0,014	0,48	2,85	0,95
<i>Anacardium occidentale</i> L.	1	0,88	1	1,49	0,0127	0,43	2,8	0,93
<i>Astronium</i> sp.	1	0,88	1	1,49	0,0127	0,43	2,8	0,93
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	1	0,88	1	1,49	0,0115	0,39	2,76	0,92
<i>Sapindus saponaria</i> L.	1	0,88	1	1,49	0,0097	0,33	2,7	0,90
<i>Couroupita guianensis</i> Aubl.	1	0,88	1	1,49	0,0092	0,31	2,68	0,89
<i>Gustavia hexapétala</i> Sm.	1	0,88	1	1,49	0,0087	0,3	2,67	0,89
Total 26 especies	114	100,01	67	100	2,9294	100	300	100

Análisis de la diversidad arbórea

La mayor riqueza de especies arbóreas con un DAP \geq 10 cm se encontró en la parcela P2, con un total de 22 especies y con valores de índice de Margalef, Shannon y Simpson de 5,36; 2,79 y 0,91, respectivamente. Estos valores difieren de los reportados por Mena-Mosquera *et al.* (2020) en su trabajo sobre la composición florística, estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó, Quibdó, Chocó, Colombia: índice de Shannon= 3,6; Simpson=0,03 y Margalef= 10,3. En la parcela P1 la riqueza disminuyó a 10 especies y el índice de Margalef fue de 2,79; el índice de Shannon fue de 1,95 y el de Simpson fue de 0,81. Los menores valores correspondieron a la parcela P3, con un total de nueve especies, y un índice de Margalef, Shannon y Simpson de 2,18; 1,68 y 0,75, respectivamente (Cuadro 5). El coeficiente de mezcla fue mayor para P2, ya que se incorpora una especie por cada dos muestreadas mientras que en P1 y P3 se incorpora una especie por cada tres y cuatro individuos respectivamente.

En cuanto a los índices de diversidad alfa: (i) el índice de Simpson varió entre parcelas (P2=0,91 a P1+0,10 y a P3 +0,16), y (ii) el índice Shannon también difirió entre parcelas (P2=2,79 a P1 +0,84 y a P3 +1,11). El análisis de similitud florística entre las parcelas (diversidad beta) reveló que se podrían diferenciar según el índice de Jaccard dos grupos florísticos con similitud $<$ 25% y $>$ 25%. El primero constituido por las parcelas P1 y P3; el segundo constituido por las parcelas P1-P2 y P2-P3. El análisis de conglomerado Bray-Curtis (Figura 3) corroboró la existencia de estos grupos con similitud superior al 30%. Las parcelas P2 y P3 presentan la mayor similitud en su composición florística ($>$ 50%) (Cuadro 6).

Cuadro 5. Índice de diversidad alfa por parcela (P1, P2 y P3), para el estrato superior de individuos con DAP \geq 10 cm estimado a partir del relevamiento florístico en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Estrato superior individuos con DAP \geq 10 cm			
	P1	P2	P3
Taxa_S	10	22	9
Individuales	25	50	39
Simpson_1-D	0,81	0,91	0,75
Shannon_H	1,95	2,79	1,68
Margalef	2,79	5,36	2,18

*No se detectaron diferencias significativas.

En el diagrama de Venn, se observó un valor porcentual de especies comunes entre las tres parcelas de 7,69% el cual está representado por solo dos especies (*C. pentandra* y *Gustavia* sp.) (Figura 4). Las especies exclusivas por parcelas y su valor porcentual fueron: (i) *Diphysa punctata* Rydb., *Gustavia hexapétala* Sm. y *Sapium claussonianum* Huber (11,54%), en P1; (ii) *Anacardium occidentale* L., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Astronium* sp., *Couroupita guianensis* Aubl., *Erismia uncinatum* Warm., *Mangifera indica* L., *Sapindus saponaria* L., *Sclerolobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel, *Tapirira guianensis* Aubl. (34,61%), en P2; (iii) *Pterocarpus* sp. (3,85%), en P3.

Dentro de las especies compartidas por al menos dos parcelas encontraron: (i) *Carapa guianensis* Aubl., *Cecropia riparia* Warb. ex Snethl., *Himaranthus* sp., *Inga spuria* Will, *Swietenia macrophylla* King (19,23%), para P1-P2; (ii) *Bactris major* var. *major*, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Hevea guianensis* var. *guianensis*, *Licaria cymbarum*

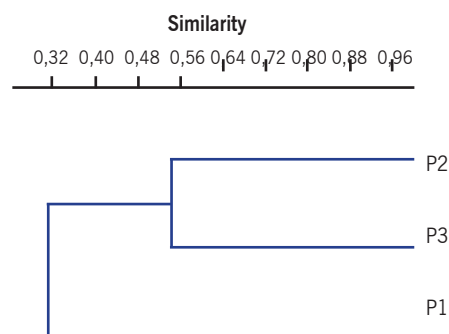


Figura 3. Dendrograma Bray-Curtis para individuos con DAP \geq 10 cm evaluados en las tres parcelas (P1, P2 y P3) en el relevamiento florístico en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

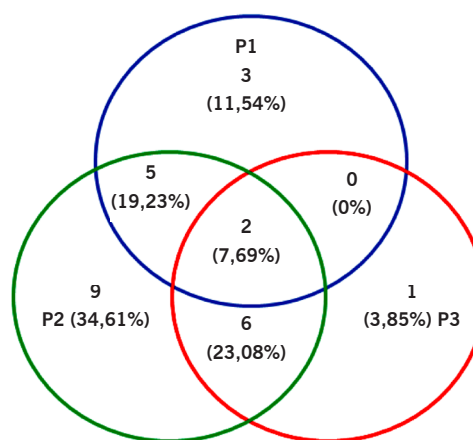


Figura 4. Diagrama de Venn obtenido para las tres parcelas (P1, P2 y P3) a partir del relevamiento florístico en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

(Kunth) Pittier, *Spondias mombin* var. *mombin*, *Tabebuia* sp. (23,08%), para P2-P3. En tanto, para P1-P3, no se detectaron especies comunes.

El hecho de encontrar especies como *A. leiocarpa*, *B. simaruba* y *C. riparia* indicaría que las diferentes parcelas evaluadas podrían encontrarse en un sector que experimenta procesos sucesionales de vegetación. Los procesos sucesionales dan origen a una sucesión vegetal secundaria que es un proceso ecológico por el cual se recupera la cobertura boscosa en lugares que anteriormente estuvieron sometidos a algún tipo de perturbación natural o antrópica (Yepes *et al.*, 2010).

Desarrollo de los mapas de uso y cobertura

Los productos cartográficos se muestran en las Figuras 5 y 6. En los Cuadros 7 y 8 se muestra el porcentaje que ocupa cada una de las categorías definidas para los años de 2013 y 2017, respectivamente. De acuerdo a lo observado, en ambos años la cobertura de bosque ocupó el mayor porcentaje de superficie. Para 2013, esta categoría representó el 50,03%, seguida por la vegetación saxícola (con 38,71%) y otros (con 11,25%). Por su parte, para el año 2017, la cobertura de bosque ocupó el 52% de superficie, manteniéndose el orden de las otras categorías: vegetación saxícola con 38% y otros con 10%. Es interesante observar el aumento del 2% en el área para la categoría de bosques lo cual se puede estar generado en parte por el hecho de que las

Cuadro 6. Índice de similaridad (Jaccard) para interacciones apareadas por parcela (P1, P2 y P3) para el estrato superior de individuos con DAP ≥ 10 cm a partir del relevamiento florístico en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Estrato superior individuos con DAP ≥ 10 cm			
	P1	P2	P3
P1	1,00		
P2	0,28	1,00	
P3	0,11	0,34	1,00

Cuadro 7. Cobertura para el año 2013, encontrada en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Número	Cobertura	Área (km²)	Área (%)
1	Bosque	8057,2	50,03
2	Saxicola	6233,8	38,71
3	Otros	1811,3	11,25
Total área		16102,3	100

Cuadro 8. Cobertura para el año 2017, encontrada en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Número	Cobertura	Área (km²)	Área (%)
1	Bosque	8316,6	52
2	Saxicola	6132,9	38
3	Otros	1582,6	10
Total área		16032,2	100

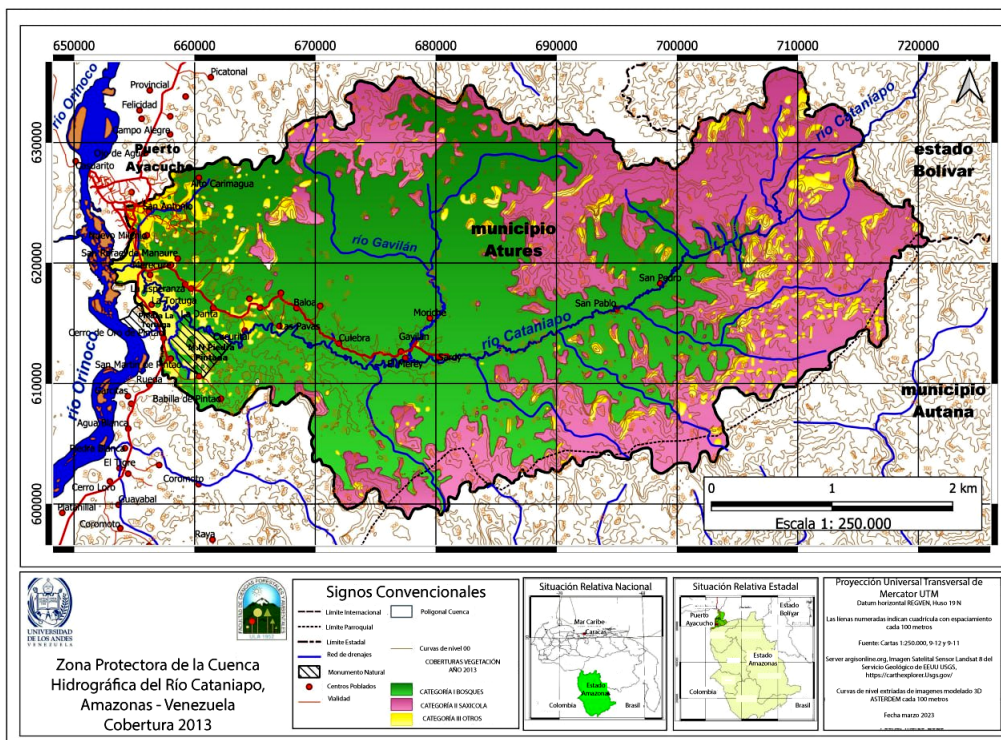


Figura 5. Mapa de cobertura para el año 2013, generado para la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

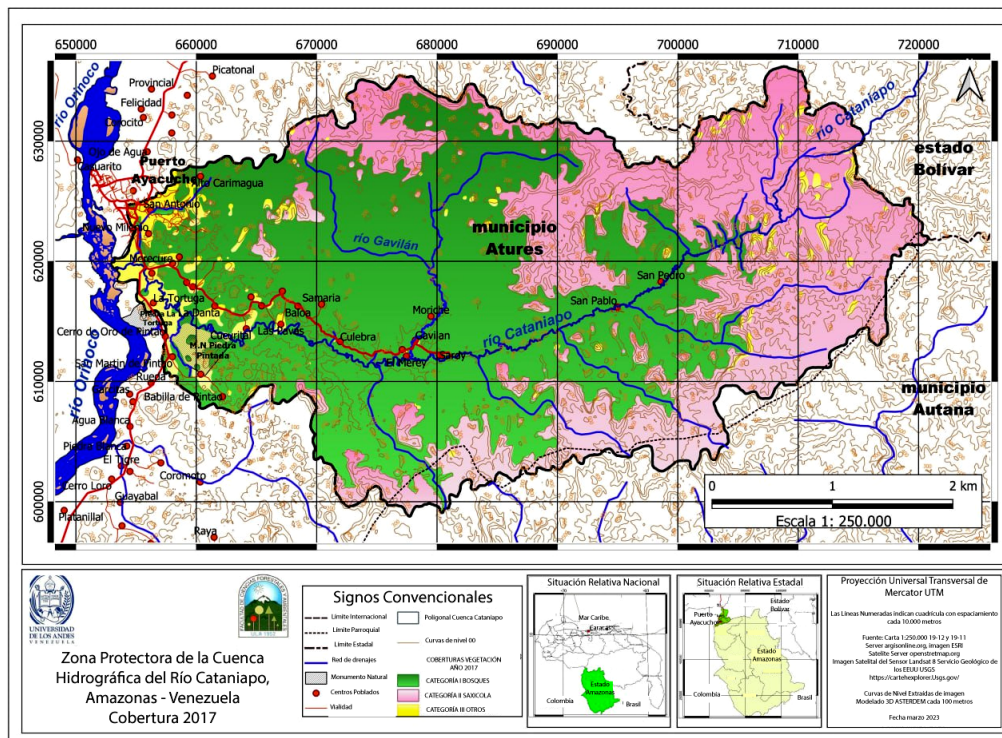


Figura 6. Mapa de cobertura para el año 2017, generado para la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

diferentes etnias indígenas realizan una serie de técnicas silviculturales que están permitiendo el desarrollo y conservación de las áreas de bosque presente en esta cuenca. Valores similares presentó Morales *et al.* (2020) para su análisis en las transformaciones espaciales de la cobertura de la tierra de Venezuela con los mapas de vegetación en los años 1988 y 2010, donde la mayor cobertura fue la representada por los bosques con valores superiores al 45% para ambos años.

Se realizó una sustracción entre pares de categoría de los años 2013 y 2017, la cual permitió observar de manera general cuáles fueron las coberturas que mostraron incrementos o disminución en la superficie ocupada para los años analizados. De esta manera, la única categoría que presentó un incremento en su superficie fue: bosques con 259,4 km², mientras que las demás categorías presentaron disminución en su superficie siendo para vegetación saxícola con 100,9 km² y otros con 228,7 km² (Cuadro 9). Por lo tanto, los resultados presentados indican que los bosques mostraron un incremento de un 2% (259,4 km²) y las otras dos categorías una disminución del 1%.

El aumento en los bosques podría explicarse en parte por una agricultura migratoria y de subsistencia tradicional de etnias como los Piaroa quienes seleccionan áreas para sembrar, que denominan conucos, que consideran de su propiedad y que son respetadas por el resto de la comunidad indígena (Ricardo *et al.*, 2016).

Para el uso de estas áreas realizan desmontes, aplicando el método de tumba y quema del bosque existente. Estas áreas son productivas solo por tres o cuatro años, entonces las abandonan y seleccionan otras para iniciar nuevamente este proceso. Por ello, estas áreas presentan diferentes estados sucesionales de la vegetación que se va estableciendo. A medida que transcurre el tiempo, en los años de abandono del área del conuco, se observa la entrada de especies silvestres que inician un proceso sucesional que transcurre de vegetación herbácea, arbustiva a boscosa, en esta etapa se va enriqueciendo e incrementando la diversidad de especies con el consiguiente aumento de la composición de especies, cobertura, altura y diámetro de los troncos de las especies arbóreas (Ricardo *et al.*, 2016).

La intensificación de diferentes actividades antrópicas (ganadería, agrícola) está acelerando diferentes procesos de degradación del área que a su vez se pueden estar reflejando como procesos de conversión del bosque primario ya que no se ha dado el suficiente tiempo necesario de recuperación para que se desarrolle una sucesión ecológica (en muchas oportunidades solo se dan desarrollos e invasiones de malas hierbas). Siendo la cuenca del Río Cataniapo la única fuente de agua para el acueducto de la ciudad de Puerto Ayacucho, se ve sometida a una intensa presión ambiental producto de la expansión agrícola y urbanística, deforestación, contaminaciones químicas (Blanco 2005;

Cuadro 9. Coberturas para los años 2013 y 2017, encontradas en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Categorías	2013		2017		Diferencia
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)
Bosque	8057,2	50	8316,6	52	259,4*
Saxicola	6233,8	39	6132,9	38	100,9**
Otros	1811,3	11	1582,6	10	228,7**
Total	16102,3	100	16032,2	100	70,1

* Superficie incrementada.

** Superficie disminuida.

Astiz, 2012; Astiz y Álvarez, 2014). Etnias como la Piaroa realiza su recolección en la cuenca media del río Cataniapo, para satisfacer sus necesidades de subsistencia, entre ellos, los productos forestales no maderables que utilizan principalmente en su consumo, ya sea fresco o como materia prima en sus rituales y en la elaboración de medicinas, artesanías y construcciones. Los piaroas tradicionalmente desarrollaban un sistema de agricultura migratoria de subsistencia; sin embargo, esos patrones se modificaron al convertirse en sedentarios (Ricardo *et al.*, 2016).

Análisis de la matriz de cambio para los años 2013 y 2017

La matriz de cambio (Cuadros 10 y 11) se obtuvo a partir de la tabulación cruzada de los mapas de cobertura. Sobre las columnas se ordenan las clases reales (verdad-terreno), sobre las filas las unidades cartográficas (unidades o clases del mapa). Los elementos que aparecen en la diagonal indica el número de clasificaciones realizadas correctamente y aquellos que aparecen fuera suponen migraciones o fugas. Por un lado, del total de las categorías se identificaron exactitudes para el

Cuadro 10. Valores generados en la validación del mapa de cobertura para el año 2013, en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Sobre el terreno						
	Tipos de cobertura	Bosque	Saxicola	Otros	Total	Exatitud
En la clasificación	Bosque	8,82	0,18	0,45	9,45	93,3
	Saxicola	1,8	9,27	0,81	11,88	78,00
	Otros	0,27	1,44	14,31	16,02	89,30
	Total	10,89	15,57	15,57	37,35	
	Exatitud	81,00	85,1	91,90		86,70

Cuadro 11. Valores generados en la validación del mapa de cobertura para el año 2017, en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHRC), Amazonas, Venezuela.

Sobre el terreno						
	Tipos de cobertura	Bosque	Saxicola	Otros	Total	Exatitud
En la clasificación	Bosque	9,00	0,18	0,90	9,45	89,30
	Saxicola	1,80	10,80	0,63	11,88	81,60
	Otros	0,00	0,09	14,94	16,02	99,40
	Total	10,80	11,07	16,47	37,35	
	Exatitud	83,30	97,60	90,70		90,60

año 2013 de precisión general fue de 0,867 (según la metodología Boca y Rodríguez, 2012) y el índice Kappa (0,880) lo que según Pascuzzo (2014), representa 88,004% de concordancia entre el conjunto de datos tomados. Por otro lado, los resultados para el año 2017 mostraron una precisión general de 0,906; el índice Kappa, de 0,924, representa 92,4% de concordancia entre el conjunto de datos tomados. Áreas intervenidas se mantuvieron invariable en el período estudiado 107.748,06 km²; sin embargo, al observar los totales de cada año, se identificó un incremento del 98,90% para el 2017.

Las categorías que cedieron superficie a favor de las áreas intervenidas fueron: bosques, sabanas, herbazales, matorrales, matorrales espinosos, manglares y vegetación de páramo. Dentro del área de estudio no se observaron manglares. Esta situación de incremento en la superficie ocupada por la categoría está asociada a la fuerte intervención antropogénica que ha ocurrido en el país en los últimos años.

Los bosques mantuvieron una superficie de 420.349,94 km², correspondiente al 77,41% del total de superficie de esta categoría. Por otra parte, para el año 2017, la superficie de los bosques experimentó cambios principalmente hacia áreas intervenidas con 50.805,85 km², lo que es igual a un 9,36%; sabanas y herbazales con 41.741,42 km², representando un 7,69%; matorrales con 28.803,69 km², lo que representó un 5,30%; y cuerpos de agua con 1337,76 km², equivalente a un 0,25%. Según los resultados obtenidos la categoría de bosque disminuyó y experimentó cambios a favor de las áreas intervenidas y sabanas herbazales.

Este aumento del área intervenida se debe al establecimiento de nuevas comunidades, las cuales buscan una ubicación más próxima a Puerto Ayacucho para comercializar sus productos y tener acceso a la educación formal, y a la asistencia médica/sanitaria (Astiz, 2012). Los cambios de bosques a cuerpos de agua se explican por la creación de nuevos embalses en el territorio nacional dentro del período de estudio. En este periodo estudiado (Cuadro 12), se obtuvo que de los 16.032,232 km² de la superficie total del área de estudio, para las diferentes categorías hubo una ganancia en la cobertura de bosque (0,62 km²), seguida de la vegetación saxícola con un incremento de (1,35 km²) y otros fue la única que tuvo una pérdida de (-0,9 km²) debido a que hubo un incremento en la frontera agrícola. Mientras que la cobertura de bosques logró incrementarse debido a que ocurrieron abandonos de conucos, se observó

Cuadro 12. Valores generados en el análisis de distribución de las áreas de cambio para el período 2013- 2017, en la Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo (ZPCHR), Amazonas, Venezuela.

Tipos de cobertura	2013	2017	Cambio
Bosque	9,45	10,10	0,63
Saxicola	11,90	13,20	1,35
Otros	16,00	15,00	0,99

la formación de una sucesión vegetal en los relictos boscosos dentro del área. Es importante señalar que no se representan grandes cambios en la superficie, las diferentes etnias indígenas con diferentes técnicas y culturas han generados el desarrollo y conservación de las aéreas de bosque presente en esta cuenca.

Las diferentes visitas a campo evidencian la transformación, la degradación y fragmentación ecosistémica de la ZPCHR, influenciada principalmente por las actividades de ganadería. Posterior al proceso de explotación de especies maderables dentro del área sin previa planificación. En su mayor parte las tierras productivas en los alrededores de Puerto Ayacucho y en la cuenca del Río Cataniapo es escasa, debido a la fragilidad del ecosistema que poseen suelos pobres, ácidos, lixiviados que perjudican las posibilidades de actividades agrícolas a excepción del uso de ciertos sistemas de manejo (Blancaneaux, 1997).

Estos resultados muestran la importancia de realizar evaluaciones periódicas multitemporales mediante el uso de imágenes satelitales que permitan caracterizar la dinámica de los cambios de uso y cobertura de la cuenca bajo estudio. La información que proveen estos estudios permitirá conocer mejor las interrelaciones entre los elementos naturales y las intervenciones antrópicas, lo cual es necesario si se pretende tomar de decisiones que logren de manera eficiente la reforestación de las áreas dañadas y la protección de la cuenca. Por último, futuros trabajos deberían tener el objetivo de organizar de una base de datos ambientales que permita observar las variaciones interanuales de la cobertura y uso del suelo para desarrollar una serie de descriptores de la calidad ambiental de la cuenca ZPCHR.

CONCLUSIONES

El desarrollo de actividades antrópicas, como la deforestación, la ganadería y la agricultura, causó una disminución del 1% del área entre los años 2013-2017 ocupada por las categorías saxícola y otros, lo cual se espera que impacte sobre la cuenca de la ZPCHR y

áreas aledañas. La categoría de bosques, en cambio, aumentó un 2% lo que podría deberse a que las diferentes etnias indígenas con sus técnicas y culturas influyan sobre el desarrollo y conservación de estas áreas. La pérdida de la cobertura vegetal dentro de la ZPCHRC, así como el aprovechamiento irracional de recursos (*i.e.* madera para leña) está disminuyendo la fertilidad de los suelos y aumentando la proporción de suelos desnudos. En suma, las posibilidades de recuperar estas tierras a través de algunas prácticas silvícolas como las reforestaciones se ven dificultada. Por ello, es necesario generar información (base de datos, imágenes satelitales, fotografías aéreas, entre otras) y estudios que permitan la actualización del plan de ordenación del territorio en

pro de que los entes gubernamentales interactúen con mayor eficacia con la comunidad buscando aumentar su sensibilización sobre esta problemática, y promover el aprovechamiento adecuado y racional de los recursos naturales. Además, en el presente estudio, se observó en la categoría bosques solo especies nativas, algunas de las cuales podrían usarse algunas para la reforestación y el enriquecimiento del área (*i.e.* Caoba). Así, estos resultados muestran la importancia de estudiar la composición florística y los cambios de la cobertura para propuestas que permitan recuperar parte de tierras desnudas producto del desmonte y abandono de tierras con vocación agropecuaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, H. (2008). Aspectos estructurales y florísticos de cuatro bosques ribereños de la cuenca del Río Aroa, edo. Yaracuy, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 31(1), 273-289.
- Alvarado, H., González, A. y Valera, B. (2016). Aspectos estructurales y florísticos de tres bosques ribereños de la cuenca del Río Misoa, estado Lara, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 50(3), 225-245.
- Alvis, J. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 115-122.
- Argumedo, U. y Siqueiros, D. (2008). Cambios en la estructura de la asociación de diatomeas epifitas de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag. *Acta botánica mexicana*, 82, 43-66.
- Astiz, S. (2012). Deterioro del recurso agua en el Río Cataniapo, Amazonas, Venezuela. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(3), 05-20.
- Astiz, S. y Álvarez, H. (2014). Dinámica del Zooplancton y su relación con la calidad de agua en el Río Cataniapo, Amazonas, Venezuela. *Ecotrópicos*, 27(1-2), 13-30.
- Blancaneaux, P. (1997). *Estudio edafológico preliminar del sector Puerto Ayacucho, T.F. Amazonas, Venezuela*. MARNR-DGSIIA.
- Blanco, H. (2005). *The tension between developmental land uses and the conservation area designation: a case study of the creoles in Cataniapo River Basin, Venezuela* (Tesis de Maestría). Universidad de Ohio. 100 p.
- Boca, T. y Rodríguez, G. (2012). *Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos* (pp. 24). Ediciones INTA.
- Bray, J. R. y Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*, 27(4), 325-349. <https://doi.org/10.2307/1942268>
- Cabrera, M., Segura, E., Segura, J. y Tierras, J. (2018). Composición y diversidad de la vegetación arbórea, un instrumento de gestión turística, caso: parque ecológico recreacional lago Lagrio (Perla) Sucumbios - Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(3), 327-340.
- Caranqui, J., Lozano, P., & Reyes, J. (2016). Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(1), 33-45. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.86>
- Caranqui, J. (2015). Composición y diversidad de especies arbóreas en transectos de localidades del bosque siempreverde de tierras bajas del Ecuador. *Enfoque UTE*, 6(3), 96-105. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n3.72>
- Checa, D. (2015). El color como fenómeno físico. <https://www.clubensayos.com/Ciencia/El-color-como-fen%C3%B3meno-f%C3%ADsico/2878509.html>
- Cohen, J. (1960). Coefficient of agreement for nominal scales. *Educ. Psychol. Meas.*, 20(1), 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>.
- Curtis, J. y McIntosh, R. (1951). An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology*, 31, 476-496. <http://dx.doi.org/10.2307/1931725>
- Dezzeo, N., Flores, S., Zambrano-Martínez, S., Rodgers, L. y Ochoa, E. (2008). Estructura y composición florística de bosques secos y sabanas en los llanos orientales del Orinoco, Venezuela. *Interciencia*, 33(10), 733-740.
- Díaz, W., Daza, F. y Sarmiento, W. (2012). Composición florística, estructura y diversidad del bosque ribereño del Río Kakada, Cuenca del Río Caura, estado Bolívar, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 275-289.
- Díaz, W., Daza, F. y Sarmiento, W. (2010). Estudio preliminar de la composición florística y estructura del bosque ribereño del Río Cushime, estado Bolívar, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 44(4), 477-490.
- Farnum, F. y Murillo, V. (2019). Análisis multitemporal (1970-2017) del uso del suelo en cinco comunidades ubicadas a lo largo de la carretera Boyd Roosevelt, Panamá. *Tecnociencia*, 21(2), 107-124. https://www.researchgate.net/publication/334283429_ANALISIS_MULTITEMPORAL_1970-2017_DEL_USO_DEL_SUELO_EN_CINCO_COMUNIDADES_UBICADAS_A_LO_LARGO_DE_LA_CARRETERA_BOYDROOSEVELT_PANAMA/link/5d26251992851cf4407822dc/download

- Gaceta Oficial de Venezuela. (GOV). (1993). Gaceta Oficial 4548 del 26 marzo 1993. <https://www.gacetaoficial.io/venezuela/1993-03-26-gaceta-oficial-4548>
- Guerrero, D. y Moreno, R. (2015). Estudio multitemporal del uso del suelo y la cobertura forestal en el municipio de Puerto Rico, Colombia (Meta) y su proyección para el año 2020 (Tesis de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ingeniería Forestal, Bogotá, Colombia.
- Guevara, S. y Laborde, J. (2008). Rediseñando las Reservas para la Protección de la Diversidad Biológica y Cultural en América Latina. En Línea. *Environmental ETHICS*, 30.
- Holdridge, L. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center.
- Iannacone, J., Mansilla, J. y Ventura, K. (2003). Macroinvertebrados en las lagunas de puerto viejo, Lima-Perú. *Ecología Aplicada*, 2(1), 116-124. <https://doi.org/10.21704/rea.v2i1-2.258>
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar-IGVSB. (2002). *Términos de referencia*. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar.
- Leython, S. y Ruiz, Z. (2006). Caracterización florística y estructural de un bosque estacional en el sector La Trilla, Parque Nacional Henri Pittier, estado Aragua, Venezuela. *Acta Bot. Venez*, 29(2), 303-314.
- Lozada, J. (2010). Consideraciones metodológicas sobre los estudios de comunidades forestales. *Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 77-88.
- Magurran, A. (1988). Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Malagón, W. (2008). *Composición florística, estructural y diversidad de los bosques de la Reserva Forestal Galilea, Tolima (Colombia)*. Universidad del Tolima. <http://repositorio.ut.edu.co/handle/001/3110>
- Margalef, R. (1977). *Ecología*. Ediciones Omega. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Ecologia_de_Poblaciones_y_Comunidades_files/margalef_cap_1.pdf
- Márquez, R., De Jong, B., Eastmont, A., Ochoa, G., Hernández, S. y Kantún, M. (2005). Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el oriente de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 21(42), 57-73. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15404202>
- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales-MARNR. (2000). *Plan de ordenamiento y reglamento de uso de la Zona Protectora de Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo*. Tomo I. Amazonas-Venezuela.
- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales-MARNR. (2005). *Plan de ordenamiento y reglamento de uso de la Zona Protectora de Cuenca Hidrográfica del Río Cataniapo*. Amazonas-Venezuela.
- Mena-Mosquera, V., Andrade, H. y Torres-Torres, J. (2020). Composición florística, estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó, Quibdó, Chocó, Colombia. *Entramado*, 16(1), 204-215. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6109>
- Mora, C., Pérez, J., Rodríguez, E., Rubio, E., Yerena-Yamalle, J. y González, M. (2013). Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso Tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 124-137.
- Morales, O., Albarrán, A. y Gutiérrez, J. (2020). Transformaciones espaciales de la cobertura de la tierra de Venezuela: análisis desde los mapas de vegetación 1988-2010. *Revista Geográfica Venezolana*, 61(2), 288-300.
- Munita, T. (2007). *Deforestación*. <http://www.nationalgeographic.es/medio.../deforestation-overvie>.
- Ortiz, J. (2020). *Estructura y composición florística de un bosque húmedo tropical, en el sur del departamento de Bolívar, Colombia (Trabajo de grado para obtener el título de Biólogo)*. Facultad de Ciencias de la Universidad Industrial de Santander. 48 p.
- Osorio, S., Lugo, J., Rangel, R. y Salcedo, P. (2019). Efecto del sistema silvicultural Tropical Shelterwood Modificado sobre la estructura y composición del bosque, El Caimital, Barinas, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 63, 9-21.
- Pascuzzo, A. (2014). Índice de concordancia de Kappa. <http://Aldanalis.blogspot.com/2014/02/índice-de-concordancia-de-Kappa-k.html>.
- Pernía, J. (1999). Sensores espaciales para estudios ambientales, a las puertas del siglo XXI. *Rev. Forest. Venez.*, 43(2), 207-222
- Pielou, E. (1975). *Ecological diversity* (pp. 165). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.1.0174b>
- Pino, M., Rojas, Y., Salcedo, P., Rangel, R. y Gómez, A. (2021). Dinámica sucesional del bosque luego de establecer fajas de enriquecimiento, El Caimital, Barinas -Venezuela. *Investigaciones Geográficas*, 61, 99-115. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2021.61075>
- R Core Team. (2022). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Reyes, P. y Torres-Florez, J. (2009). Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de condrictios de aguas profundas a través del archipiélago patagónico austral, Cabo de Hornos, Islas Diego Ramírez y el sector norte del paso Drake. *Revista de biología marina y oceanografía*, 44(1), 243-251. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100025>
- Quispe, W. (2010). *Estructura horizontal y vertical de dos tipos de bosque concesionados en la Región Madre de Dios (Tesis de grado)*. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Facultad de Ingeniería. Perú. 98 p. <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/82/004-2-3-008.pdf?sequence=1>
- Ramírez, L. (2017). Levantamiento de la base de datos espacial para el inventario integral de fuentes de aguas superficiales, en el Municipio Libertador del estado Mérida. Universidad de Los Andes.
- Ricardo, N., Álvarez, A. y Álvarez, L. (2016). Conucos y rastrojos de la etnia Piaroa en la cuenca media del río Cataniapo, estado Amazonas, Venezuela. *Acta Botánica Cubana*, 215(3), 336-344.
- Rojas, J., Ramos, P., Castro, M., Pesca, A., Vargas, Y. y Escobar, L. (2021). Estructura y composición florística de bosques asociados a especies de Theobroma en la Amazonía colombiana. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(68), 128-150. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.1078>
- Salazar, M., Vallejo, F. y Salazar, F. (2019). Inventarios e índices de diversidad agrícola en fincas campesinas de dos municipios del Valle del Cauca, Colombia. *Entramado*, 15(2), 264-274. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.5744>

- US Geological Survey-USGS. (2018). Instituto de Estudios Geológicos de los Estados Unidos Earth Explorer. <http://earthexplorer.usgs.gov>
- Valdez, C., Guzmán, M., Valdés, A., Foroughbakhch, R., Alvarado, M. y Rocha, A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674-1682. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32135>
- Valero, L. (1997). *Comparación de la deforestación en la Reserva Forestal Caparo, entre los años 1960-1987*. ULA.
- Velásquez, A., Mas, F., Díaz, G., Mallorca, S., Alcántara, C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62, 2137.
- Vincent, L., Zambrano, T. y Rodríguez, L. (2000). Manual de inventario dinámico con base en parcelas permanentes en bosque tropical alto. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN). Dirección General Sectorial del Recurso Forestal. Organización Internacional para las Maderas Tropicales (OIMT). Proyecto PO 49 I 94 REV. 1 (F). Establecimiento de una Red de Monitoreo Forestal Continuo (Parcelas Permanentes de Crecimiento) en las Reservas Forestales y Lotes Boscosos de Guayana. 72 p.
- Yepes, A., Del Valle, J., Jaramillo, S. y Orrego, S. (2010). Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 427-445.
- World flora-WF. (2023). World flora online. <http://www.worldfloraonline.org>. [Última consulta: 23/03/2023].