

DETERMINACIÓN DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN LAS MICROCUENCAS DE LAS QUEBRADAS LA PORTUGUESA Y MONTALBÁN, ESTADO MÉRIDA, VENEZUELA 2022

DETERMINATION OF LAND COVER AND LAND USES IN THE
MICRO WATERSHEDS OF THE QUEBRADA LA PORTUGUESA
AND MONTALBAN, MERIDA STATE, VENEZUELA

**YELSY DUGARTE¹, YORGELIS DOMINGUEZ², CRISTOPHER
CAMARGO³ Y YAJAIRA OVALLES⁴**

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Departamento de
Ordenación de Cuencas Hidrográficas. e-mail: ccamargoroa@gmail.com (correspondencia)

ORCID¹: 0009-0001-6094-835X; ORCID²: 0009-0007-4215-2909; ORCID³: 0000-0003-1867-4591;
ORCID⁴: 0000-0001-8561-9053

Recibido 29 julio 2025 – Aceptado 23 noviembre 2025

Resumen

Se determinan las coberturas y usos de la tierra presentes en las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán para el año 2022. Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) se efectuaron interpretaciones visuales en pantalla de imágenes satelitales MAXAR (Vivid Standard), respaldadas con visitas a campo y toma de puntos GPS, que permitieron obtener una cartografía con 95% de precisión global y 0,93 de índice de kappa. Las coberturas y usos fueron definidos con el método CORINE Land Cover a escala 1:1500, con el cual se pudo identificar 27 categorías pertenecientes a cuatro grandes grupos que conforman el Nivel 1. De esta cartografía se determinó que las microcuencas poseen 47,07% de bosques densos (2011,17 ha), encontrándose estos en las partes altas, 8,62% de vegetación secundaria o en transición (368,44 ha) y 6,42% de bosques fragmentados (274,57 ha) en la zona media-alta, 6% de arbustal abierto (256,45 ha), repartidos en la zona media-baja, y 4,13% de tejido urbano continuo (176,29 ha), emplazada mayoritariamente en las zonas de baja pendiente. Por otra parte, las categorías en menor proporción son las lagunas, lagos y ciénagas naturales con 0,04 ha (0,0008%) y los cuerpos de agua artificiales con 0,26 ha (0,006%), respectivamente. El resto de las categorías (27,74%) se hallan repartidas en ambas cuencas. Esta metodología puede ser empleada en la actualización de cobertura y usos de la tierra que requieran un alto nivel de detalle.

Palabras clave:

cobertura de
tierra

usos de la
tierra

CORINE

micro
cuencas

SIG

teledetección

Abstract

Key Words:

Land cover
CORINE
Land cover
Micro watershed
GIS

The land cover and uses present in the La Portuguesa and Montalbán streambed micro-basins are determined for the year 2022. Using a Geographic Information System (GIS), visual on-screen interpretations of MAXAR (Vivid Standard) satellite images were made, supported by field visits and GPS point taking, which allowed obtaining a cartography with 95% global accuracy and 0.93 kappa index. The coverages and uses were defined with the CORINE Land Cover method at a scale of 1:1500, with which it was possible to identify 27 categories belonging to four large groups that make up Level 1. From this mapping, it was determined that the micro-watersheds have 47.07% of dense forests (2011.17 ha), found in the upper parts, 8.62% of secondary or transitional vegetation (368.44 ha) and 6.42% of fragmented forests (274.57 ha) in the medium-high zone, 6% of open shrubland (256.45 ha), distributed in the medium-low zone, and 4.13% of continuous urban fabric (176.29 ha), located mostly in the low slope zones. On the other hand, the categories with the lowest proportion are lagoons, lakes and natural marshes with 0.04 ha (0.0008%) and artificial water bodies with 0.26 ha (0.006%), respectively. The rest of the categories (27.74%) are distributed in both basins. This methodology can be used to update land cover and land use data that require a high level of detail.

INTRODUCCIÓN

La cartografía sobre el uso y cobertura de la tierra y el potencial para su mejor uso es esencial para la selección, planificación, gestión sostenible de los recursos de la tierra y la comprensión de los cambios en los procesos hidrológicos para satisfacer las crecientes demandas de las necesidades básicas y el bienestar humano (Tewabe y Fentahun, 2020). Mapas precisos y actualizados también desempeñan un papel fundamental en la seguridad alimentaria en los países en desarrollo (Saah *et al.*, 2019). Por ello, las organizaciones gubernamentales regionales tienen la necesidad operativa de obtenerla, ya que la gestión de los recursos naturales de sus áreas correspondientes es competencia de sus autoridades (Al-doski *et al.*, 2020).

Aunque usos y coberturas de la tierra están fuertemente interconectados, tienen diferentes significados (Bareth y Waldhoff, 2018); el primero se refiere a la descripción de la superficie en términos socioeconómicos y de intencionalidad del uso (residencial, comercial, industrial, agrícola, etc.), y el segundo a una descripción biofísica de la superficie terrestre de los materiales que la cubren (vegetación, suelo desnudo, agua, etc.) (De La Rosa, 2008; Borràs *et al.*, 2017). Ambas conceptualizaciones han sido utilizadas en una práctica común de combinación en un mismo conjunto de clases, asociando la primera a lo que se observa debido a lo que la gente hace en la superficie terrestre (Jansen y Di Gregorio, 2003; Jansen, 2006).

La ambigüedad y confusión entre estas dos definiciones dan lugar a problemas

prácticos, especialmente cuando es necesario cotejar, comparar y/o combinar información procedente de dos sensores diferentes, como de satélites o aeronaves (Al-doski *et al.*, 2020), o de clasificaciones no estandarizadas elaboradas a partir de criterios y observaciones de investigadores o de clasificaciones automatizadas que no distinguen, por ejemplo, entre diferentes tipos de vegetación o no especifican las actividades realizadas en el interior de las zonas pobladas (Malaver *et al.*, 2023) para generar cartografía de coberturas y usos de la tierra.

Un mapa aceptable de cobertura y uso de la tierra exige invariablemente imágenes de alta calidad y un conocimiento profundo de teledetección (Velázquez *et al.*, 2016). Para lograrlo, las clasificaciones requieren una leyenda que siga los principios de definiciones exhaustivas y mutuamente excluyentes para discretizar un área de estudio en un conjunto de categorías (Hansen, 2018). A diferencia de otros tipos de inventarios, como los de vegetación, que se centran solo en los tipos de flora seleccionadas, los conjuntos de datos de cobertura y usos de la tierra proporcionan información exhaustiva sobre la composición de toda la superficie terrestre (Bareth y Waldhoff, 2018).

En los Andes venezolanos, las cuencas hidrográficas han encarado una condición ambiental general compleja generada por la intervención sistemática de las coberturas vegetales originarias, a partir de la intensa presión de actividades agrícolas, pecuarias, industriales y urbanas, que han conllevado a su disminución y deterioro (Osorio *et al.*, 2009; Tachack-García y Carrasquel, 2010; Marquina *et al.*, 2024). Muestra de ello, han sido las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán (tributarias del río Chama), que presentan actualmente gran variedad de coberturas y usos y que han mostrado alteraciones en la cubierta natural primaria acelerada desde el año 1990, debido a este tipo de presiones (Peña y Angulo, 2020a; 2020b).

Por otra parte, el predominio de materiales geológicos de alta meteorización (Cuervo, 2011; Medina *et al.*, 2015) y características geomorfológicas de pendientes abruptas y vertientes accidentadas (Bongiorno *et al.*, 2011; Belandría *et al.*, 2015), aunado a las intervenciones de las coberturas de vegetación, han estimulado la inestabilidad de los suelos y modificado el comportamiento de la dinámica torrencial ante eventos extraordinarios de precipitación, fomentando su vulnerabilidad a procesos de erosión de gran magnitud, aporte de sedimentos, crecidas torrenciales e inundaciones, que han afectado y pueden afectar de forma directa a importantes asentamientos humanos ubicados en la parte baja como ocurrió en los años 2020, 2021 y 2022, que ocasionaron significativas pérdidas materiales e interrupciones del suministro hídrico (Zambrano, 2020; Pabón, 2020; 2021; Guarache, 2021; 2022). Conjunción de procesos, que han insertado modificaciones en las diferentes categorías de coberturas y usos de la tierra en las microcuencas. Otro aspecto crítico identificado es el incremento del uso mixto de la tierra en las partes altas, lo que puede traer como consecuencia futuros conflictos de uso del agua, aumento de asentamientos poblacionales e incremento de la deforestación en zonas que no presenten restricciones topográficas (Peña y Angulo, 2020a; 2020b).

En este contexto, es importante señalar que las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán carecen de información cartográfica detallada y actualizada. Por esta razón, y dada la relevancia que tienen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los sensores remotos en la actualidad, se ha despertado el interés por llevar a cabo una investigación que permita identificar y analizar las coberturas y usos existentes. La cobertura y uso de la tierra es un parámetro dinámico y complejo, que representa también la relación entre las actividades socioeconómicas y los cambios ambientales regionales, por lo que es importante revisarla y actualizarla periódicamente (Al-doski *et al.*, 2020).

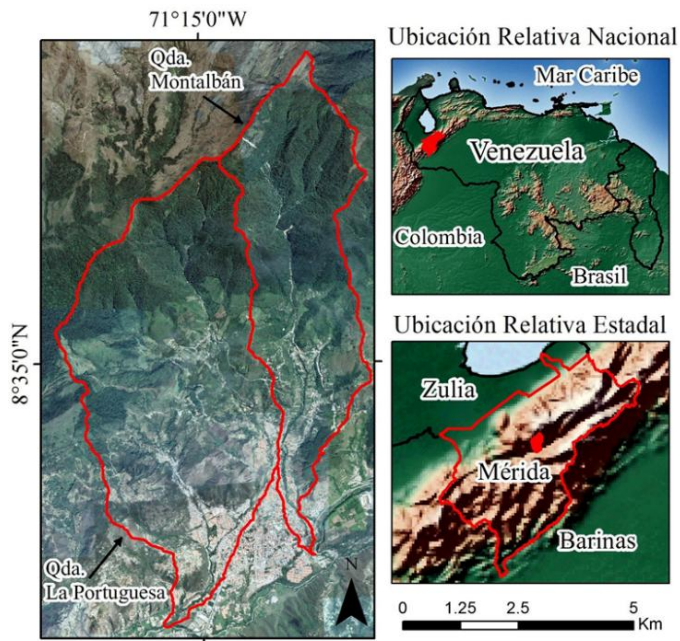
Para ello, se utilizó el sistema de clasificación CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover, diseñado para interpretación visual de imágenes y clasificaciones no automatizadas (Alva y León, 2017), como la manera más práctica para inventariar el terreno a escala media o de semidetalle, también válida para monitoreo, aunado a que constituye una buena alternativa para actualizar y verificar cartografía existente, e identificar categorías heterogéneas, ya que brinda mayor exactitud que los procesos de clasificación digitales automatizados (Molina y Albarrán, 2013; Matteucci *et al.*, 2013; Chuvieco, 2016; Leija *et al.*, 2016). En este estudio se alcanzó un nivel de levantamiento detallado (menor $< 1:10.000$), como lo describen Marquina y Mogollón (2018); ejemplo de alcance de este nivel de detalle con el método Corine Land Cover es Valencia y Anaya (2009), quienes emplearon imágenes Ikonos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

Las microcuencas en estudio se encuentran localizadas en jurisdicción de las parroquias Montalbán y Matriz del municipio Campo Elías (estado Mérida, Venezuela). La primera entre las coordenadas geográficas $8^{\circ}32'44'' - 8^{\circ}38'38''$ de latitud norte y $71^{\circ}13'02'' - 71^{\circ}12'30''$ de longitud oeste, abarca una superficie de 14,30 km². La segunda entre las coordenadas geográficas $8^{\circ}31'54'' - 8^{\circ}37'24''$ latitud norte y $71^{\circ}14'03'' - 71^{\circ}16'43''$ de longitud oeste, ocupa una superficie de 28,43 km² (Figura 1). La hidrografía está representada por drenajes paralelos y dendríticos (sistemas fluviales típicos de montaña) que permiten identificar el material sedimentario y metamórfico (Cuervo, 2011; Belandría *et al.*, 2015). El tipo de clima según Köppen es Aw (tropical de sabana y de bosques húmedos) (Köppen, 1884, 1936; Gobierno de Navarra, 2011). En cuanto a precipitación, presenta dos periodos lluviosos y dos secos (régimen bimodal), posteriormente esta disminuye y se observa un segundo pico entre octubre y noviembre (febrero es el mes más seco). En lo que respecta a temperatura, se presenta un rango promedio que oscila entre 18 y 23 °C y que tiende a disminuir en función de la altitud, tal como se describe en Vivas (1992), MPPA (2011) y Corpoandes (2014). En relación con la vegetación, la zona de vida predominante basada en la clasificación de Holdridge (1947) es Bosque Húmedo Premontano (BHP), con especies representativas como el Mijao (*Anacardium excelsum*), Terminalia (*Terminalia sp.*) y varias lauráceas; también empieza a manifestarse en la parte baja de la quebrada La Portuguesa una

transición a Bosque Seco Premontano (BSP) con arbustales espinosos y cactáceas del género *Opuntia* (Ewel *et al.*, 1968; Corpoandes, 2014).



Datos de imágenes satelitales

Las coberturas y usos de la tierra fueron elaboradas a partir de imágenes MAXAR del 05 de mayo de 2022 (Vivid Standard) en color natural con resolución de 0,6 m (ESRI, 2025), descargadas a través del software SAS Planet (SASGIS, 2017), programa de origen ruso diseñado en plan “open source” (Cardoza, 2017), las cuales también fueron observadas con el programa Google Earth, que permite su utilización para aplicaciones científicas y sin fines lucrativos (Soares y Mendes, 2014; Thenkabail, 2016). La observación de las categorías en campo y registro subsecuente de puntos se realizó con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Garmin modelo map 60SCx.

Definición del área mínima cartografiable

La definición del área mínima cartografiable (UMC), que permite conocer las dimensiones del objeto con menor representación en el mapa, realzando su coherencia y utilidad (Lencinas y Siebert, 2009), se estableció en 0,005 ha. Para ello se consideró el nivel de información generado por las imágenes de resolución espacial de 0,6 m; esta

permite alcanzar una escala de interés detallada de investigación de 1:1500 (Marquina y Mogollón, 2018). De igual manera, fueron incluidos algunos elementos de menores dimensiones, fácilmente observables e importantes en la interpretación (tejido urbano discontinuo, principalmente).

Categorías CORINE Land Cover (CLC)

Se desarrolló una definición de leyenda preliminar delineando categorías observadas, entendidas como los tipos presentes de vegetación natural, cultivos agrícolas o espacios urbanos (IDEAM, 2010). Esta se realizó por medio de interpretación visual de imágenes, técnica vigente y preferida por diversos autores, dado que brinda mayor exactitud al considerar criterios de respuesta espectral (tamaño, forma, textura, contexto, sombras y asociación) (Chuvieco, 2016; Regil *et al.*, 2015), en contraste con los procesos digitales de clasificación automatizados (Leija *et al.*, 2016; Hurtado y Lizarazo, 2019; Yupanqui-Carrasco *et al.*, 2021; Luna *et al.*, 2024).

La generación de la cartografía implicó el uso del programa QGIS 3.34.8 (QGIS, 2024), un Sistema de Información Geográfica gratuito y de código abierto que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos (Temes y Moya, 2021); en este caso, cálculos precisos de estimación de las coberturas y usos de la tierra (Buitrago *et al.*, 2011).

El establecimiento de la leyenda definitiva fue determinado a partir de levantamientos de información de campo en sitios accesibles (toma de puntos GPS, fotografías de sitios cercanos y observables a distancia, interpretaciones de imágenes satelitales impresas y consultas a pobladores), que hicieron posible obtener un producto cartográfico más preciso. Ejemplos de aplicación de estas estrategias puede ser consultado en Silva y Rubio (2014) y Leija *et al.* (2016). Esta se presenta en una estructuración jerárquica de niveles y subniveles (Tabla 1). La definición de cada categoría se puede hallar en IDEAM (2010) (no se identificaron áreas del nivel 4: áreas húmedas).

Validación cartográfica

La precisión del mapa fue evaluada mediante procesos de control de exactitud temática para corroborar el grado de conformidad de cada unidad de la leyenda respecto a la verdad–terreno (Sánchez, 2016). Este se fundamentó en el uso de imágenes MAXAR y la generación de unidades de muestreo independientes (polígonos) que representaron entre el 5% y el 10% del área mapeada. Se consideraron para ello las proporciones de cada una de las categorías, a fin de que fueran directamente comparables (Congalton y Green, 2009). Las muestras fueron definidas por un experto en interpretación de imágenes satelitales, quien no participó en la elaboración del mapa (Olofsson *et al.*, 2014). Obtenidas las muestras, se estimó la exactitud temática de la clasificación a través de una matriz de confusión con el software libre System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) versión 7.8.2 (SAGA, 2024). La exactitud temática se entiende como el resumen de acuerdos y desacuerdos entre las categorías del mapa y las muestras verdad-terreno. Estos se definen como errores de omisión,

comisión, precisión global (Chuvieco, 2016; Jensen, 2005) y el índice estadístico K (Kappa) (Cohen, 1960).

Tabla 1. Unidades de CUT identificadas en el área de estudio según la metodología CORINE Land Cover (Elaborado a partir de IDEAM, 2010).

1.TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.2. Bosque abierto
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.3. Bosque fragmentado
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
1.2.5. Obras hidráulicas	3.2.2. Herbazal
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.2.1.1. Herbazal denso
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.2.1.2. Herbazal abierto
1.4.2. Instalaciones recreativas	3.2.2. Arbustal
	3.2.2.1. Arbustal denso
	3.2.2.2. Arbustal abierto
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
	3.3.1. Zonas arenosas naturales
	3.3.2. Afloramientos rocosos
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.1. Cultivos transitorios	5.1. Aguas continentales
2.2. Cultivos permanentes	5.1.1. Ríos (50 m)
2.3. Pastos	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.3.1. Pastos limpios	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.3.2. Pastos arbolados	
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	

El primero señala cómo los elementos que debieron ser clasificados correctamente fueron incluidos en otras; el segundo indica los elementos que fueron clasificados correctamente, y pertenecen a otras; y el tercero reseña el número de unidades categorizadas de forma adecuada sobre el total de las unidades estimadas (NV5 Geospatial Solutions, 2018). De igual modo, se consideraron valores límites establecidos (80 - 100%) por los científicos para diferenciar las categorías (Achard *et al.*, 2012). En cuanto al índice estadístico K, estudia la proporción total de muestras que coinciden en el mapa y las muestras verdad–terreno (Olaya, 2014), las cuales deben presentar valores superiores a 0,61 para que sea aceptable la concordancia cartográfica generada (Landis y Koch, 1977) y que se expresa de la forma (Ecuación 1):

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

Donde: *i* es el número de categorías; *N* es el número total de hectáreas clasificadas

y comparadas con la verdad–terreno; m_{ij} es el número de hectáreas que, perteneciendo a la clase verdad–terreno i , han sido también clasificados con una categoría i (valores ubicados en la diagonal de la matriz de confusión); C_i es el número total de hectáreas clasificadas pertenecientes a la categoría i . G_i es el número de hectáreas verdad–terreno pertenecientes a la categoría i (NV5 Geospatial Solutions, 2018). Ejemplo de validaciones de este tipo han sido las de Camargo *et al.* (2018; 2020), Malaver *et al.* (2023), Medina *et al.* (2023) y López *et al.* (2024), entre otros.

RESULTADOS

Coberturas y usos de la tierra

El proceso de clasificación arrojó 27 categorías correspondientes a diferentes tipos de coberturas y usos de la tierra, distribuidos en cuatro grandes grupos que forman parte de la clasificación CORINE Land Cover (IDEAM, 2010) (Tabla 2 y Figura 2). Se obtuvo que en el área de estudio para el año 2022, los “Bosques densos” representaban el 47,07% de ambas cuencas (2011,74 ha), presentes principalmente en la parte alta. Seguidamente, la clase “Vegetación secundaria o en transición” ocupó el 8,62% (368,45 ha) y las clases “Bosque fragmentado” y “Arbustal abierto” el 6,42% (274,57 ha) y 6,0% (256,45 ha) respectivamente; La presencia de “Bosque abierto” fue de 4,79% (204,53 ha). Por otra parte, el área del “Tejido urbano continuo” ubicado en las áreas bajas, representan el 4,13% (176,29 ha).

En cuanto al “Tejido urbano discontinuo”, está representado en un 1,19% (50,83 ha), principalmente por viviendas asociadas al área rural, específicamente en la sección media y en la vía a la población de Jají. Otros elementos destacados fueron los “Pastos arbolados” con 3,86% (164,76 ha), el “Herbazal abierto” con 2,73% (116,73 ha) y las “Tierras desnudas y degradadas” con 2,08% (88,90 ha), donde destaca movimiento de masa (derrumbe) en la parte alta de la cuenca de la quebrada Montalbán (71°14'24,202" Long. Oeste; 8°37'34,607" Latitud Norte).

También se hallaron las categorías “Red vial, ferroviaria y terrenos asociados” y “Herbazal denso”, la primera representada con un 1,98% (84,66 ha) y la segunda con 1,92% (82,07 ha). Por otra parte, las “Áreas agrícolas heterogéneas” se hacen presentes en 1,70% (72,77 ha), principalmente al este de la cuenca de la quebrada La Portuguesa y de manera muy focalizada. El resto de las categorías comprenden áreas menores al 1,66%.

Validación cartográfica

Previo a la ejecución de la matriz de confusión, se definieron para cada una de las categorías el tamaño de muestreo proporcional correspondiente al 5% y 10% respectivamente (Tabla 3) como rango establecido para la elaboración de las muestras verdad–terreno. A partir de ellos, se definieron los tamaños finales de las muestras. De dicha forma, “Lagunas, lagos y ciénagas naturales (Llcn)” constituyó la categoría de muestras más pequeña definida con 0,003 ha y el “Bosque denso (Bd)” la más grande establecida con 168,31 ha. Esta variación se originó, debido a que los polígonos

interpretados por el experto variaron de tamaño en función del área de cada categoría. La suma de los totales de las muestras representó el 8,02% del mapa, es decir 342,53 ha.

Tabla 2. Áreas y porcentajes de las diferentes coberturas y usos de la tierra de las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán (Fuente: elaboración propia).

CÓDIGO	COBERTURA	ÁREA HA	%
1.1.1	Tejido urbano continuo (Tuc)	176,29	4,13
1.1.2	Tejido urbano discontinuo (Tud)	50,83	1,19
1.2.1	Zonas industriales o comerciales (Zic)	1,60	0,04
1.2.2	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados (Rvfta)	84,66	1,98
1.2.5	Obras Hidráulicas (Oh)	0,69	0,02
1.4.1	Zonas verdes urbanas (Zvu)	15,50	0,36
1.4.2	Instalaciones recreativas (Ir)	4,61	0,11
2.1	Cultivo transitorio (Ct)	32,86	0,77
2.2	Cultivo permanente (Cp)	9,39	0,22
2.3.1	Pasto limpio (Pl)	40,62	0,95
2.3.2	Pasto arbolado (Pa)	164,76	3,86
2.4	Áreas agrícolas heterogéneas (Aah)	72,77	1,70
3.1.1	Bosque denso (Bd)	2011,74	47,07
3.1.2	Bosque abierto (Ba)	204,53	4,79
3.1.3	Bosque fragmentado (Bf)	274,57	6,42
3.1.4	Bosque de galería o ripario (Bgr)	61,00	1,43
3.2.1.1	Herbazal denso (Hd)	82,07	1,92
3.2.1.2	Herbazal abierto (Ha)	116,73	2,73
3.2.2.1	Arbustal denso (Ad)	70,84	1,66
3.2.2.2	Arbustal abierto (Aa)	256,45	6,00
3.2.3	Vegetación secundaria o en transición (Vst)	368,45	8,62
3.3.1	Zonas arenosas naturales (Zan)	3,97	0,09
3.3.2	Afloramiento rocoso (Ar)	56,86	1,33
3.3.3	Tierras desnudas y degradadas (Tdd)	88,90	2,08
5.1.1	Ríos (R)	22,61	0,53
5.1.2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales (Llcn)	0,04	0,0008
5.1.4	Cuerpos de aguas artificiales (Caa)	0,26	0,01
TOTAL		4273,58	100,00

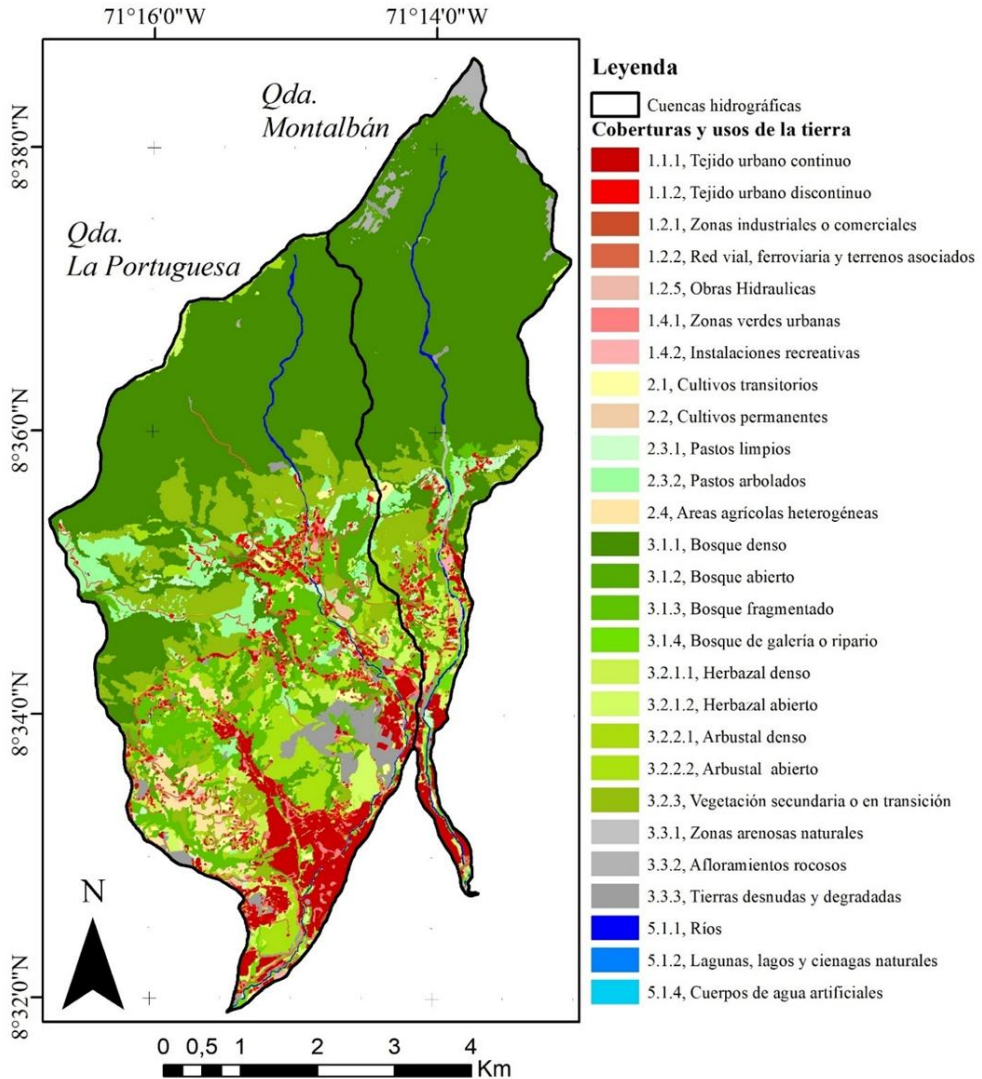


Figura 2. Mapa de coberturas y usos de la tierra: microcuencas de las quebradas La Portuguesa Montalbán (Fuente: elaboración propia).

El resultado de la matriz de confusión para el mapa (Tabla 4), indicó que el acorde entre el mapa y las muestras “verdad–terreno”, en 342,53 ha, fue de 324,71 ha, lo que representó una fiabilidad global de 94,80%, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos por los científicos de 85 a 100% (Achard *et al.*, 2012), siendo esto ratificado al efectuar la valoración del índice de Kappa (0,93%), que mostró que la coincidencia es “casi perfecta” (0,81% – 1,00%) según Landis y Koch (1977). En otro orden de ideas, la categoría “Ríos” (R) constituyó el polígono de muestra más pequeña con 0,0005%

(0,0018 ha) y la categoría “Bosque denso” (Bd) el polígono de muestra más grande con 8,553% (29,30 ha), existiendo una diferencia en las dimensiones de polígonos interpretados por el experto de 8,552%.

También se evidenció que existen seis categorías que presentaron un acuerdo del 100% en sus proporciones, las cuales se mencionan a continuación: “Zonas industriales o comerciales” (0,15 ha), “Obras hidráulicas” (0,04 ha), “Instalaciones recreativas” (0,46 ha), “Cultivos permanentes” (0,61 ha), “Lagunas, lagos y ciénagas naturales” (0,003 ha) y “Cuerpos de aguas artificiales” (0,01 ha); en ellas no se registraron errores de omisión ni comisión, lo que manifiesta el acuerdo entre el mapa y las muestras “verdad–terreno”.

Tabla 3. Porcentaje del área de las coberturas y usos de la tierra al 5 % y 10 % para las unidades de muestreo (Fuente: elaboración propia).

Categoría	Código	Área (ha)	Área 5%	Área 10%	Área Muestras
Tejido urbano continuo (Tuc)	1.1.1	176,294	8,815	17,629	10,519
Tejido urbano discontinuo (Tud)	1.1.2	50,832	2,542	5,083	4,157
Zonas industriales o comerciales (Zic)	1.2.1	1,601	0,080	0,160	0,149
Red vial ferroviaria y terrenos	1.2.2	84,658	4,233	8,466	5,887
Obras Hidráulicas (Oh)	1.2.5	0,686	0,034	0,069	0,042
Zonas verdes urbanas (Zvu)	1.4.1	15,505	0,775	1,550	1,179
Instalaciones recreativas (Ir)	1.4.2	4,606	0,230	0,461	0,458
Cultivo transitorio (Ct)	2.1	32,864	1,643	3,286	3,072
Cultivo permanente Cp	2.2	9,385	0,469	0,939	0,611
Pasto limpio (Pl)	2.3.1	40,617	2,031	4,062	3,486
Pasto arbolado (Pa)	2.3.2	164,763	8,238	16,476	11,913
Áreas agrícolas heterogéneas (Aah)	2.4	72,770	3,639	7,277	7,140
Bosque denso (Bd)	3.1.1	2011,744	100,587	201,174	168,316
Bosque abierto (Ba)	3.1.2	204,525	10,226	20,453	19,321
Bosque fragmentado (Bf)	3.1.3	274,566	13,728	27,457	23,658
Bosque de galería o ripario (Bgr)	3.1.4	60,998	3,050	6,100	4,201
Herbazal denso (Hd)	3.2.1.1	82,068	4,103	8,207	5,887
Herbazal abierto (Ha)	3.2.1.2	116,733	5,837	11,673	10,270
Arbustal denso (Ad)	3.2.2.1	70,289	3,514	7,029	5,153
Arbustal abierto (Aa)	3.2.2.2	256,447	12,822	25,645	21,877
Vegetación secundaria o en transición	3.2.3	368,445	18,422	36,845	22,795
Zonas arenosas naturales (Zan)	3.3.1	3,970	0,199	0,397	0,231
Afloramiento rocoso (Ar)	3.3.2	57,404	2,870	5,740	4,498
Tierras desnudas y degradadas (Tdd)	3.3.3	88,902	4,445	8,890	5,868
Ríos (R)	5.1.1	22,606	1,130	2,261	1,832
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.1.2	0,038	0,002	0,004	0,003
Cuerpos de agua artificiales (Caa)	5.1.4	0,262	0,013	0,026	0,014
Área Total		4273,579	213,679	427,358	342,53752

Tabla 4. Matriz de confusión en hectáreas para el mapa de cobertura y usos de la tierra en hectáreas

Categoría	CATEGORIAS DEL MAPA DE COBERTURAS Y USOS DE LA TIERRA																				Total muestras	% muestras	Error comisión								
	Tuc	Tud	Zic	Rvfla	Oh	Zrvu	Ir	Ct	Cp	Pl	Pa	Aah	Bd	Ba	Bf	Bgr	Hd	Ha	Ad	Aa				Vst	Zan	Ar	Tdd	R	Llcn	Caa	
Tuc	10.471	0.129	0.000	0.099	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.815	0.25	0.03
Tud	0.000	3.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.092	0.10	0.02	
Zic	0.000	0.000	0.148	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.148	0.00	0.00	
Rvfla	0.021	0.008	0.000	5.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.258	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.989	0.14	0.05	
Oh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.00	0.00	
Zrvu	0.021	0.000	0.000	0.002	0.000	1.168	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.234	0.03	0.05	
Ir	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.458	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.476	0.01	0.04	
Ct	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.989	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.119	0.07	0.04	
Cp	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.610	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.610	0.01	0.00	
Pl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.454	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.478	0.08	0.01	
Pa	0.000	0.002	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.782	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.657	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	12.542	0.29	0.06	
Aah	0.000	0.006	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.829	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.939	0.16	0.02	
Bd	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	168.023	3.602	0.013	0.000	0.109	0.001	0.000	0.163	0.000	0.000	1.581	0.000	0.016	0.000	0.045	0.000	0.000	173.565	4.06	0.03	
Ba	0.001	0.003	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.043	0.000	10.544	0.000	0.002	0.494	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.103	0.26	0.05	
Bf	0.010	0.005	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.041	0.000	0.000	23.385	0.000	0.375	0.000	0.001	0.085	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	23.954	0.56	0.02	
Bgr	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.035	4.187	0.276	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	4.543	0.11	0.08	
Hd	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.034	0.039	0.001	0.000	1.858	0.000	0.000	0.200	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.226	0.05	0.17	
Ha	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.257	10.235	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.613	0.25	0.04	
Ad	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.034	0.009	0.414	0.005	5.084	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.608	0.13	0.09	
Aa	0.000	0.001	0.000	0.014	0.000	0.001	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.186	0.000	1.006	0.000	0.000	20.895	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.125	0.52	0.06	
Vst	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.059	0.081	0.294	5.102	0.000	0.000	0.187	0.000	0.027	0.002	20.491	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.250	0.61	0.22	
Zan	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.220	0.000	0.000	0.001	0.000	0.222	0.01	0.01		
Ar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.001	0.000	0.000	4.481	0.000	0.000	0.000	4.499	0.11	0.00		
Tdd	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	0.000	0.462	0.000	0.000	0.000	5.866	0.000	0.000	0.000	6.478	0.15	0.09		
R	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	1.783	0.000	0.000	1.843	0.04	0.03	
Llcn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.00	0.00	
Caa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014	0.00	0.00	
Total muestras	10.524	4.157	0.148	5.887	0.042	1.177	0.458	3.071	0.611	13.486	11.914	7.143	168.317	19.315	23.659	4.198	5.886	10.269	5.153	21.878	22.797	0.229	4.496	5.866	1.832	0.003	0.014	342.53	8.02	1.22	
% muestras	0.246	0.097	0.003	0.138	0.001	0.028	0.011	0.072	0.014	0.082	0.279	0.167	3.939	0.452	0.554	0.098	0.138	0.240	0.121	0.512	0.533	0.005	0.105	0.137	0.043	0.000	0.000	8.02	Precision G.	0.95	
Error omission	0.005	0.040	0.000	0.031	0.000	0.008	0.000	0.027	0.002	0.009	0.011	0.044	0.002	0.454	0.012	0.003	0.684	0.003	0.013	0.045	0.101	0.041	0.003	0.000	0.027	0.000	0.000	1.57	Kappa	0.93	

Por el contrario, las categorías menos acertadas se encuentran en los diversos tipos de vegetación, estas fueron: el bosque abierto, donde de las 19,32 ha muestreadas solo 10,54 ha fueron acertadas, confundiendo mayormente con Bosque denso y vegetación secundaria; la categoría “Herbales densos”, de 5,89 ha valoradas solo 1,86 ha coincidieron, siendo el resto confundida con arbustales abiertos, bosque denso y abierto, y, finalmente, la vegetación secundaria, donde de 22,80 ha, solo fueron asignadas correctamente 20,49 ha, siendo el resto confundido con bosque denso y con pastos arbolados (de la misma forma se pueden interpretar las clases restantes).

DISCUSIÓN

Las ventajas de utilizar polígonos de cobertura terrestre como unidad básica de medida residen en que las coberturas pueden ser observadas y que herramientas como los sensores remotos y sistemas de información geográfica pueden ayudar a una primera estratificación de los usos relacionados con estas, estableciendo en consecuencia una relación espacial entre ambas (Jansen, 2006).

La cartografía generada (nivel detallado) constituye un producto de gran importancia para la toma de decisiones, a diferencia de los productos globales de coberturas de la tierra (nivel de reconocimiento y exploratorio). La explicación radica en que, aunque estos últimos son utilizados con frecuencia como la mejor alternativa disponible cuando no se dispone de mapas adecuados y oportunos a nivel nacional, regional o local, los mismos presentan inconsistencias que dificultan un uso más extendido y efectivo para contribuir de manera significativa a la formulación de políticas, la planificación y la gestión y otros procesos en los que se sabe que decisiones más efectivas, transparentes y defendibles conducen a mejores resultados en el mundo real (Saah *et al.*, 2019).

Un aspecto destacable y que le da un alto valor a la cartografía elaborada fue el hecho de haber recurrido a la interpretación visual de imágenes, en contraste con procedimientos automatizados como las clasificaciones supervisadas. Ejemplo de ello es Esquea *et al.* (2019), quienes solo pudieron identificar seis categorías a partir de los valores numéricos de los píxeles pertenecientes a coberturas (las más contrastantes) y no de usos, dada la imposibilidad de diferenciar numerosas clases similares por parte del algoritmo supervisado, condición que los condujo a obviar usos y generalizar coberturas (en contraposición, este estudio identificó 27 categorías).

De igual modo, se reconoce que la interpretación visual requiere un alto grado de intervención humana (Borràs *et al.*, 2017), aspecto que debe ser tomado en cuenta en la definición de un proyecto de generación cartográfica, ya que en algunos casos puede ser más eficiente la aplicación de un método automatizado. Ejemplo es Hernández-Cavazos *et al.* (2025), quienes aplicaron una clasificación supervisada para detectar solo dos categorías (vegetación ribereña y áreas desprovistas de vegetación).

Aunado a las ideas anteriores sobre interpretación visual y nivel de detalle, la

cartografía obtenida cuenta con la fortaleza de haber sido validada (matriz de confusión, errores de omisión y comisión, confiabilidad global e índice de Kappa), lo que otorga un mayor conocimiento de la incertidumbre de los resultados, a diferencia de las cartografías generadas por Alva y León (2017), Luna *et al.* (2024) y Hernández-Cavazos *et al.* (2025), donde no se estimó la exactitud temática. Retomando la importancia de la interpretación visual, Hurtado y Lizarazo (2019) han señalado que, a partir de su implementación en Colombia, se han obtenido resultados cada vez más altos en exactitud temática en coberturas (y sus cambios), la cual para el año 2018 estimó un valor de Kappa global cercano al 95%.

El empleo de las 27 categorías Corine Land Cover en el estudio brinda una mayor precisión en comparación con categorías ambiguas como “sombras o áreas sin información” (Buitrago *et al.*, 2011), que no suministran información alguna sobre coberturas o usos de la tierra. De igual modo acontece con categorías generales como “vegetación” y “zona poblada” (Esquea *et al.*, 2019); la primera no distingue tipos de vegetación y la segunda no especifica las actividades que se realizan en su interior. Estas categorías, al ser creadas por métodos automatizados, no cuentan con precisión, a diferencia de la obtenida por interpretación visual, que sí la permite lograr. Otro aspecto que debe evitarse es el uso de categorías referidas a ecosistemas, por ejemplo “páramo” (Osorio *et al.*, 2009) como sinónimo de herbazal, pues aunque este presenta mayoritariamente vegetación herbácea, también se hallan presentes formaciones vegetales como arbustales y árboles de altura baja (Christmann y Oliveras, 2020).

A diferencia de los trabajos de Cuervo (2011), Corpoandes (2014) y Peña y Ángulo (2020a; 2020b), quienes elaboraron cartografías en escalas medianas (Marquina y Mogollón, 2018), esta investigación presenta una escala grande (1:1500), lo cual la hace más precisa y útil para conocer las extensiones de las coberturas y usos existentes en las microcuencas. Otro aspecto que podría significar una ventaja de este estudio, radica en el hecho de que se empleó un sistema estandarizado de clasificación como lo es Corine Land Cover, en contraste con los señalados, en los que se determinaron categorías a partir de criterios y observaciones de los investigadores, resoluciones que podrían conducir a incompatibilidades entre clases a la hora de usarlas con otras estandarizadas como la propia Corine Land Cover o la desarrollada por la Unión Geográfica Internacional, cuyo propósito sea el de obtener resultados fácilmente comparables entre unas y otras, y disponer de una base de datos amplia del área (Alva y León, 2017).

CONCLUSIONES

El éxito de la planificación y ejecución de proyectos o programas de desarrollo local o regional amerita en su formulación indudablemente de información básica de coberturas y usos. Sin ella resulta difícil iniciar un ordenamiento, ya que inicialmente se precisa conocer lo que se va a ordenar antes de formular y plantear soluciones o alternativas apropiadas. La información aquí generada podría ser también aprovechada para la planificación de programas de educación ambiental que sean transversales a todas las comunidades y que promuevan proyectos de investigación que generen

estrategias para la formulación de planes de manejo integrado y propuestas conservacionistas.

La utilización de recursos tecnológicos modernos para estimar usos y coberturas de la tierra, como las imágenes obtenidas con SAS Planet, en conjunción a programas como Qgis, permiten determinar las categorías existentes, información clave en la ordenación territorial, especialmente en la configuración de la cuenca como unidad territorial; ambos recursos de dominio público y sin costo alguno, otorgan facilidades para alcanzar tales objetivos.

Es importante usar metodologías estandarizadas de clasificación de coberturas y usos de la tierra, en primer lugar, para generar información útil, dadas las múltiples aplicaciones en las que se pueden emplear, en especial, el estudio de la dinámica de las categorías involucradas y el impacto generado en ellas por el cambio climático; en segundo lugar, porque permiten la conversión entre metodologías estandarizadas, en contraposición a clasificaciones no estandarizadas que pueden presentar incompatibilidades; y finalmente, porque podrían contribuir de manera ordenada y sistemática a la generación de una cartografía de este tipo más exhaustiva y precisa.

En cuanto a las categorías encontradas en las microcuencas, los bosques densos (47,07%) están expresados en gran proporción como una unidad continua, ubicados primordialmente en las zonas de alta pendiente y amparados bajo la figura de Parque Nacional. Por su parte, en las zonas bajas y medias se pueden encontrar bosques abiertos (4,79%), fragmentados (6,42%) y de galería (1,43%). En las zonas bajas, es evidente el desarrollo de actividades urbanas (7,47%), principalmente representadas por las categorías de nivel 1. En cuanto a las actividades agrícolas, estas representan el 7,5%.

Finalmente, a pesar de que la interpretación visual requiere extensos lapsos temporales, en contraste con los procedimientos automatizados que pueden ser supervisados o no, es aconsejable llevarla a cabo, considerando que se perciben con mayor exactitud las diversas coberturas y usos existentes, resultados que pueden optimizarse a partir de las mejoras en la calidad de los sensores que han supuesto un incremento significativo en la disponibilidad de imágenes de alta resolución.

De igual modo, resulta crucial la realización de visitas a campo para corroborar lo observado en las imágenes satelitales. En este estudio, al igual que el de Camargo *et al.* (2018) y Malaver *et al.* (2023), estas versaron sobre la accesibilidad posible en el terreno, aunado a la satisfacción de cumplir con la observación y captura de fotografías de diversas categorías, tanto cercanas como lejanas.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela), especialmente al Departamento de Ordenación de Cuencas Hidrográficas; de igual modo a los M. Sc. Wilder Rivas, Karina Peña y Silania Savedra, a

través de los cuales se pudo obtener información y colaboración para la realización de esta investigación. Finalmente, nuestro agradecimiento a los árbitros y al Comité Editorial de la Revista Forestal Venezolana por sus aportes y observaciones.

REFERENCIAS CITADAS

- Achard, F., Brown, S., Brady, M., DeFries, R., Grassi, G., Herold, M., Mollicone, D., Mora, B., Pandey, D., Souza, C., Arino, O., Asner, G.P., Boschetti, L., Braatz, B., Chiuvioco, E., Csiszar, I., Cutler, M., Englhart, S., de Jong, B... Wulder, M. 2012. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. Wageningen (The Netherlands): GOFCC-GOLD Land Cover Project Office, hosted by Wageningen University. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC76900>
- Al-Doski, J., Mansor, S. B., Ng, H., San, P. y Khuzaimah, Z. 2020. Land cover mapping using remote sensing data. *Am. J. Geogr. Inf. Syst.*, 2020, 9(1), 33-45. <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajgis.20200901.04.html>
- Alva, M. y León, A. 2017. Diseño e implementación de un catálogo de objetos geográficos para la cobertura de la Tierra mediante la leyenda Corine Land Cover, para el departamento de Ancash – Perú. *Revista UD y la geomática*, 11, 55-62. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/7923>
- Bareth, G. y Waldhoff, G. 2018. Gis for mapping vegetation. *Comprehensive Geographic Information Systems*, 3, 1 – 27. Doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09636-6>
- Belandria, N., Bongiorno, F., Rivas, D. y Moreno, S. 2015. Mapa de Riesgo Geotécnico con Fines de Urbanismo en la Vía de Mérida-Jají, Estado Mérida. En D. Manzanal y A. Sfriso (Eds). *From Fundamentals to Applications in Geotechnics* (pp. 2948-2956). IOS Press. 10.3233/978-1-61499-603-3-2948
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G. y Camps-Valls, G. 2017. Land use classification from Sentinel-2 imagery. *Revista de Teledetección*, 48, 55-66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Bongiorno, F., Molina, G., Belandria, N. y Rivero, R. 2011. Estudio de las propiedades geomecánicas de los taludes ubicados entre los Guaimaros y Mesa de los Indios, Mérida Venezuela. *Geominas*, 39(56), 135-143. <https://drive.google.com/file/d/0Bwo9zNA8rjCgWGRzSXlsTlhIamM/view?resourcekey=0-xUuRBxVCXEQpDkKMWR-3MQ>
- Buitrago, E., Aranguren, A. y Marquina, J. 2011. Determinación de cambios en la cobertura vegetal del cerro El Morro, parroquia Mucurubá, Mérida - Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 26 (2), 85-106. <https://cetus.saber.ula.ve/handle/123456789/41962>

- Camargo, C., Pacheco-Angulo, C. y Jaimes-Rolón, M. 2018. Determinación del uso de la tierra en la microcuenca torrencial Quebrada Seca, Estado Táchira, Venezuela 2013. *UD y la Geomática*, 13, 49-60. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/15225>
- Camargo, C., Calderón-Dávila, A.G., Lobo-Márquez, J.A. y Ovalles-de Cabezas, Y. 2020. Identificación de conflictos y propuesta de asignación de usos de la tierra en la subcuenca quebrada Mejías, municipio Antonio Pinto Salinas, estado Mérida, Venezuela. *Revista de Topografía Azimut*, 11 (1), 46-65. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/15979>
- Cardoza, J. 2017. *Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en ingeniería civil utilizando el software GV SIG*. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/16402>
- Christmann, T. y Oliveras, I. 2020. Nature of alpine ecosystems in tropical mountains of South America. En M. I. Goldstain y D.A. Della Sala (Eds.), *Encyclopedia of the world's biomes. Volume 1. Mountains (Alpine Systems) - Life at the Top* (pp. 282–290). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.12481-9>
- Chuvieco, E. 2016. *Fundamentals of satellite remote sensing an environmental*. Approach (2.ª ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19478>
- Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20 (1), 37– 46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Congalton, R. y Green, K. 2009. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(6), 448-449. <https://doi.org/10.1016 /j.jag.2009.07.002>
- Corpoandes. 2014. Dossier municipal, Campo Elías. Directorio de la Corporación de los Andes. Documento no publicado].
- Cuervo, V. 2011. *Flujos de detritos y otros procesos hidrogeomorfológicos en dos cuencas de los Andes centrales venezolanos: una contribución a la zonificación de amenazas en abanicos aluviales*. [Tesis de maestría, Universidad de Los Andes]. Archivo digital. <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/handle/654321/16491>
- De La Rosa, D. 2008. *Evaluación agroecológica de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://digital.csic.es/handle/10261/37155>
- Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2025, 01 de agosto). World Imagery. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>
- Esquea, L., Domínguez, Y., Sanjuán, S. y Pérez, D. 2019. Cambios en las coberturas de la tierra en el periodo 1984-2017 y análisis de la amenaza ante inundaciones en el

- municipio de Campo de la Cruz, Atlántico-Colombia. *Revista de Ciencias*, 23(2), 13-37. <https://doi.org/10.25100/rc.v23i2.9348>
- Ewel, J. Madriz, A. y Tosi, J. 1968. *Zonas de Vida de Venezuela, memoria explicativa sobre el mapa ecológico*. MAC-FONAIAP. <https://api.semanticscholar.org/ CorpusID:160163242>
- Gobierno de Navarra. 2011. (2011, 15 de abril). *Clasificación climática de Köppen*. <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>
- Guarache, A. (2022, 14 octubre). Afectadas 36 viviendas y vialidad en Mérida por las lluvias. *Últimas Noticias*. <https://ultimasnoticias.com.ve/noticias/general/afectadas-36-viviendas-y-vialidad-en-merida-por-las-lluvias/>
- Guarache, A. (2021, 20 agosto). Afectados por lluvias cuatros municipios del estado Mérida. *Últimas Noticias*. <https://ultimasnoticias.com.ve/noticias/pulso/afectados-por-lluvias-cuatros-municipios-del-estado-merida/>
- Hansen, MC. 2018. Vegetation Continuous Fields. En S. Liang (Ed). *Comprehensive Remote Sensing*, Volume 6 (pp. 4-12). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10378-1>
- Hernández-Cavazos, M. C., Alanís-Rodríguez, E., Sandoval-García, R., Molina-Guerra, V. M., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A. y Cuellar-Rodríguez, L. G. 2025. Cambios espacio-temporales de la vegetación ribereña en la subcuenca hidrológica Monterrey, Nuevo León. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 22(50), 69-87. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/7759>
- Holdridge, L. R. 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science* 105, 367-368. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.105.2727.367>
- Hurtado, L. y Lizarazo, I. 2019. Identificación de perturbaciones en el bosque húmedo tropical colombiano usando series temporales de imágenes satelitales Landsat mediante el algoritmo Landtrendr. *Revista de Teledetección*, (54), 25-39. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12285>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. 2010. *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. IDEAM. https://www.corpocesar.gov.co/files/Ref_UnicoyPersistente/Corine_Land_Cover.pdf
- Jansen, L. J. y Di Gregorio, A. 2003. Land-use data collection using the “land cover classification system”: results from a case study in Kenya. *Land use policy*, 20, 131-148. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(02\)00081-9](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(02)00081-9)
- Jansen, L. J. 2006. Harmonization of land use class sets to facilitate compatibility and comparability of data across space and time. *Journal of Land Use Science*, 1(2-4), 127-156. <https://doi.org/10.1080/17474230601079241>

- Jensen, J. 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. (3rd Ed.). Pearson College Div.
- Köppen, W. P. 1884. Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet. *Meteorologische Zeitschrift* 1, 215–226. https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1884.pdf
- Köppen, W. P. 1936. Das geographische system der climate, 1-44 (Gebrüder Borntraeger: Berlin, Germany, 1936). https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf
- Landis, J. y Koch, G. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1): 159-174. <https://www.jstor.org/stable/2529310>
- Lencinas, J. y Siebert, A. 2009. Relevamiento de Bosques con Información Satelital: Resolución Espacial y Escala. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 17(1, 2): 01-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48113035010>
- Leija, E., Reyes, H., Reyes, O., Flores, J. y Sahagún, F. 2016. Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 22 (1), 125 -140. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221481>
- López, F., Aguilar, Pérez, L., Zambrano, Y. y Ávila, E. 2024. Aplicación de evaluación multicriterio para modelar factores climáticos y ambientales en la identificación de regiones áridas en el noroeste de México. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 12(28 Especial), 54-70. <https://doi.org/10.36825/RITI.12.28.006>
- Luna, P., Adame, S., Gutiérrez, J. y Pineda, N. 2024. Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la zona de influencia del área de protección Nevado de Toluca, 1970-2020. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 16 (29), 1-28. https://87538a9a-4129-4498-961e-1bc765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e_6523f3aecbbb48b4a842f90f371fbceb.pdf
- Malaver, Z., Camargo, C., Osorio, A. y Andrades, J. 2023. Cambios en la cobertura y usos de la tierra en el municipio de Antolín del Campo, Estado de Nueva Esparta - Venezuela, durante los períodos 2015-2018 y 2018-2022. *Revista de Ciencias*, 26(2), 1-25. <https://doi.org/10.25100/rc.v26i2.12899>
- Marquina, J. y Mogollón, A. 2018. Niveles y escala de levantamiento de información geográfica en sensores remotos. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(1): 42-52. <https://www.redalyc.org/journal/3477/347760307004/>
- Marquina, A., Badía, A., Romagosa, F. y Mejía, J. 2024. Una metodología para la identificación y caracterización del paisaje en la cuenca alta del río Santo Domingo - Venezuela. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 33 (2), 369-392.

<https://doi.org/10.15446/rcdg.v33n2.104052>

- Matteucci, S., Silva, M. y Rodríguez, A. 2013. Estado del sistema sociedad-naturaleza en el chaco argentino. *Fronteras*, 12, 1–22. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/15898>
- Medina, D., Montilla, N. y Pimstein, L. 2015. Mapa de unidades de suelo y litología superficial como contribución al proyecto gestión integral de riesgos en espacios urbanos – fase Mérida, Venezuela. *Boletín de Geología*, 37 (1), 83-97. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4531>
- Medina, S., Gutiérrez, J., Balderas, M. y Pérez, I. 2023. Fragmentación forestal y captura de carbono en un Parque Nacional del Estado de México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 15 (27), 1-21. https://87538a9a-4129-4498-961e-1bc765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e_f69972ee7aa64b3bad8be839f01daf07.pdf
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente [MPPA]. 2011. Estaciones meteorológicas. Datos mensuales de precipitación (mm). Dirección general de cuencas - Dirección de Hidrología y Meteorología. [Documento no publicado]
- Molina, G. y Albarrán, A. 2013. Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22 (1), 25 – 4. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n1.36305>
- NV5 Geospatial Solutions. (2018, 20 de mayo). *Calculate Confusion Matrices*. <https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/CalculatingConfusionMatrices.html>
- Olaya, V. 2014. *Sistemas de Información Geográfica*. https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C. y Wulder, M. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Osorio, R., Lozano, E. y Graterol, G. 2009. Cartografía de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca Alta del Río Santo Domingo, Estado Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 183-190.
- Pabón, R. (2020, 19 noviembre). Crecida excepcional de quebrada la portuguesa dejó viviendas afectadas y puentes colapsados en parroquia Montalbán. *Notiandes*. <https://www.notiandes24.com.ve/2020/11/crecida-excepcional-de-quebrada-la.html>
- Pabón, R. (2021, 24 agosto). Alcaldía del Municipio Campo Elías abocada a atender emergencias tras permanencia de lluvias en la entidad. *Reporteros de Mérida*.

<http://www.reporterosdemerida.com.ve/2021/08/alcaldia-del-municipio-campo-elias.html>

Peña, K. y Ángulo, F. 2020a. *Ficha descriptiva “Caracterización Socio ambiental Básica” Subcuenca hidrográfica quebrada Montalbán*. MINAGUAS – Aguas de Ejido C.A. [Documento no publicado]

Peña, K. y Ángulo, F. 2020b. *Ficha descriptiva “Caracterización Socio ambiental Básica” Subcuenca hidrográfica quebrada La Portuguesa*. MINAGUAS – Aguas de Ejido C.A. [Documento no publicado]

QGIS. 2024. Software QGIS. <https://qgis.org/download/>

Regil, H., Franco, S., Nava, G. y Ordóñez, J. 2015. Evaluación de las técnicas para el estudio del cambio de ocupación de suelo y propuesta metodológica para solventar algunas de sus inconsistencias: el Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (16), 61-86. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/447>

Saah, D., Tenneson, K., Matin, M., Uddin, K., Cutter, P., Poortinga, A., Nguyen, QH., Patterson, M., Johnson, G., Markert, K., Flores, A., Anderson, E., Weigel, A., Ellenberg, WL., Bhargava, R., Aekakkararungroj, A., Bhandari, B., Khanal, N., Housman, ... Chishtie, F. 2019. Land Cover Mapping in Data Scarce Environments: Challenges and Opportunities. *Front. Environ. Sci.*, 7:150. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00150>

SAGA. 2024. Software SAGA. <https://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>

Sánchez, J.M. 2016. Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la matriz de confusión. *Pensamiento matemático*, 6(2), 9-26. https://revista.giepm.com/wp-content/uploads/revista_impresa/vol_VI_num_2/inv_calidad_carto.pdf

SASGIS. 2017. Software SAS Planet. <http://sasgis.ru/sasplaneta/>

Silva, A. y Rubio, M. 2014. Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23(1): 133 – 146. https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/35580/pdf_555

Soares, H. y Méndez, S. 2014. O papel das geotecnologias no estudo de feicoes erosivas e de movimento de massa no Brasil. En A. Guerra y M. Jorge (eds.). *Processos erosivos e recuperacao de areas degradadas* (pp 95-125). Oficina de Textos. https://www.ofitexto.com.br/processos-erosivos-e-recuperacao-de-areas-degradadas/p?srsId=AfmBOoq8EoeoSWzq8JLESViMbrJc4LBukHX8osbA_KB-ICvOhY4Ytxvh

Tachack-García, M. y Carrasquel, F. 2010. Estado de conservación de los ecosistemas del ramal oriental de la Cordillera de los andes venezolanos. En J. Rodríguez, F.

- Rojas, y D. Hernández (eds.), *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela* (pp. 263-268). Provita, Shell Venezuela, Lenovo. https://ecosistemasamenazados.org/files/libro_rojo_ecosistemas_terrestres_Venezuela.pdf
- Tewabe, D. y Fentahun, T. 2020. Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6(1), 1778998. <https://doi.org/10.1080/23311843.2020.1778998>
- Temes, R. y Moya, A. 2021. *QGIS aplicado al urbanismo*. Ra-Ma Editorial. https://www.ra-ma.es/libro/qgis-aplicado-al-urbanismo_118815/
- Thenkabail, P. S. 2016. *Remotely sensed data characterization, classification, and accuracies*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19294>
- Valencia, G. y Anaya, J. 2009. Implementación de la metodología Corine Land Cover con imágenes Ikonos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 39-52. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/245>
- Velázquez, A., Medina, C., Durán, E., Amador, A. y Gopar, L. 2016. *Standardized Hierarchical Vegetation Classification. Mexican and Global Patterns*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41222-1>
- Vivas, L. 1992. *Los Andes Venezolanos*. Academia Nacional de la Historia.
- Yupanqui-Carrasco, O., Julca-Torres, J. y Valerio-Candia, E. 2021. Estimación de la superficie cultivada de Palma Aceitera mediante interpretación visual de imágenes satelitales durante los años 2016-2020. *Revista Xilema*, 31(1): 32-45. <https://doi.org/10.21704/x.v31i1.1781>
- Zambrano, S. (2020, 4 septiembre). Desbordamiento del río Montalbán en Mérida dejó zonas afectas. *Noticias todos ahora*. <https://www.todosahora.com/noticias-de-venezuela/desbordamiento-del-rio-montalban-en-merida-dejo-zonas-afectas/>