





## Identificación de conflictos y propuesta de asignación de usos de la tierra en la subcuenca quebrada Mejías, municipio Antonio Pinto Salinas, estado Mérida, Venezuela

### Identification of conflicts and land use allocation proposal in the Mejías creek sub-basin, Antonio Pinto Salinas municipality, Mérida state, Venezuela

Cristopher Edgar Camargo Roa <sup>1</sup>, Andrea Guadalupe Calderón Dávila <sup>2</sup>, Julio Alfredo Lobo Márquez <sup>3</sup> & Yajaira Ovalles de Cabezas <sup>4</sup>

**Para citar este artículo:** Camargo, C., Calderón-Dávila, A.G., Lobo-Márquez, J.A., 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) Pp: 46-65

Fecha de Recepción: 01 de marzo de 2020

Fecha de Aceptación: 16 de junio de 2020

#### Resumen

En la subcuenca quebrada Mejías se identificaron los conflictos de uso de la tierra a partir de mapas de uso actual y potencial, los cuales permitieron proponer una asignación de usos potenciales para decisiones de manejo de las áreas sobreutilizadas y subutilizadas, medidas que podrían ayudar a disminuir el material aportante de sedimentos al río Mocotíes, y al resguardo de las comunidades y sus bienes. Se emplearon dos imágenes satelitales Sentinel 2 (2A y 2B) con nivel de procesamiento 1C, gracias a las cuales fue posible identificar y categorizar el uso de la tierra para el año 2018 mediante la metodología de Corine Land Cover. Así, se obtuvo una precisión global de 94.56% e índice de Kappa de 0.9205. Igualmente, se adquirió a través del satélite Alos Palsar, un *modelo digital de elevación* con resolución espacial de 12.5 m, que originó los rangos de pendiente y aunado a la información de suelos, derivaron el mapa de uso potencial según

Sheng. Mediante la superposición de ambos mapas se obtuvieron 6 184.5 ha (53.75%) de zonas de uso conforme, seguidamente, las áreas sobreutilizadas abarcaron 29.27% (3 368.63 ha) y las subutilizadas, 16.97% (1 652.63 ha). Estos resultados permitieron proponer *áreas a reforestar* en 2 918.51 ha (25.37%), *áreas de uso agroforestal* en 1 479.96 ha (12.86%) y *áreas con potencial agrícola* en 1 006.43 ha (8.75%). Asimismo, se recomendó el establecimiento de pastizales naturales o sembrados en 131.11 ha (1.14%) y se identificaron 10.75 ha (0.09%) que requieren tratamiento de cárcavas.

**Palabras clave:** Alos Palsar, Corine Land Cover, Mocotíes, Sentinel 2, T.C. Sheng.

#### Abstract

In the Mejías Creek sub-basin, land use conflicts were identified from current and potential use maps, which in turn made it possible to propose an allocation of uses

<sup>1</sup>Universidad de los Andes (ULA). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Correo electrónico: ccamargoroa@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad de los Andes (ULA). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Correo electrónico: andreacalderon0604@gmail.com

<sup>3</sup>Universidad de los Andes (ULA). Correo electrónico: alfredo.lbo@gmail.com

<sup>4</sup>Universidad de los Andes (ULA). Correo electrónico: ovallesyaja@gmail.com

potentials to management decisions in overused and underused areas. These measures could help reduce the amount of sediment contributing to the Mocotíes River and protect the communities and their property. Two satellite images Sentinel 2 (2A and 2B) with processing level 1C were used to identify and categorize the land use by 2018, using the Corine Land Cover methodology. A map with global accuracy of 94.56 % and Kappa index of 0.9205 was obtained. Likewise, a Digital Elevation Model with spatial resolution of 12.5 m, was acquired through the Alos Palsar satellite, which originated the slope ranges and combined with the soil information, derived the map of potential use according to Sheng. By superimposing maps of current and potential

use, 6 184.5 ha (53.75 %) of areas of compliant use were obtained, then overused areas covered 29.27 % (3 368.63 ha) and underused areas 16.97 % (1 652.63 ha). These results made it possible to propose “areas to reforest” in 2 918.51 ha (25.37 %), “areas of agroforestry use” in 1 479.96 ha (12.86 %) and “areas with agricultural potential” in 1 006.43 ha (8.75 %). Additionally, the establishment of natural and/or sown grasslands was recommended in 131.11 ha (1.14 %) and 10.75 ha (0.09 %) were identified as requiring gully treatment.

**Keywords:** Alos Palsar, Corine Land Cover, Mocotíes, Sentinel 2, T.C. Sheng.

## INTRODUCCIÓN

El conflicto de uso de la tierra se entiende como la discrepancia que existe entre el uso actual y el que debería tener un área (Jiménez, Barbier y Rivera, 2000). Su análisis se realiza mediante la superposición de mapas, la cual permite identificar tanto áreas que por uso inadecuado presentan degradación de tierras (sobreutilización), como áreas desaprovechadas (subutilización) que poseen un potencial mayor al exhibido, información que podría ser utilizada para una gestión ambiental óptima, elaborar planes de ordenación territorial y fomentar un desarrollo ambiental sostenible (Guerra, 2014). Estos objetivos en zonas montañosas podrían ser logrados por medio de la clasificación de la capacidad de las tierras, medio por el cual las áreas de ladera pueden ser usadas para la agricultura de una manera sostenible (Sheng, 2000). Ejemplos de clasificaciones han sido Guillen, Faustino, Velásquez y Solís (2004); Santiago (2005); Ramírez, Alvarado, Pujol y Brenes (2008), y Hernández, Rojas y Vladimir (2013).

En los Andes venezolanos, los ecosistemas han sido seriamente transformados por la intensa presión de las actividades agrícolas, pecuarias, industriales y urbanas, que han

conllevado a la disminución y deterioro de los recursos naturales (Barrios y Quintero, 1999; Tachack-García y Carrasquel, 2010). Muestra de ello, ha sido la subcuenca quebrada Mejías, una de las principales tributarias del río Mocotíes, que presenta actualmente gran variedad de usos y coberturas vegetales que van desde zonas con bosque sin intervención aparente, hasta zonas con cultivos de ciclos cortos ejecutados de forma intensiva y sin ninguna medida conservacionista (Chacón, González y Pujaico, 2009), que aunado al predominio de materiales geológicos de alta meteorización (Ferrer, Arismendi y Méndez, 1970) y a características geomorfológicas de pendientes abruptas y vertientes accidentadas (Barrios y Quintero, 1999; Dugarte, 2002; González y Romero, 2003), han estimulado la inestabilidad de los suelos y modificado el comportamiento de la dinámica torrencial ante eventos extraordinarios de precipitación, condiciones que han fomentado 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 y media de la subcuenca (Rodríguez, 2007; Rivas *et al.*, 2009; IFLA, 2013). Prueba de ello fue la crecida torrencial acontecida en febrero de 2005, generadora de

graves daños a las poblaciones de Tovar, Santa Cruz de Mora, San Francisco y circunvecinas (Lafaille, Ferrer y Rincón, 2005), que dejó 16 000 personas afectadas y 48 fallecidas (Campos y Bravo, 2011).

El propósito de esta investigación consistió en la identificación de los conflictos de uso de la tierra y, consecuentemente, la clasificación de la capacidad de usos, como metas previas a la finalidad de establecer una propuesta de usos adecuados de la tierra que incluya la implementación de técnicas de manejo de suelos y aguas, que asociadas a la capacitación y sensibilización de las comunidades involucradas, ayuden a la recuperación de las zonas afectadas, y con ello, a la disminución del aporte de material sólido al río Mocotíes, acciones que contribuirían a la protección y resguardo de los habitantes de la subcuenca y sus bienes.

Para lograrlo, se sustentó el estudio en la teledetección –técnica aplicada–, dependiente del estado de desarrollo tecnológico del momento y en constante crecimiento, gracias a las innovaciones en los sensores y los métodos de tratamiento (Chuvieco, 2016), y en los sistemas de información geográfica (SIG), herramienta para el procesamiento de la información espacial, proporcionado por los avances tecnológicos de las últimas décadas (Silva y Rubio, 2014). Partiendo de ambas, se desarrolló una clasificación de capacidad de usos de la tierra, a través de la metodología de Sheng (1972), cuyos criterios y aplicaciones han sido detallados en variados documentos (Sheng, 1986, 2000; FAO, 1989; 1990; Sharma 1990, 1991; Molina y Sharma, 1993), de fácil entendimiento y empleo, aplicado en un gran número de países tanto a nivel de granja, o a mayor escala como cuencas y región (Sheng, 2000). La metodología implicó la elaboración de un mapa de usos existentes para el año 2018, siguiendo la metodología CORINE Land Cover (Ideam, 2010), y la confección de un mapa de uso potencial, de

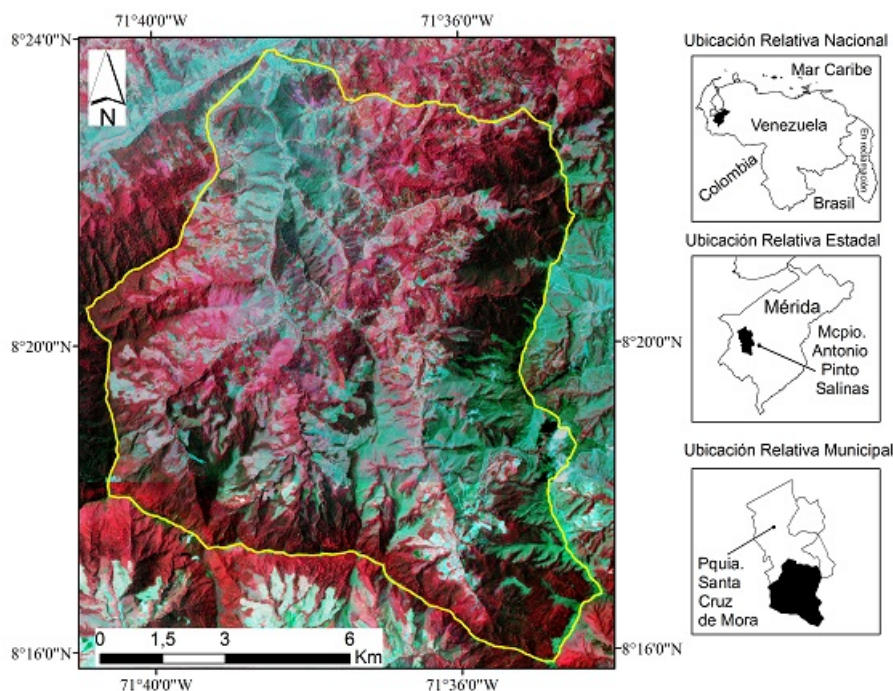
acuerdo con características físico-naturales como pendiente y profundidad de suelo (Sheng, 2000); gracias a dichos mapas, al ser sobrepuestos, se determinaron áreas en conflicto (sobreutilización y subutilización) así como también del uso conforme existente entre ambos, resultados con los que fue posible elaborar una serie de propuestas de usos y prácticas de conservación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La subcuenca quebrada Mejías forma parte de la sección baja de la cuenca hidrográfica del río Mocotíes, entre las coordenadas geográficas: 08°16'00" y 08°23'53" de latitud norte y 71°34'07" y 71°40'25" de longitud oeste. Cuenta con un área de 115.05 km<sup>2</sup>, de los cuales 21.07% (24.28 km<sup>2</sup>) se hallan en jurisdicción del Parque Nacional General "Juan Pablo Peñaloza". Políticamente se encuentra bajo la jurisdicción de la parroquia Santa Cruz de Mora, municipio Antonio Pinto Salinas, estado Mérida (Venezuela) (Rodríguez, 2007) (figura 1).

Desde el punto de vista hidrológico, está conformada por las microcuencas Ovalles, Guayabal y San Isidro, que exhiben, geomorfológicamente hablando, líneas de crestas elevadas, picos de pendientes pronunciadas, estrechas gargantas, valles encajonados y algunas zonas planas (González y Romero, 2003). Con respecto a sus suelos, predomina el suborden *orthents*, con desarrollo pedogenético débil, de poca evolución, y profundidades moderadas (50-90 cm) a poco profundas (20-50 cm) (Castillo, Salas, Trucic y Cabello, 1972; IFLA, 2013). Presenta una precipitación media anual de 1 194 mm con variaciones de 1 050 mm a 1 350 mm (García, 2008) y una temperatura promedio de 24 °C en la parte baja y 8 °C en la parte más alta (González y Romero, 2003).



**Figura 1:** Localización geográfica del área de estudio e imagen satelital Sentinel 2 en composición falso color (8-4-3).

En cuanto a su población, presentaba 3 301 habitantes para el año 2018 (INE, 2014), siendo sus principales actividades económicas, la agropecuaria y, en menor medida, el comercio y turismo. Dentro de la primera, la actividad agrícola constituye la principal fuente de ingresos con el establecimiento de cultivos de café a plena exposición o bajo sombra (Chacón, González y Pujaco, 2009); igualmente se evidencian, en terrenos de alta a moderada inclinación, cultivos frutales de naranjas, mandarinas, limones, piñas, aguacates, entre otros (Méndez, 2004).

### Datos y preprocesamiento de imágenes satelitales Sentinel 2

Se utilizaron dos imágenes Sentinel 2 (2A y 2B) proporcionadas por la European Space Agency (ESA), captadas el 12 y 17 de marzo de 2018, respectivamente, y descargadas a partir de la colección del USGS (U.S. Geological Survey) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)

de distribución gratuita, con tamaño de píxel 10 m y nivel 1C (empleo de un DEM de 90 m para su corrección geométrica) (ESA, 2000), la cuales permitieron obtener una visión global e integral de la zona de estudio (Pérez, Blanquicett, Ruiz y Gónima, 2009).

Sustentado en la información espectral de las imágenes Sentinel, se elaboraron dos composiciones para discriminar visualmente en pantalla los usos existentes, en la primera se asignaron a los canales (rojo, verde y azul), las bandas espectrales rojo (0.65-0.68), verde (0.54-0.57) y azul (0.45-0.52) para obtener una composición a color natural (4-3-2) y en la segunda, las bandas del infrarrojo cercano (0.78-0.90), rojo (0.65-0.68), y verde (0.54-0.57) para obtener una composición a falso color (8-4-3) (Chuvienco, 2016) (figura 1), ésta última permitió diferenciar etapas de madurez de las coberturas vegetales respecto al contenido de clorofila (Acosta, 2017).

Asimismo, se aplicó un mejoramiento de contraste a partir de la ecualización de los histogramas para aumentar la variedad de colores y perfeccionar el contraste de las coberturas, optimizando de esta forma la apariencia y calidad visual de las imágenes (Pacheco *et al.*, 2006), es decir, una adaptación de la resolución radiométrica de la imagen a la capacidad de visualización del monitor de los valores de píxeles existentes, que trae como consecuencia su mejor distribución (ESRI, 2016; Chuvieco, 2016).

También se empleó una imagen de mayor resolución a color natural suministrada por la herramienta Collect Earth (<https://collect.earth/>), que sirvió para dilucidar posibles confusiones en la interpretación visual, instrumento que cumple además con propósitos como el de dar soporte a inventarios forestales, evaluaciones de uso y cambio de uso de la tierra, evaluaciones forestales, monitoreo de tierras agrícolas y urbanas, validación de mapas existentes, recopilación de datos socioeconómicos espacialmente explícitos y la cuantificación de la deforestación, reforestación y desertificación (FAO, 2020). Adicionalmente, se utilizó un *modelo digital de elevación* (MDE) Alos Palsar, con un tamaño de píxel de 12.5 m (Alaska Satellite Facility, 2020), de distribución gratuita, descargado del portal Vertex de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) (<https://search.asf.alaska.edu/>).

### Definición del área mínima cartografiable

Dado que el área mínima cartografiable (UMC) permite conocer las dimensiones del objeto con menor representación en el mapa, realzando su coherencia y utilidad (Lencinas y Siebert, 2009), este se definió en 0.5 ha, considerando la escala de interés de la investigación de 1:15 000 y el nivel de información generado por el satélite Sentinel 2 (Marquina y Mogollón, 2018).

### Cartografía de usos de la tierra

Debido a la imposibilidad de desarrollar observaciones en campo, la definición de los diversos usos se realizó únicamente mediante la interpretación visual de las imágenes Sentinel, los reportes bibliográficos existentes y el auxilio en casos de incertidumbre de imágenes de mayor resolución existentes en Collect Earth. Ejemplos de empleo de estas soluciones han sido Camargo, Pacheco y Jaimes (2018), y Silva y Rubio (2014). El método de la interpretación visual fue establecido por ser una técnica vigente y preferida por autores como Larsson y Strömquist (1995); Molina y Albarrán (2013); Matteucci, Silva y Rodríguez (2013); Chuvieco (2016), y Leija *et al.* (2016), quienes la han señalado como la 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, al brindar mayor exactitud que los procesos digitales automatizados de clasificación.

Para la generación de la cartografía se utilizó el *software* ArcGis 10.1, considerando en la interpretación visual, criterios de respuesta espectral como tamaño, forma, textura, contexto, sombras y asociación (Regil, Franco, Nava y Ordóñez, 2015; Chuvieco, 2016). A partir de ellos se estructuró de manera jerárquica la leyenda CORINE Land Cover, que implica derivar y detallar unidades de coberturas de la tierra (niveles y subniveles), sustentados en criterios fisionómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo (Ideam, 2010). Las categorías definidas con sus máximos niveles de detalle identificados en el área se señalan en la tabla 1.

**Tabla 1:** Unidades de coberturas de la tierra identificadas en el área de estudio según la metodología CORINE Land Cover.

1	<b>Territorios artificiales: zonas urbanas correspondientes a ciudades, poblaciones y áreas periféricas con procesos graduales de urbanización. Se divide en:</b>
1.1	<b>Zonas urbanizadas:</b> territorios cubiertos de infraestructura urbana o rural, que pueden tener a sociado espacios verdes y redes de comunicación.
1.1.1	<b>Tejido urbano continuo:</b> espacios conformados por edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente, en proporción mayor al 80 % de su superficie. El área de la unidad debe ser superior a cinco hectáreas (5 ha).
1.1.2	<b>Tejido urbano discontinuo:</b> espacios conformados por edificaciones y zonas verdes ubicadas de manera dispersa y discontinua. El área de la unidad debe ser inferior a cinco hectáreas (5 ha).
1.2	<b>Redes de comunicación:</b> territorios cubiertos por vialidad que permite el desarrollo de las actividades ejecutadas en el área.
1.2.2	<b>Red vial:</b> conjunto de vías terrestres que permiten establecer relaciones comerciales o sociales entre las poblaciones.
2.	<b>Territorios agrícolas:</b> terrenos dedicados principalmente a producción de alimentos y fibras, ya sea que se encuentren con cultivos o pastos, tanto en procesos rotativos, en descanso o barbecho. Se dividen en:
2.1	<b>Cultivos:</b> áreas ocupadas con cultivos de ciclo corto y de ciclo largo.
2.2	<b>Pastos:</b> tierras cubiertas con hierba densa que puede ser sembrada por el hombre con fines ganaderos o que puede haberse establecido a través de procesos de sucesión vegetal.
2.3	<b>Áreas agrícolas heterogéneas:</b> unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en forma de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales.
3	<b>Bosques y Áreas seminaturales:</b> grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por afloramientos rocosos, suelos desnudos y zonas degradadas.
3.1	<b>Bosques:</b> áreas naturales o seminaturales constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas.
3.2	<b>Áreas con vegetación herbácea o arbustiva:</b> grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica
3.2.1	<b>Herbazal:</b> comunidad vegetal que se encuentra dominada por elementos herbáceos, generalmente por formas de vida con figuras de rosetas, musgos, líquenes y, en algunos casos, más especializados y ubicados en mayor altitud, como los frailejones (Espeletias).
3.2.2	<b>Arbustal:</b> comunidades vegetales que se encuentren dominadas por elementos arbustivos que ya presentan un amplio grado de lignificación en sus tallos y habitualmente alturas entre 0,5 a 5 m.
3.3	<b>Áreas abiertas, sin o con poca vegetación:</b> territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa; compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos.
3.3.1	<b>Tierras desnudas y degradadas:</b> superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, que pueden estar expuesta a procesos naturales o antrópicos de erosión y degradación extrema.

## Validación del mapa de usos de la tierra

Obtenido el mapa de usos, se realizó la validación para obtener los valores de precisión y error, y con ello, evidenciar la incertidumbre y confiabilidad del mapa (Emanuelli *et al.*, 2012). Este análisis se fundamentó en el uso de imágenes satelitales aportadas por Collect Earth, que constituyen una poderosa herramienta no solo para el análisis cuantitativo de cambios de uso del suelo, sino también para la revisión y corrección de mapas (García, García, Moreno y González, 2002). En este sentido, se generaron unidades de muestras independientes que representaron del 5% al 10% del área cartografiada, según las proporciones correspondientes a cada categoría para poder ser directamente comparables (Congalton y Green, 2009).

Las muestras fueron adquiridas según el criterio planteado por Olofsson *et al.* (2014), es decir, mediante la consulta a un experto en interpretación de imágenes satelitales, el cual no participó en la elaboración del mapa. Al mismo se le solicitó generar diez (10) muestras verdad-terreno distribuidas aleatoriamente para cada una de las categorías consideradas, alcanzando así un total de 100 muestras. Seguidamente se estimó la precisión en la clasificación a través de una matriz de confusión ejecutada en el *software* libre *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA) versión 2.8.0, que permitió visualizar en una tabla de contingencia, la distribución de errores cometidos en el proceso de clasificación (errores de omisión y comisión), como también, la precisión global y el índice estadístico K (Kappa) (Corso, 2009). El primero de ellos se entiende como los elementos que, perteneciendo a una clase, no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra; el segundo, como los elementos que, no perteneciendo a una clase, aparecen en ella; el tercero, que señala el número de unidades clasificadas

correctamente, sobre el número total de unidades consideradas, y el último, definido como un estadístico que mide la precisión basado en el error de la matriz y la diferencia entre la exactitud respecto a las muestras *verdad-terreno* y el mapa (Boca y Rodríguez, 2012), y que se expresan de la forma:

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

Dónde:  $i$  es el número de categorías;  $N$  es el número total de píxeles clasificados que han sido comparados con la verdad terreno;  $m_{i,j}$  es el número de píxeles que perteneciendo a la clase verdad terreno  $i$ , han sido también clasificado con una clase  $i$  (por ejemplo: valores encontrados a lo largo de la diagonal de la matriz de confusión);  $C_i$  es el número total de píxeles clasificados pertenecientes a la clase  $i$ .  $G_i$  es el número de píxeles verdad-terreno pertenecientes a la clase  $i$  (Harris Geospatial Solution, 2018).

Los resultados se presentaron en hectáreas (ha), entendiendo que la diagonal de la matriz expresa el número de hectáreas correctamente clasificadas para cada categoría, mientras que los elementos que se encuentran fuera de ella indican errores de asignación. De ellos se tiene que las hectáreas situadas dentro de una misma fila corresponden al denominado error de omisión, cuyo total indica la representación de cada una de las muestras en el mapa y los elementos fuera de la diagonal pertenecientes a una misma columna representan el denominado error de comisión, cuyo total refleja las proporciones de área estimada de acuerdo con los datos muestrales (Pinilla, 1995). Ejemplo de validaciones de este tipo han sido Emanuelli *et al.* (2012); Hoyo, Pacheco, Bustillo y López (2013); Cartaya, Zurita y Mantuano (2018), y Camargo *et al.* (2018).

## Mapa de uso potencial

Se realizó según la metodología planteada por Sheng (1972), considerando las variables físicas permanentes *pendiente* y *profundidad de suelo* para determinar la capacidad de uso de la tierra (Sheng, 2000). La primera fue obtenida a partir de un MDE Alos Palsar, que permitió derivar el mapa pendiente, expresado en porcentajes. En cuanto a la segunda, se tomaron las mediciones realizadas por Castillo *et al.* (1972), plasmadas en un mapa a escala 1:50 000 por el IFLA (2013), para el reconocimiento de suelos a nivel de distribución y características principales de los suelos, destacándose como horizontes diagnósticos aquellos correspondientes a los A y B, y excluyéndose el C y R por ser contemplados como horizontes no consolidados que carecen de las propiedades adecuadas para el establecimiento de coberturas vegetales (Oballos y Ochoa, 2006).

Obtenidos ambos mapas de variables físicas, fueron superpuestos originando el mapa de uso potencial con las categorías definidas por la clasificación de Sheng (1972), como: *tierras cultivables C1*, con suelos de profundidad variada y pendientes menores de 12%; *tierras cultivables C2*, con suelos de profundidad mayor a 20 cm y pendientes entre 12% y 30%; *tierras cultivables C3*, con suelos de profundidad mayor a 50 cm y pendientes entre 30% y 50%; *pastos*, con suelos de profundidad menor a 50 cm y pendientes desde 12% hasta 50%, *árboles frutales (A)*, con suelos de profundidad mayor a 90 cm y pendientes entre 50% y 60%, y *forestal (F)*, tierras con vocación forestal con pendientes escarpadas mayores a 50% y suelos moderadamente profundos.

## Mapa de conflictos y propuesta de asignación de usos

Una vez obtenido el mapa de uso potencial y uso actual de la tierra para el año 2018,

fueron superpuestos con el fin de obtener el mapa de conflictos y con ello identificar la subutilización, la sobreutilización y las zonas con correspondencia ideal entre ambos usos (Sheng, 1992). Partiendo de dicho resultado, se propuso asignar usos con medidas de conservación de cuencas hidrográficas, entendidas estas como todas las acciones (manejo de suelos y cultivos, bosques, praderas, sitios de minas y construcción, ciénagas, planicies de inundación y la organización de los usuarios a través de entrenamiento, extensión, investigación, etc., para que acepten y soporten los programas de conservación) que se cometen para conservar o proteger los recursos naturales de la cuenca al mismo tiempo que se extrae algún beneficio para los usuarios a lo largo del tiempo (Guevara, 2000).

## RESULTADOS

### Uso actual de la tierra

El uso de mayor predominio en la subcuenca corresponde a la categoría de *bosques* con 5 870.80 ha (50.99%), ubicada principalmente en la parte media y alta, y asociada a cauces; en cuanto al 48.98% restante de la superficie total (5 642.54 ha), se encuentra representado por zonas diferentes al bosque que pueden haberse originado por procesos naturales o por intervención antrópica, como los *herbazales*, que cuentan con una superficie de 2 546.46 ha (22.12%), seguido por la categoría *arbustal*, la cual se ubica en las cercanías del bosque evidenciando procesos sucesionales y ocupando 966.89 ha (8.40%). En el mismo orden de ideas, las áreas agrícolas heterogéneas que corresponden a la inclusión de dos o más coberturas agrícolas o naturales presentan una superficie de 554.19 ha (4.54%) expresadas de forma dispersa a lo largo de la subcuenca. Por su parte, los *cultivos* ocupan la quinta categoría con 523.19 ha (4.54%) y se ubican en la parte media y



baja de la subcuenca, específicamente en los fondos de valle; no obstante, se evidencia la expansión de la frontera agrícola hacia las zonas de vertientes con fuerte pendiente y con mayor altitud, favoreciendo los procesos de erosión.

Igualmente se evidenciaron *tierras desnudas y degradadas* que ocupan 454.92 ha (3.95%), principalmente en zonas de ladera evidenciando procesos de degradación física del suelo. Los *pastos*, por su parte, se encontraron de manera dispersa, generalmente asociados a cultivos o herbazales, ocupando 254.90 ha (2.21%).

Seguidamente la *red vial* se encuentra distribuida en toda la extensión del área de estudio, pero con mayor predominio en su parte baja y media; ocupa un área de 203.85 ha (1.77%). En cuanto al *tejido urbano discontinuo*, esta se encuentra en la parte media asociado a parcelas agrícolas muy cercanas a la red vial y representa un 0.67% que corresponde a 77.62 ha, mientras que el *tejido urbano continuo* es la categoría con la menor superficie, ubicada en la parte baja, concretamente en el poblado de Santa Cruz de Mora, con un área de 60.58 ha que corresponden a 0.53% de la superficie total del área (tabla 2).

**Tabla 2:** Uso actual de la tierra en la subcuenca quebrada Mejías para el año 2018.

<b>Categoría (CORINE Land Cover)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Bosque (B)	5 870.80	50.99
Herbazal (H)	2 546.46	22.12
Arbustal (A)	966.89	8.40
Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	554.23	4.81
Cultivos (C)	523.19	4.54
Tierras desnudas (TD)	454.92	3.95
Pastos (P)	254.9	2.21
Red vial (RV)	203.85	1.77
Tejido urbano discontinuo (TUD)	77.62	0.67
Tejido urbano continuo (TUC)	60.58	0.53
<b>Total</b>	<b>11 513.44</b>	<b>100</b>

### Validación del mapa de uso actual

Como paso precedente a la ejecución de la matriz de confusión se estableció inicialmente, para cada una de las clases, un muestreo proporcional en términos de hectáreas y su equivalente en porcentaje (señalados al final de cada fila en la tabla 2), lo cual permitió obtener las correspondientes muestras *verdad-terreno*. Todo ello derivó en los siguientes resultados: la categoría *tejido urbano discontinuo* (TUD) constituyó la muestra más pequeña definida con 0.03%

(3.11 ha), y la categoría bosques (B), la más grande con 2.68% (308.67 ha); generando así una variación entre ambas categorías de 2.65%, producto de la diferencia de tamaño entre los polígonos interpretados por el experto en cada una de las categorías evaluadas. Así, la suma de todas las muestras resultó en un área de 598.41 ha equivalentes a 5.19% del mapa.

Realizado el análisis de la diagonal de la matriz de confusión para evaluar el acuerdo entre el mapa y las muestras *verdad-terreno*,

se obtuvo que las tres primeras categorías con mayor acuerdo en sus proporciones fueron: *red vial* (RV), ya que de 9.95 ha (0.09%) hubo un acuerdo de 9.95 ha (0.09%), lo que indica un 100% de concordancia entre el mapa y las muestras *verdad-terreno*; igualmente, *tejido urbano discontinuo* (TUD) evidenció un acuerdo de 100%, ya que de 3.11 ha (0.03%), hubo una concordancia de 3.11 ha (0.03%); y finalmente, *tejido urbano continuo* (TUC) tuvo una correlación de 99.4%, debido a que de 3.13 ha (0.0272%) se generó un acuerdo de 3.11 ha (0.0270%) (tabla 3).

De igual forma, las categorías con una menor concordancia entre sí fueron: *pastos* (P), puesto que de 17.01 ha (0.15%) solo 15.92 ha (0.14%) tuvieron concordancia entre ellas, evidenciando un 93.6% de acierto; asimismo, para las *áreas agrícolas heterogéneas* (AAH) se obtuvo que, de 29.17 ha (0.25%), solo hubo un acuerdo de 27.3 ha (0.24%), equivalentes al mismo nivel de concordancia antes expuesto; y finalmente, con 84.4% de acuerdo se encuentra la categoría *arbustal* (A), cuya representación es la menor, ya que de 47.81 ha (0.41%) de muestras solo 40.33 ha (0.35%) presentaron acuerdo.

**Tabla 3:** Matriz de confusión en hectáreas para el mapa de uso actual 2018 de la subcuenca quebrada Mejías.

		Categorías en muestras verdad-terreno										Total mapa (ha)	Total mapa (%)
		A	AAH	B	C	H	P	RV	TD	TUC	TUD		
Categorías en imagen clasificada	A	40.33	0.2	8.12	0.03	0.18	0	0	0.09	0.01	0	48.96	0.42
	AAH	1.43	27.3	0.23	0.19	0.63	0.45	0	0.02	0.01	0	30.26	0.26
	B	0.06	0	293.54	0	0	0	0	0	0	0	293.6	2.55
	C	0.68	0	0.37	22.12	1.82	0.05	0	1.37	0	0	26.41	0.23
	H	4.33	1.09	4.35	0	123.84	0.55	0	0	0	0	134.16	1.16
	P	0.34	0.02	0.02	0.29	1.35	15.92	0	0	0	0	17.94	0.16
	RV	0.11	0.06	0.23	0.02	0.3	0	9.95	0.02	0	0	10.69	0.09
	TD	0.49	0.07	1.47	0	0.59	0.04	0	26.65	0	0	29.31	0.25
	TUC	0	0.07	0	0	0	0	0	0	3.11	0	3.18	0.03
	TUD	0.04	0.36	0.34	0	0.05	0	0	0	0	3.11	3.9	0.03
Total muestras (ha)	47.81	29.17	308.67	22.65	128.76	17.01	9.95	28.15	3.13	3.11	598.41	5.19	
Total muestras (%)	0.41	0.25	2.68	0.20	1.12	0.15	0.09	0.24	0.03	0.03			

En cuanto al análisis de los totales denotados en las columnas, cuya expresión indica las categorías que no se ajustaron a las muestras *verdad-terreno*, se obtuvo que la categoría que evidenció un mayor

problema de subestimación según dichas muestras fueron los *bosques*, cuya área fue de 308.67 ha (2.68%), de los cuales hubo una concordancia de 293.54 ha (2.55%) con los datos de clasificación, evidenciando así

que 15.13 ha (0.13%) fueron clasificadas como *arbustal* (8.12 ha), *herbazal* (4.35 ha) y *tierras desnudas* (1.47 ha), pero pertenecían en realidad a la categoría *bosque*. Por otra parte, la categoría que manifestó un menor problema de subestimación según las muestras antes mencionadas, fue la *red vial y tejido urbano discontinuo*, cuya área fue idéntica al área clasificada en tales categorías; de la misma forma se pudieran interpretar las clases restantes.

Del mismo modo, se puede puntualizar que las categorías *bosque*, *arbustal* y *herbazal* fueron las que reportaron mayores errores de omisión (según el intérprete); es decir, un mayor número de unidades que, perteneciendo realmente a dichas categorías no fueron asignadas correctamente en el mapa y se encuentran incluidas en otras; mientras que *red vial y tejido urbano discontinuo* presenta una perfecta clasificación en aquel, indicando que de todas las unidades mapeadas a las que se les asignó dicha categoría tenían su correspondiente en campo. Por otro lado, los errores de comisión (según el experto) se evidenciaron con mayor predominio en las categorías *herbazal*, *arbustal* y *cultivos*, al incluir mayores proporciones de área a estas categorías que en realidad no pertenecían a ellas (tabla 4). Finalmente, la precisión global del mapa obtenido fue de 94.56% y el índice de Kappa de 0.9205.

### Uso potencial

Se obtuvo que en el área predominan, en primer lugar, las tierras de vocación forestal prioritario para actividades forestales de protección y producción, distribuidas en 6 655.20 ha (57.76%); en segundo lugar, las tierras cultivables C3 en una superficie de 1 954.53 ha (16.96%), y en tercer lugar, los pastos con 1 378.22 ha (11.96%). En cuanto

a las restantes, la combinación de árboles frutales/forestal ocupa aproximadamente un 703.62 ha (6.10%); las tierras cultivables C2 ocupan 408.28 ha (3.54%), que, sumadas a pastos, pueden ocupar 251.09 ha (2.18%). Por su parte, los árboles frutales cubren 87.95 ha (0.76%), mientras que las tierras cultivables C1 se ubican principalmente en los fondos de valle, con la menor proporción del área: 82.55 ha (0.72%).

### Conflicto de uso

Se obtuvo que en la subcuenca para el año 2018 predominaban en 6 184.5 ha (53.75%), tierras de uso conforme. En segundo lugar, se encontraban en 3 368.63 ha (29.27%), aquellas tierras en proceso de sobreutilización, referido a suelos sometidos a un uso que no toma en cuenta sus características de altas pendientes, poca profundidad y escasa cobertura vegetal; finalmente, la categoría de menor predominio en 1 952.63 ha (16.97%) corresponde a tierras en proceso de subutilización, siendo la intensidad del uso actual menor a la intensidad del uso que puede ser capaz de soportar (figura 2).

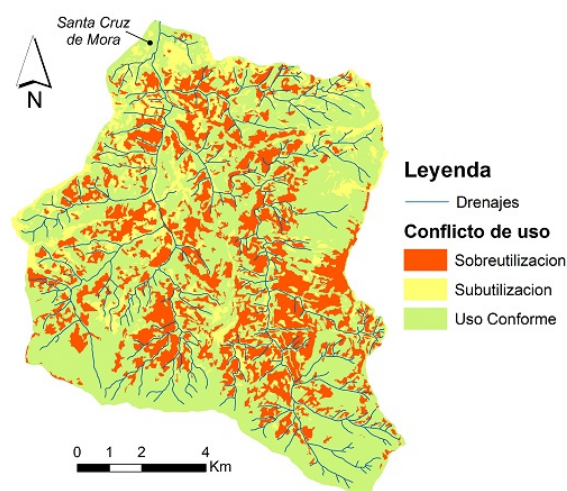


Figura 2: Conflictos de uso de la tierra en la subcuenca quebrada Mejía.

**Tabla 4:** Índices de confiabilidad del mapa de uso actual de la tierra 2018 de la subcuenca quebrada Mejías.

<b>Categorías</b>	<b>Omisión (ha)</b>	<b>Omisión (%)</b>	<b>Comisión (ha)</b>	<b>Comisión (%)</b>
Arbustal (A)	7.48	1.25	8.63	1.44
Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	1.87	0.31	2.96	0.49
Bosque (B)	15.13	2.53	0.06	0.01
Cultivos (C)	0.53	0.09	4.29	0.72
Herbazal (H)	4.92	0.82	10.32	1.72
Pastos (P)	1.09	0.18	2.02	0.34
Red vial (RV)	0	0	0.74	0.12
Tierras desnudas (TD)	1.5	0.25	2.66	0.44
Tejido urbano continuo (TUC)	0.02	0	0.07	0.01
Tejido urbano discontinuo (TUD)	0	0	0.79	0.13

### Propuestas de asignación de usos

La propuesta de usos contempla para las áreas en conflicto, en su mayor parte, áreas a reforestar en una superficie aproximada de 2 918.51 ha (25.37%), seguido de áreas de uso agroforestal en 1 479.96 ha (12.86%) y la dedicación de áreas con potencial agrícola, consideradas como subutilizadas, el establecimiento de cultivos C3 en 813.35 ha (7.07%), C2 en 181.77 ha (1.58%) y C1 en 11.31 ha (0.10%); asimismo, se recomienda el establecimiento de pastizales naturales y/o sembrados en áreas con ese potencial, las cuales cubrirían 131.11 ha (1.14%); en cuanto a las zonas que requieren tratamientos especiales por procesos de erosión severa, se proponen medidas de corrección de torrentes que pretenden recuperar 10.75 ha (0.09%) (figura 3).

De modo más específico, 390 ha (16.06%), del total de las áreas a reforestar, deben hacerse dentro del parque nacional; tanto para estas áreas como las restantes de dicho uso propuesto, se recomienda revegetalizar con especies que favorezcan el proceso de recuperación, por ejemplo, el laurel (*Morella pubescens* Willburs), especie pionera con capacidad de adaptarse a condiciones marginales de suelo y que se utiliza para

estabilizar taludes de carreteras, caminos, cauces de ríos y quebradas (Cabrera, 2006). En el mismo sentido, en cuanto a las áreas de uso agroforestal, al no ser aptas para usos agropecuarios, pero sí agroforestales que pueden beneficiar la economía de la región y a su vez contribuir a la conservación de los recursos suelo y agua, se recomienda, tomando la tendencia cafetalera y cacaofera del área, asociaciones de especies forestales no maderables para la recuperación del hábitat andino, que conjuntamente puedan ser utilizadas como sombra para el cultivo del café (Aguilar y Aguilar, 2011), ellas serían Bucare ceibo: *Erythrina poeppigiana* (Walp) O. F. Cook, Guamo caraota: *Inga nobilis* Willd, Guamo bobo: *Inga vera subsp. Spuria* (Willd). J. León, Bucare mompás: *Erythrina edulis* Martius, Guamo machete: *Inga spectabilis* (Vahl.) Willd y Sapote: *Quararibea cordata* (Humb. & Bompl.) Visch.

Para finalizar, detallando las medidas en las áreas de uso agrícola: en las asignadas como C1 (1.77 ha de uso conforme con cultivos C1; 2.98 ha sobreutilizadas por tierras desnudas y 7.56 ha subutilizadas con herbazales), sería posible la mecanización, riego e incorporación de agroquímicos capaces de favorecer el desarrollo de los cultivos y promover la diversificación. Para

la implementación de las C2 (33.34 ha de uso conforme con cultivos C2; 12.86 ha sobreutilizadas con tierras desnudas y 137.57 ha subutilizadas con herbazales y arbustales) requerirán medidas intensivas de conservación de suelos y en las cuales es posible la mecanización, dichas medidas serían, por ejemplo, el establecimiento, en algunos sectores, de acequias de ladera asociadas a pastos para disipar la velocidad de la escorrentía. Y en las C3 (173.55 ha de usos conforme con cultivos C3; 142.63 ha

sobreutilizadas con tierras desnudas y 499.17 ha subutilizadas con herbazales, arbustales y pastos), por ser las de mayor porcentaje de pendiente, igualmente requerirán medidas de conservación (pero sin mecanización); por su parte, la aplicación de riego y agroquímicos deberá realizarse con las consideraciones correspondientes; en estas áreas se recomienda el establecimiento de terrazas de huerto que mejoren la estabilidad del terreno.

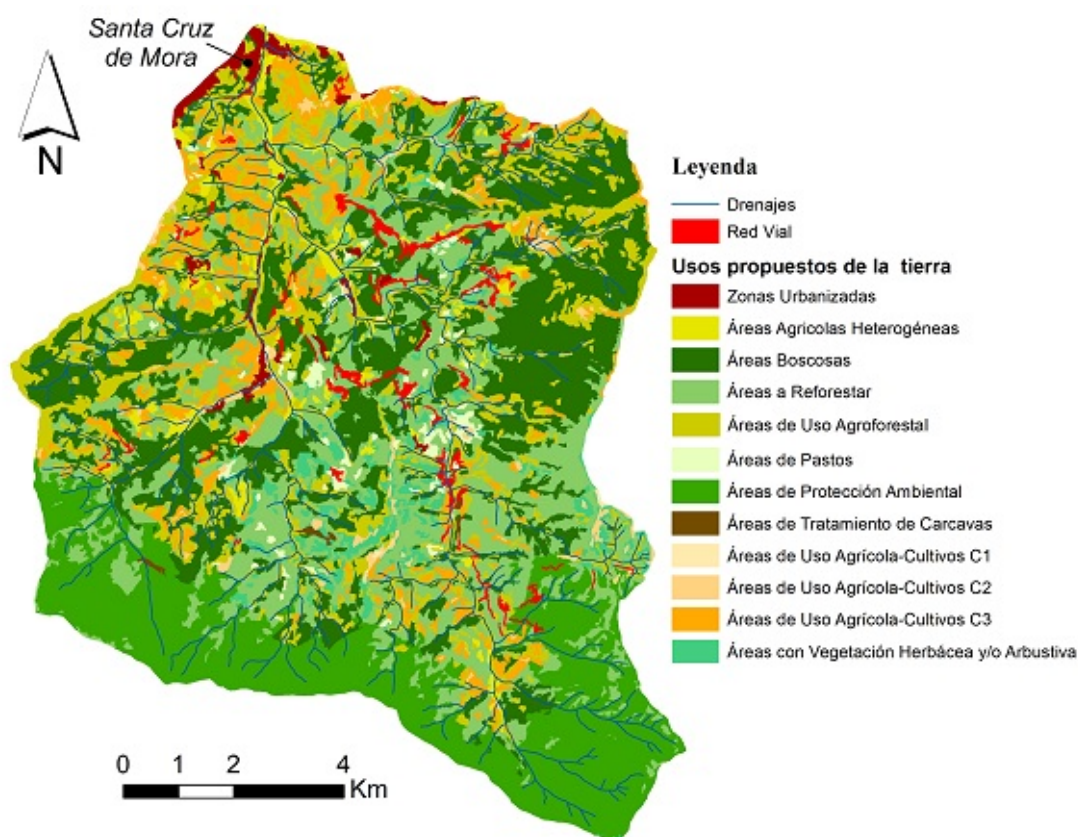


Figura 3: Propuestas de uso de la tierra en la subcuenca quebrada Mejía.

## DISCUSIÓN

Ha habido dos grandes críticas a la metodología de Sheng (1972) empleada en este estudio para identificar los conflictos de uso y consecuente capacidad de las

tierras: una es que no toma en cuenta los tipos de productividad o fertilidad de los suelos, cuya respuesta es que esta no es considerada un factor limitante permanente para la clasificación de la capacidad de la tierra, por el contrario, usando profundidad del suelo para determinar donde la tierra es

*cultivable* o no, es suficiente; la otra crítica estriba en que no es aplicable en áreas áridas o semiáridas, lo que es cierto, pues está principalmente diseñada para cuencas altas en zonas tropicales húmedas (Sheng, 2000).

Aunque la metodología utilizada data su origen en los inicios de los años 1970, esta ha mantenido vigencia, así lo corroboran el propio Sheng (1986, 1989, 2000), FAO (1989, 1990), Sharma (1990, 1991), y Molina y Sharma (1993); estos dos últimos la han integrado con otras metodologías para considerar también condiciones socioeconómicas.

La forma de identificar los conflictos y clasificar la capacidad de uso de la tierra por medio de la metodología de Sheng (1972) tiene como ventaja tener que recurrir a las variables *pendiente, profundidad y uso del suelo*, en contraste a otras que emplean numerosos datos de suelos que en muchos casos son difíciles de obtener o son inexistentes en muchas áreas, como la desarrollada por Martínez y Carbó (1992); o la clasificación oficial de tierras de Costa Rica MAG-MIRENEM (Ramírez *et al.*, 2008), que requiere información de erosión cuantitativa y su morfología, pedregosidad, salinidad, las características físicas, químicas e hidromórficas del suelo y el clima; o las planteadas por Storvogel, Schipper y Jansen (1995), y Guillén *et al.* (2004), quienes para conformar escenarios bases (equivalente al uso potencial), deben considerar, aunado a las variables biofísicas, los factores socioeconómicos que condicionan la utilización de la tierra (información que debe ser levantada en campo con las comunidades y productores); o el Sistema de Clasificación de Unidades de Tierra (SCUT) aplicado por Santiago (2005), que parte de la definición de unidades de tierras (TU) a partir de sus características y cualidades de naturaleza agroecológica, aunado a cualidades de las UT como su

trabajabilidad y susceptibilidad a la erosión; y más recientemente, el *índice de capacidad de uso del suelo urbano* (ICUSU) aplicado por Zavala *et al.* (2016), que requiere información del relieve, inundaciones y de suelos como su permeabilidad, arcillas expandibles, drenaje del perfil, nivel freático, materia orgánica, salinidad, pH, riesgo de erosión, rocosidad, pedregosidad y capas endurecidas existentes.

En cuanto a los resultados de asignación de usos propuestos, sus determinaciones coinciden con los definidos para las áreas andinas de los municipios Bolívar (Estado de Táchira) y Andrés Bello (Estado de Mérida) (Santiago, 2005; Molina, García y Márquez, 2013), es decir, el establecimiento de áreas a reforestar (o uso conservacionista, protección ambiental o recuperación ambiental, como las definen dichos autores), resultan necesarias en sectores cuyo uso actual sobrepase las condiciones potenciales de la tierra, y que promuevan procesos de degradación ambiental considerables. De igual modo acontece con las tierras cultivables, en las cuales se concuerda que deben realizarse en zonas de pendiente no mayores al 50%, considerando siempre además la profundidad y tipo de suelo. Otra concordancia hallada con un estudio desarrollado en los andes ecuatorianos (Cevallos, Jaimés, Mendoza y Casanova, 2020) es la consideración de la tradición agrícola de las áreas de estudio en la propuesta de los usos más adecuados para mejorar la diversidad agroproductiva.

## CONCLUSIONES

La determinación de los conflictos de uso de la tierra es un factor serio para el proceso integral de ordenación del territorio, pues funciona como una herramienta de diagnóstico que evalúa la situación en la que se encuentra sometida un área en términos de sobreutilización y subutilización, información que podría definir las directrices para un desarrollo ambientalmente apropiado,

socialmente benéfico y económicamente viable.

Si bien es cierto que existe un gran número de métodos para identificar los conflictos y consecuentemente la clasificación de la capacidad de usos de la tierra, muchos de ellos ameritan diversos tipos de datos que son inexistentes para muchas áreas, como lo fue el caso de la subcuenca quebrada Mejía, por lo que la aplicación de la metodología de Sheng puede constituir una alternativa viable, dada su simplicidad y accesibilidad a datos generados desde productos digitales gratuitos como las imágenes satelitales y los MDE. No obstante, su aplicación debe ser considerada con cautela y como una forma preliminar de estudio de conflictos y capacidades de uso, que debe ser robustecida con otros tipos de datos y análisis.

La disposición reciente de un MDE con mayor resolución espacial, como lo es Alos Palsar (12.5 m de tamaño de pixel), permite mejorar la precisión de los análisis de pendiente a nivel de cuencas, evitando las imprecisiones que podrían obtenerse de MDE con mayores tamaños de pixel. Igual podría desprenderse de las imágenes Sentinel que con sus 10 m de resolución espacial, permitió generar un mapa de uso de la tierra a escala 1:15 000, punto de partida, en conjunción al MDE Alos Palsar, para la identificación de conflictos, la clasificación de los usos de la tierra y consecuentemente, las propuestas de usos acordes.

Finalmente, en lo que respecta a la subcuenca quebrada Mejía, se recomienda ampliar la información relacionada con la profundidad del suelo, así como también de otros parámetros que permitan profundizar el análisis en aras de obtener resultados más precisos.

## 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 y biblioteca “Dr. Antonio José Uzcátegui Burguera”; de igual modo, al Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA), 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 de Topografía Azimut* por sus aportes y observaciones.

## REFERENCIAS

- Acosta, D. (2017). *Estudio multitemporal de la dinámica de explotación de oro de aluvión del bajo cauca antioqueño en los años 2014 y 2017 a través de imágenes satelitales*. [Trabajo de Especialización en Geomática]. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.
- Aguilar, H. y Aguilar, R. (2011). Estudio preliminar sobre la biodiversidad asociada al Bucare Ceibo *Erythrina Poeppigiana* (Walp) O. F. Cook (Leguminosa: Papilionoideae) en el estado Mérida, Venezuela. *Revista de Ecología Latinoamericana*, 16(2-3), 1-19.
- Alaska Satellite Facility (2019). *Terrain-Corrected (RTC)*. Recuperado de <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/terrain-corrected-rtc/>
- Barrios, A. y Quintero, E. (1999). Diagnóstico de la escorrentía en la microcuenca Zarzales-La Grande, usando el modelo hidrológico SWRRB-WQ. *Revista Forestal Venezolana*, 43(1), 9- 16.
- Boca, T. y Rodríguez, G. (2012). *Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud*

- de productos derivados de sensores remotos.* Castelar: Instituto de Clima y Agua (INTA).
- Cabrera, G. (2006). *La investigación participativa sobre laurel de cera (morella pubescens), una estrategia de educación ambiental en la zona andina del departamento de Nariño - Colombia.* Pasto, Colombia: Universidad de Nariño. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2006\\_02laurel\\_tcm30-163679.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2006_02laurel_tcm30-163679.pdf)
- Camargo, C., Pacheco, C. y Jaimes, 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.
- Campos, M. y Bravo, L. (2011). *Eventos catastróficos por inundaciones y deslaves en Venezuela.* Caracas: Universidad Simón Bolívar.
- Cartaya, S., Zurita, S. y Mantuano, R. (2018). Identificación de conflictos de uso de la tierra para la observación de Cuniculus paca, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(2), 262-279.
- Castillo, J., Salas, F., Trucic, M. y Cabello, O. (1972). *Estudio de reconocimiento de los suelos de la cuenca del Río Mocotíes.* Mérida, Venezuela: Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de los Andes.
- Cevallos, M., Jaimes, E., Mendoza, J. y Casanova, G. (2020). Ordenamiento territorial rural de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra, microcuenca Rumipamba, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 61(1), 40-55.
- Congalton, R. y Green, K. (2009). *Assesing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices.* Londres, Nueva York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Corso, C. (2009). *Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada usando Weka.* Córdoba: Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado de [http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/labsis/Publicaciones/congresos\\_labsis/cynthia/CNIT\\_2009\\_Aplicacion\\_Algoritmos\\_Weka.pdf](http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/labsis/Publicaciones/congresos_labsis/cynthia/CNIT_2009_Aplicacion_Algoritmos_Weka.pdf)
- Chacón, R., González, E. y Pujaico, J. (2009). *Los desastres como activadores del compromiso ciudadano: Santa Cruz de Mora, Estado Mérida, como caso de estudio.* Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/699/desastres.pdf>
- Chuvienco, E. (2016). *Fundamentals of satellite remote sensing an environmental. Approach.* Boca Ratón, Florida: Taylor & Francis Group.
- Dugarte, M. (2002). *Evaluación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa en la cuenca del río Mocotíes del estado Mérida.* [Trabajo de Maestría en Manejo de Cuencas Hidrográficas]. Mérida: Universidad de los Andes.
- Emanuelli, P., Duarte, E., Milla, F., Orellana, O. y López, S. (2012). *Validación del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra año 2012.* El Salvador: REDD+ Landscape / CCAD.
- European Space Agency (ESA) (2000). *Sentinel MSI, Product types, level 1C.* Recuperado de <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-1C>
- Ferrer, C., Arismendi, J. y Méndez, O. (1970). *Geomorfología de la cuenca del río Mocotíes estado Mérida. (Informe de Seminario*



- Regional, Escuela de Geografía*). Universidad de los Andes. Mérida.
- ESRI (2016). *Extender un ráster para mejorar el contraste visual*. Recuperado de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/stretching-a-raster-to-improve-the-visual-contrast.htm>
- Food and Agriculture Organization (FAO) (1989). Soil conservation for small farmers in the humid tropics. *Soil Bulletin*, 60, 19-20, Roma.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (1990). Watershed Survey and Planning. *FAO Conservation Guide*, 13/6, 49-69. Roma
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *Collect Earth*. Recuperado de <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/tools/tools-details/es/c/411199/>
- García, S. (2008). *Identificación y jerarquización de áreas susceptibles a crecidas torrenciales en la subcuenca quebrada Mejías. Municipio Antonio Pinto Salinas. Estado Mérida*. [Trabajo de posgrado, Geografía]. Universidad de los Andes. Mérida.
- González, E. y Romero, J. (2003). *Estudio preliminar de la disponibilidad, demanda y calidad del agua en la subcuenca quebrada Mejías. Municipio Antonio Pinto Salinas – Estado Mérida*. [Trabajo especial de grado, Geografía]. Universidad de los Andes. Mérida.
- García, H., García, R., Moreno, R. y González, A. (2002). Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970 a 1997 en el estado de Guanajuato. *Investigaciones Geográficas*, 1(47), 92-112.
- Guerra, S. (2014). *Determinación del conflicto de uso de suelo para las veredas Las Petacas y La Correa del municipio de Puerto Rondón dentro de la cuenca del río Cravo Norte en el departamento de Arauca*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Guevara, P. (2000). *Sistemas de conservación y rehabilitación de cuencas*. Valencia, Venezuela: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad de Carabobo.
- Guillén, R., Faustino, J., Velásquez, S. y Solís, H. (2004). *Modelación del uso de la tierra para orientar el ordenamiento territorial en la subcuenca del río Capan, Honduras*. Comunicación Técnica, 122-129. Honduras. Recursos Naturales y Ambiente. CATIE.
- Harris Geospatial Solution (2018). *Radiance and Scale Factors Background, Calculate Confusion Matrices*. Recuperado de <https://www.harrisgeospatial.com/docs/home.html>
- Hernández, A., Rojas, R. y Vladimir, F. (2013). Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 257-271.
- Hoyo, S., Pacheco, C., Bustillo, L. y López, R. Cambio de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca El Valle, estado Táchira-Venezuela. Períodos: 1991-2003 y 2003-2013. *Revista Forestal Venezolana*, 57(1), 5-77.
- 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*. Bogotá.

- Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA) (2013). *Diagnóstico y jerarquización de los torrentes de la cuenca del río Mocotíes y Proyecto para el control del torrente San Pedro, estado Mérida*. Mérida, Venezuela.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2014). *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados por Entidad Federal y Municipio del Estado Mérida*. Recuperado de <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/merida.pdf>
- Jiménez, A., Barbier, B. y Rivera, S. (2000). Escenarios de desarrollo en la cuenca del río Calán: Optimización del uso de la tierra. *TATASCAN Revista Técnico Científica*, 12(2), 43-64.
- Lafaille, J., Ferrer, C. y Rincón, J. (2005). Antecedentes históricos de eventos meteorológicos ocurridos en el valle del río Mocotíes y su impacto geomorfológico. *Revista Geográfica Venezolana*, (46), 297-311.
- Larsson, R. y Strömquist, L. (1995). *Monitoreo del medio ambiente con análisis de imágenes satelitarias*. Suecia: Tryckkontakt, Uppsala.
- 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.
- Lencinas, J. y Siebert, A. (2009). Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala. *Revista Quebracho*, 17, 101-105.
- Marquina, J. y Mogollón, A. (2018). Niveles y escalas de levantamiento de información geográfica en sensores remotos. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(1), 42-52.
- Martínez, V. y Carbó, E. (1992). Capacidad de uso del suelo y usos recomendados en La Sierra de Espadán (Castellón). Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 51, 43- 62.
- Matteucci, S., Silva, M. y Rodríguez, A. (2013). Estado del sistema sociedad-naturaleza en el chaco argentino. *Fronteras*, 12, 1-22.
- Méndez, Y. (2004). *Uso de la tierra y calidad de vida de la población en comunidades rurales de la cuenca del Río Mocotíes. Estado Mérida*. [Trabajo de Maestría en Ordenación del Territorio y Ambiente]. Universidad de los Andes. Mérida.
- 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), 25-40.
- Molina, A. y Sharma, P. (1993). *Validación de una metodología simple para establecer la capacidad y uso apropiado de la tierra en fincas pequeñas de Nicaragua*. Nicaragua: CATIE.
- Molina, Z., García, N. y Márquez, M. (2013). Unidades físico-naturales homogéneas como herramienta de validación del PMOT del municipio Andrés Bello, Mérida, Venezuela. En *Memorias V Jornadas Nacionales de Geomática IX Jornadas de Percepción Remota en el Ámbito de MERCOSUR* (pp. 113-121). 28 octubre a 01 noviembre. Caracas, Venezuela.
- Oballos, J. y Ochoa, G. (2006). *Diccionario de suelos*. 1a. ed. Mérida: Universidad de los Andes.
- Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman,

- S.V., Woodcock, C.E. y Wulder, M.A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57.
- Pacheco, C., Osorio, R., Méndez, A., Flores, E. y López, J. (2006). Determinación del uso de la tierra bajo un enfoque de cobertura con imagen ETM+ de Landsat. Cuenca Alta del río Grita 2006, Estado Táchira – Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 40, 85-106.
- Pérez, M., Blanquicett, E., Ruiz, L. y Gónima, L. (2009). Análisis de la dinámica costera con base en teledetección satelitaria. *UD y la Geomática*, 3(2), 64-71.
- Pinilla, C. (1995). *Elementos de la teledetección*. Madrid: Ra-Ma, D.L.
- Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R. y Brenes, L. (2008). Caracterización física de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32(2), 73-92.
- 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*, 16, 61-86.
- Rivas, M., Ovalles, Y., Soto, A., Ramírez, G., Ripanti, F. y León, J. (2009). Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes, Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 53(1), 33-41.
- Rodríguez, L. (2007). *La configuración hidrológica de la subcuenca de la quebrada Mejías y sus principales afluentes como respuesta a crecidas torrenciales (Municipio Pinto Salinas) Estado Mérida*. [Trabajo de posgrado, Geografía]. Mérida: Universidad de los Andes.
- Santiago, A. (2005). Determinación del uso potencial de la tierra con fines agrícolas en el municipio Bolívar, estado Táchira. *GEOENSEÑANZA*, 10(1), 69-85.
- 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.
- Sharma, P. (1990). *Final report of consulting soil conservation and agroforestry*. Managua: FAO/GCP/NIC/019/NET.
- Sharma, P. (1991). *Appropriate land use and rural social diversity: natural resources conservation with peoples participation in the uplands of the Maribios Volcanic Ranges of Nicaragua*. Nicaragua.
- Sheng, T.C. (1972). A treatment-oriented land capability classification scheme for hilly marginal lands in the humid tropics. *Journal of Scientific Research Council*, 3, 93-173.
- Sheng, T.C. (1986). *Watershed Conservation*. Fort Collins: Colorado State University. 92 p.
- Sheng, T.C. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Roma: FAO, Guía FAO Conservación 13/6.
- Sheng, T.C. (2000). Land capability classification for hilly watersheds using expert systems. *Extension Bulletin-Food & Fertilizer Technology Center* (485), 1-10. Colorado State University.

- Storvogel, J., Schipper, R. y Jansen, D. (1995). USTED: a methodology for a quantitative analysis of land use scenarios. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 43, 5-18.
- 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). Caracas: Provita, Shell Venezuela, Lenovo.
- Zavala, J., Morales, M., Vargas, L., Palma, D. y Ortiz, C. (2016). Capacidad de uso del suelo urbano en planicies fluviales costeras: el caso de Villa Hermosa, Tabasco, México. *Interciencia*, 41(5), 296-304.