

Usos del suelo en la microcuenca del Río Citalapa

EL CRUCERO, MANAGUA

NOVIEMBRE, 2020



HABITARTE
COMMUNITY & CONSERVANC



INFORME DE TRABAJO

Usos del suelo en la microcuenca del Río Citalapa: un aporte al diagnóstico preliminar

Preparado por:

Edwin Chavarría Solís y Diana Lanuza Osorio

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la deforestación y pérdida de la biodiversidad representan los problemas ambientales más graves del siglo y esto ha afectado también y en gran medida a los bosques de Latinoamérica y el Caribe, que según Guariguata & Kattan (2002) son los más importantes, tanto por su extensión geográfica como por su riqueza en biodiversidad y complejidad ecológica.

Nicaragua, tiene una posición estratégica para el desarrollo de la biodiversidad a todos sus niveles (MARENA, 2014); además es un país relativamente privilegiado en cuanto a recursos hídricos se refiere (FAO, 2003).

Desgraciadamente se habla de escasez económica del agua, esto se refiere a que por un lado hay cierta “abundancia” de recursos hídricos, pero por otro no hay recursos económicos para mantener la calidad de las fuentes de agua.

Por esto los cuerpos de agua superficiales y subterráneos han sido sometidos a diversas actividades productivas y esto, a pesar de las ventajas económicas significa también mayor presión sobre los recursos hídricos, lo que ha generado grandes transformaciones en los ecosistemas, debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997), lo cual agrava no solo los problemas ambientales sino el bienestar de cada habitante (Rocha, 2000),

En Nicaragua, la principal causa de la degradación del recurso hídrico es el avance de la frontera agropecuaria, con prácticas de uso del suelo tradicionales, como la ganadería extensiva y el monocultivo, que han causado impactos negativos sobre cuencas hidrográficas importantes (FAO, 1996).

Sin duda alguna es vital que el agua dulce se administre en forma sostenible y equilibrada, reconociendo los diferentes grupos de interés que compiten entre sí, los sectores que usan y abusan del agua, y las necesidades del medio ambiente (Molina, 2013).

En este sentido el conocimiento de la disponibilidad y distribución de los recursos hídricos es necesario para llevar a cabo una adecuada planificación

y gestión del agua, pero este tipo de estudio suele ser una larga y complicada tarea, por este motivo los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una potente herramienta para planificar y gestionar estos recursos ya que disponen de múltiples opciones para su análisis y evaluación.

Este estudio es particularmente relevante para la obtención de información del estado actual de la Microcuenca del Río Citalapa, para identificar las áreas más críticas y prioritarias; que sean la base para la formulación de futuros planes de manejo que mejor se adapten a la realidad local donde los habitantes de la microcuenca pasan a ser sujetos y objetos de acción.

II. OBJETIVO

- Identificar los usos del suelo en la microcuenca del Río Citalapa, mediante técnicas de percepción remota.

III. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

La microcuenca del Río Citalapa se encuentra ubicada en la parte sur del departamento de Managua entre los municipios de El Crucero, Villa El Carmen y San Rafael del Sur, posee pocas ramificaciones, baja densidad de drenaje, cubriendo un área de 139 km² y una precipitación anual de 1330 mm de agua (Blandón, s.f). Su importancia radica en que sirve de abastecimiento a las comunidades que le rodean y pequeñas, medianas y grandes fincas productoras de café, caña de azúcar, granos básicos y otros diversos usos incluyendo la industria y el turismo.

La dinámica productiva en la parte sur de Managua desde sus inicios entre finales del siglo XIX e inicio del siglo XX influyó en el incipiente desarrollo y crecimiento poblacional de la zona, impulsado principalmente por el rubro del café (Rubí & Romero, 2019).

Para cumplir con el objetivo propuesto, se planteó la siguiente metodología:

3.2. Recopilación de información preliminar

Se realizó una visita de campo preliminar en sitios como la Reserva Ecológica ubicada en la comunidad de Santa Julia y sus alrededores, para familiarizarse con la zona de estudio y definir las categorías posibles de los usos del suelo.

3.3. Obtención de las imágenes Satelitales

Posteriormente se obtuvo una imagen satelital del año 2020 proveniente del satélite Landsat 8, para su procesamiento digital y posterior clasificación; esta fue descargada de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey USGS): <https://earthexplorer.usgs.gov/>, pues éste es un servidor de libre acceso en

el que es posible obtener imágenes satelitales, Modelos de Elevación digital y metadatos de todas partes del mundo.

3.4. Preprocesamiento de las imágenes satelitales

Una vez obtenida la imagen libre de nubes (nubosidad inferior al 10%) y correspondiente a la época seca de la zona, se procedió a realizar labores de preprocesamiento, las cuales involucran operaciones requeridas previamente al análisis y extracción de información, en esta etapa se incluyen todas las correcciones de las imágenes satelitales.

Considerando que las imágenes del USGS Landsat Collection Level 1 cumplen criterios formales de calidad geométrica y están georreferenciados al área de estudio (USGS, 2019); se utilizará el software ENVI 5.3 para realizar: corrección radiométrica (Requelme, 2019), atmosférica (Kruse, 2004) y topográfica (Lu et al., 2008).

3.5. Procesamiento de las imágenes satelitales

Una vez realizadas todas las correcciones y recortadas las imágenes satelitales con la zona de estudio, se realizaron todas las funciones de procesamiento de las imágenes satelitales que involucran los métodos de clasificación.

3.5.1. Clasificación No Supervisada

Se realizó primeramente una Clasificación No Supervisada en la que se definen las clases espectrales presentes en la imagen sin la necesidad que el investigador tenga conocimiento acerca del área de estudio; bajo este método se asume que los ND de la imagen forman una serie de agrupaciones conformadas por píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y al intérprete solo le resta interpretar el significado temático de estas categorías (Chuvieco, 2002).

Para la interpretación visual de las categorías espectrales se utilizó el Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica (Rosales, 2013).

3.5.2. Fase de campo

Se programaron visitas de campo a la zona de estudio, con la finalidad de conocer los diferentes usos de suelo y anotar las características de cada uno in situ; además se georreferenciaron puntos de cada uno de los usos que se utilizaron finalmente en la validación de la clasificación.

Se definieron cuatro categorías inicialmente, puesto que no se tenía suficiente conocimiento sobre el área de estudio, sin embargo, una vez realizado el trabajo de campo, se definieron formalmente 6 clases que fueron las que se representaron en la leyenda.

Las clasificaciones se detallan en la figura siguiente:

LEYENDA

USOS DEL SUELO

- Bosque de Galería (1,108.98 ha)
- Bosque Latifoliado Denso (890.38 ha)
- Bosque Latifoliado Ralo (1,399.59 ha)
- Pastizal / Cultivo (1626.35 ha)
- Zona Urbana (148.212 ha)
- Tacotal / Vegetación Secundaria (2,193.4 ha)

Cabe mencionar que, para la definición de la leyenda, se tomó como referencia el Mapa de Uso actual del suelo de la República de Nicaragua del año 2015.

Descripción de la leyenda

Bosque de Galería: Se refiere a las coberturas construidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanente o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. (Corporación de cuencas de Tolima, 2011)

Se desarrollan en los márgenes de los cauces de los ríos, arroyos y canales, formando una estrecha franja que funciona en muchas ocasiones como corredores de fauna al comunicar comunidades vegetales aisladas.

Bosque latifoliado denso: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a 5m. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IDEAM, 2010).

Bosque latifoliado ralo: Cobertura construida por una unidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forma un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a 5m y cuya área de cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IDEAM, 2010).

Pastizal/ Cultivo: Comprende las tierras dedicadas principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Se incluyen las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogénea. En cuanto a los pastizales, se consideran dentro de esta categoría, los pastos limpios, pastos con maleza y pastos con árboles dispersos (IDEAM, 2010).

Tacotal/ Vegetación secundaria: Zonas de regeneración arbórea natural en áreas que fueron agrícolas o ganaderas, presenta diversos estados sucesionales (herbáceas, matorrales, arbustos, lianas, arboles) con

cobertura de copa de los árboles < 30% (Dirección General de Cambio Climático, 2017).

Zona urbana: Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano

3.5.3. Elaboración de las Áreas de entrenamiento y evaluación de la separabilidad espectral

La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases (Rosero Mier, 2017). El número de áreas de entrenamiento según Schowengerdt (1983) debe ser como mínimo $m+1$; donde “m” es el número de bandas espectrales. En este caso el número de áreas de entrenamiento superó por mucho lo recomendado por Schowengerdt.

La separabilidad espectral se evaluó por el método Jeffries-Matusita (valores de 0 a 2); los valores mayores a 1,6 indican buena separabilidad espectral.

3.5.4. Clasificación Supervisada

Se utilizó el algoritmo de Máxima verosimilitud que es un algoritmo paramétrico que supone la distribución normal de los valores de los píxeles de cada clase y asigna cada píxel a la clase a la que es más probable que pertenezca (Argañaraz & Entraigas, 2011).

3.6. Postprocesamiento de las imágenes satelitales (Validación de la imagen clasificada)

Entre las labores del postprocesamiento se validaron los resultados de la clasificación, a través del cálculo de la matriz de confusión basada en las áreas de verificación (puntos de validación) y el índice de Kappa.

3.7. Elaboración de cartografía temática

Una vez validada la clasificación, se procedió a exportar los datos a un entorno GIS, en ese caso se utilizó el software ArcMap 10.4.1.

IV. RESULTADOS

4.1. Clasificación No Supervisada

En base a la Clasificación No Supervisada, se generó un mapa preliminar de uso actual de suelo de la microcuenca del Río Citalapa, correspondiente al año 2020.

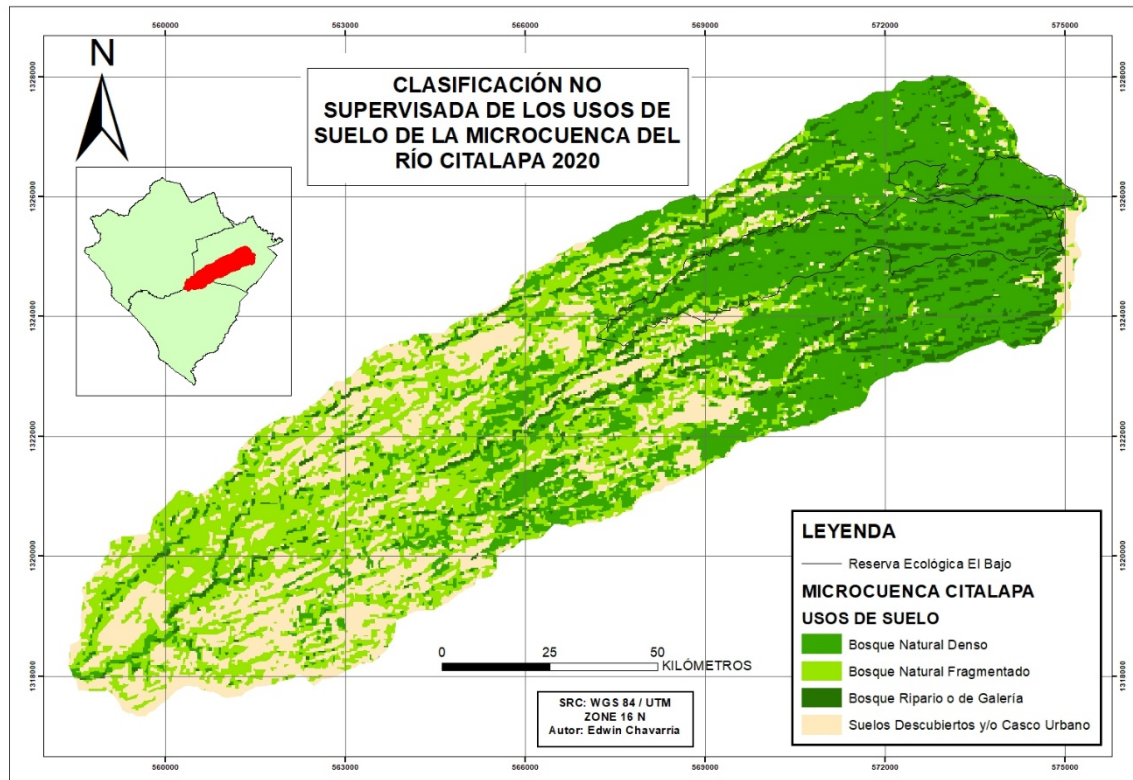


Figura 1. Clasificación No Supervisada de los Usos de Suelo de la Microcuenca del Río Citalapa.

Este mapa preliminar de los usos del suelo en la microcuenca sirvió para definir categorías iniciales, sin embargo, por el poco conocimiento de la zona de estudio, se estimó conveniente realizar visitas de campo para diferenciar entre zonas sin vegetación y zonas dedicadas a la agricultura (pastizales y/o cultivos) y diferenciar entre áreas con otro tipo de uso que fueron combinadas en esta clasificación preliminar.

Fue así como se lograron diferenciar áreas como: Pastizal/Cultivo, compuesto principalmente por zonas destinadas a la producción de pasto para el ganado y cultivos semianuales; Tacotal/vegetación secundaria, compuesto por árboles de poco grosor y valor económico y por vegetación principalmente arbustiva y zona urbana, compuesta principalmente por centros poblados o edificaciones.

Se tomó en cuenta la clasificación del uso actual del suelo de Nicaragua y así se definieron Bosque latifoliado denso y Bosque Latifoliado Ralo, la categoría de Bosque de Galería se mantuvo y eso suma un total de 6 categorías o clases temáticas.

4.2. Áreas de entrenamiento y evaluación de la separabilidad espectral

Aunque entre casi todas las áreas de entrenamiento este criterio se cumplió de un valor mayor a 1.6 unidades; entre Bosque Latifoliado Denso y Bosque Latifoliado Ralo la separabilidad fue de 1.29389810 unidades, esto debido principalmente a la similitud espectral entre ambas clases, por lo que este aspecto es algo posible de mejorar.

4.3. Clasificación Supervisada

Los resultados del análisis de uso de suelo realizado para el año 2020 se presenta en la siguiente tabla (Ver Figura 3). En ella se aprecia cual es la valoración cuantitativa absoluta o relativa de cada categoría de uso de suelo:

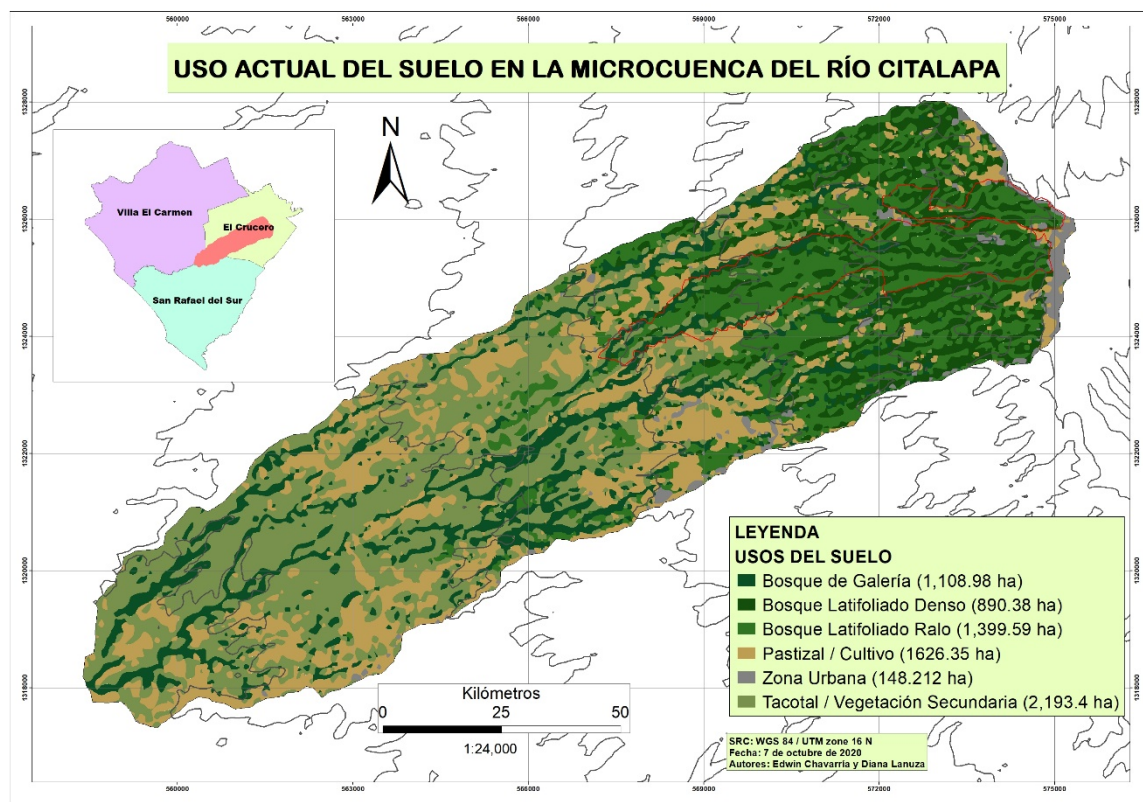


Figura 2. Uso actual del Suelo en la Microcuenca del Río Citalapa.

Categoría de uso suelo	Total (Ha)	Total (%)
Bosque de Galería	1,108.98	15.05%
Bosque latifoliado denso	890.38	12.08%
Bosque latifoliado ralo	1,399.59	18.99%
Pastizal/Cultivo	1,626.35	22.1%
Zona urbana	148.21	2.01%

Tacotal/Vegetación secundaria	2,193.40	30%
Total	7,366.91	100%

Figura 3. Tabla Uso actual del Suelo en la Microcuenca del Río Citalapa.

Según se observa en la tabla anterior, del total de 7,366.91 ha (100%) de la microcuenca del Río Citalapa, las categorías más predominantes corresponden a la Tacotal/Vegetación secundaria (30%) con una extensión de 2,193.40 ha, seguido de Pastizales/ Cultivo (22.1%) cuya extensión es de 1,626.35 ha, lo cual se pudo corroborar en campo, a través del levantamiento de puntos de verificación.

En la parte media y baja de la microcuenca del Río Citalapa se han establecido mayormente áreas dedicadas al pastoreo de ganado y al desarrollo de cultivos semianuales, lo cual ha tomado gran importancia para el sustento económico de los actores de esta parte de la microcuenca, la desventaja es que los espacios naturales han ido desapareciendo por culpa de la expansión agropecuaria.

Las zonas que se han descrito como pastizales incluyen aquellos espacios con pastos limpios o manejados, pastos en combinación con árboles dispersos, pastos con maleza, mosaico de pastos y cultivos, mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (en menor proporción).

Los cultivos que se desarrollan se encuentran distribuidos desde la parte alta hasta la parte baja de la microcuenca, siendo predominantes el cultivo de maíz, trigo, frijoles y en menor proporción algunos dueños de fincas han optado además por el cultivo de plantas frutales como musáceas, pitahaya y algunos cítricos.

Cabe mencionar que otro cultivo que se desarrolla mayormente en la parte alta y media de la microcuenca es el cultivo de Café, el cual se desarrolla mayormente bajo sombra y en otros tipos de sistemas agroforestales (Café, árboles maderables, y musáceas), pero no se definió como otra categoría, debido a que la imagen satelital de Landsat es de baja resolución y el comportamiento espectral del cultivo de café se observa similar al del bosque latifoliado ralo, no pudiendo distinguir entre estas dos coberturas.

En cuanto a la superficie territorial que es ocupada por bosques, se ha encontrado un mayor porcentaje de bosque latifoliado ralo con una extensión de 1,399.59 ha, y el bosque latifoliado denso con 890.38 ha, estos dos tipos de bosques se encuentran distribuidos en la parte alta de la microcuenca, en las zonas montañosas del municipio del crucero-Managua, principalmente entre los 900 y 500 msnm. Hoy en día estos bosques aún se conservan gracias a que los actores locales de las comunidades han optado por cuidar sus recursos naturales y producir de una manera más sustentable, aquí destacan las comunidades de Santa Julia, Las Pilas y algunas reservas como es el caso de la Reserva ubicada en la comunidad de Santa Julia, creada a partir de la compra de remanentes de fincas

cafetaleras, pero ha reorientado sus objetivos productivos enfocando sus esfuerzos hacia el ecoturismo, regeneración y conservación de los bosques que aún poseen (Suárez Valle & Zeledón Rivera, 2016).

Por otra parte, en la microcuenca se destaca entre los tipos de bosque encontrados, el Bosque de galería, con una ocupación de 1,108.98 ha del total de la superficie de la microcuenca, este tipo de bosque se observa desde las partes más altas con pequeños remanentes que conservan las características de un bosque de galería, pero sin la presencia del caudal de un río, en este caso el río Citalapa se asocia a este tipo de bosque y su caudal inicia en las partes más bajas de la microcuenca, debajo de los 350 msnm.

4.4. Validación de la imagen clasificada

La matriz de confusión calculada, procedente del análisis entre la clasificación a partir de áreas de entrenamiento y las áreas de verificación establecida, dio una exactitud global de 95.7597%, en donde 542 pixeles de 566 en total fueron correctamente clasificados (Ver Figura 4), e indica un índice Kappa de 0.9459 evidenciando una clasificación casi perfecta.

		Puntos de validación (%)					Total
		Bosque de Galería	Bosque Latifoliado Denso	Bosque Latifoliado Ralo	Tacotal/Vegetación secundaria	Pastizal/Cultivo	
Puntos de entrenamiento (%)	Bosque de Galería	98.98	0	0	2.08	0	101.06
	Bosque Latifoliado Denso	0	93.67	1.02	0	0	94.69
	Bosque Latifoliado Ralo	1.02	3.03	97.96	2.08	0	104.09
	Tacotal/Vegetación secundaria	0	0	0.51	93.75	0	94.26
	Pastizal/Cultivo	0	0	0.51	2.08	98.75	101.34
	Zona Urbana	0	0	0	0	1.25	1.25
	Total	100	96.7	100	100	100	100
					Exactitud global:	(542/566)	95.7597%
					Coefficiente de Kappa	0.9459	

Figura 4. Matriz de confusión e índice de Kappa Usos del suelo Microcuenca del Río Citalapa.

Discusión.

Entrando en materia de cuencas y microcuencas, es importante destacar la interacción que existe entre el sistema natural suelo, agua y vegetación y sin obviar el sistema socioeconómico en ese espacio, el problema es que éste último no tiene un límite físico, si depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos y por lo tanto puede limitar el desarrollo, ya sea a la disponibilidad del agua, la calidad del suelo para la energía, industria, consumo humano, entre otros (Rizo, Romero, & Zeledón, 2011).

Los cambios en la cobertura de suelo, perdiendo capa vegetal, ocasionan disminución de aportaciones hídricas, debido a su pérdida de capacidad de infiltración y recarga de acuíferos, ocasionando impactos negativos en la disponibilidad de los recursos hídricos en cualquier época del año, (Perez, Segovia, Cabrera, Delgado, & Martins, 2018). El mal manejo de una cuenca hidrográfica repercute negativamente también en las actividades productivas y por lo tanto en el nivel y calidad de vida de los habitantes.

En el caso de la microcuenca Citalapa el sistema socioeconómico está sustentado principalmente en las actividades agrícolas y pecuarias, pero como se observa en el mapa de uso de suelo, la expansión agropecuaria ejerce más presión desde la parte media y baja de la microcuenca, lo cual ha venido incentivando un proceso de deforestación, por esta razón es necesario lograr un manejo adecuado, orientado y enfocado al aprovechamiento racional de los recursos naturales.

Conclusión

Se identificaron 6 categorías de usos del suelo en la Microcuenca del Río Citalapa, entre estos predominan principalmente las zonas con tacotales/vegetación secundaria y los pastizales/cultivos. Esta situación indica un mal manejo de la microcuenca, por lo que la implementación de planes de gestión y manejo son esenciales para mantener la el acceso y la calidad del agua en la zona.

V. Referencias Bibliográficas

- Argañaraz, J. P., & Entraigas, I. (2011). Análisis comparativo entre las máquinas de vectores soporte y el clasificador de máxima probabilidad para la discriminación de cubiertas de suelo. *Revista de Teledetección*, 36, 26-39. Retrieved from http://www.aet.org.es/revistas/revista36/Numero36_03.pdf
- Blandón, E. (n.d.). Diagnóstico, infraestructura escolar e institucional del municipio de San Rafael del Sur y El Crucero. Managua.
- Chuvieco, E. S. (2002). *Fundamentos de Teledetección espacial* (1st ed.). Madrid, España.
- Corporación de cuencas de Tolima, C. (2011). Cobertura y uso del suelo. Colombia.
- Dirección General de Cambio Climático, M. del A. y los R. N. (2017). Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) para Nicaragua. Versión preliminar borrador para revisión interna. Managua, Nicaragua.
- FAO. (2003). *Water Resources, Development and Management Service, Information System on Water and Agriculture, Land and Water, General Summary Latin America and the Caribbean*.
- Guariguata, M. R., & Kattan, G. H. (2002). Ecología y conservación de bosques neotropicales. In M. R. Guariguata (Ed.), *Biogeografía de los bosques neotropicales* (1ra ed., pp. 59-60).
- IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000. In I. de hidrología y estudios Ambientales (Ed.), *Area*. Bogotá.
- Kruse, F. A. (2004). Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH Atmospheric Corrections Using Low-Altitude AVIRIS Data of Boulder, CO. In *Summaries of 13th JPL Airborne Geoscience Workshop, Jet Propulsion Lab, Pasadena, CA*, 1-10. Retrieved from http://w.hgimaging.com/PDF/Kruse-JPL2004_ATM_Compare.pdf
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(3), 375-393. <https://doi.org/10.1177/030913339702100303>
- Lu, D., Ge, H., He, S., Xu, A., Zhou, G., & Du, H. (2008). Pixel-based Minnaert correction method for reducing topographic effects on a landsat 7 ETM+ image. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(11), 1343-1350. <https://doi.org/10.14358/pers.74.11.1343>
- MARENA. (2014). V Informe Nacional de Biodiversidad de Nicaragua. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/world/ni/ni-nr-05-es.pdf>
- Perez, D. J., Segovia, J. A., Cabrera, P. C., Delgado, I. A., & Martins, M. L. (2018). Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 41-57.

<https://doi.org/10.22490/21456453.2089>

- Requielme, J. C. (2019). Análisis de la pérdida de Cobertura Boscosa y cambio de uso del suelo, mediante el análisis de imágenes satelitales, período 2000 al 2018; en el distrito de Chadín, Chota (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Rizo, R., Romero, L., & Zeledón, J. (2011). Caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca La Jabonera, perteneciente a la subcuenca del Río Estelí. FAREM-Estelí, UNAN Managua.
- Rocha, J. V. (2000). El Sistema de Informaciones Geográficas (SIG) en los Contextos de Planificación del Medio Físico y de las Cuencas Hidrográficas. In Aspectos geológicos de protección ambiental. (pp. 112-123). Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/context-sig.pdf>
- Rosales, A. (2013). Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica. Retrieved from <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10538.pdf>
- Rosero Mier, M. M. (2017). Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura (Tesis de Maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Rubí, Y. J., & Romero, Z. de los Á. (2019). Evolución histórica del municipio El Crucero departamento de Managua y su vinculación con la producción cafetalera desde 1845 hasta la actualidad (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- Managua.
- Schowengerdt, R. A. (1983). Techniques for image processing and classification in remote sensing. New York: Academic Press.
- Suárez Valle, G. J., & Zeledón Rivera, R. E. (2016). Captación y almacenamiento de agua de lluvia, mediante el uso de pilas de captación en la comunidad Santa Julia, El Crucero, Managua, 2016 (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional Agraria, Managua.
- USGS. (2019). Landsat Collection Level 1 Product Definition. In United States Geological Survey. Retrieved from <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-collection-1-level-1-product-definition>