



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 460-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898476*

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

Año: VIII

Número: Edición Especial.

Artículo no.:13

Período: Marzo, 2021

TÍTULO: Evaluación del uso y cobertura del suelo en la cuenca río Chico.

AUTORES:

1. Ing. María Luisa Mendoza Poggi.
2. Máster. Andy Miguel Giler-Ormaza.
3. Dr. Cristina Aguilar Porro.
4. Dr. Rafael Pimentel Leiva.

RESUMEN: El presente estudio evalúa las diferencias en estimación de cambios en el uso y cobertura del suelo entre productos de la ESA-CCILC y Landsat. La clasificación digital mediante análisis multiespectral es aplicada a imágenes Landsat 5 TM, y Landsat 8 OLI, obteniéndose los mapas de uso y cobertura del suelo. Como método de comparación, se evalúa las diferencias con los mapas de cobertura proporcionados por ESA-CCILC y los obtenidos con imágenes Landsat, y su asociación con la generación de escorrentía en la cuenca. Los resultados en los cambios de uso y cobertura suelo divergen entre las fuentes analizadas, por lo cual resulta importante utilizar fuentes de datos con buena resolución espacial para lograr discriminar dichos cambios.

PALABRAS CLAVES: Cobertura vegetal, Imágenes Landsat, ESA (European Space Agency), CCILC (Climate Change Initiative Land Cover), Escorrentía.

TITLE: Evaluation of land use and coverage in the Chico River basin.

AUTHORS:

1. Eng. María Luisa Mendoza Poggi.
2. Master. Andy Miguel Giler-Ormaza.
3. Dra. Cristina Aguilar Porro.
4. Dr. Rafael Pimentel Leiva.

ABSTRACT: This study evaluates the differences in estimation of changes in land use and land cover between ESA-CCILC and Landsat products. Digital classification by multispectral analysis is applied to Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI images, obtaining land use and cover maps. As a method of comparison, the differences are evaluated with the coverage maps provided by ESA-CCILC and those obtained with Landsat images, and their association with the generation of runoff in the basin. The results of changes in land use and cover diverge between the sources analyzed, so it is important to use data sources with good spatial resolution to discriminate these changes.

KEY WORDS: Vegetation cover, Landsat Images, ESA (European Space Agency), CCILC (Climate Change Initiative Land Cover), Runoff.

INTRODUCCIÓN.

La cubierta vegetal sea ésta de bosques, cultivos o pasto, requiere el componente agua para su sostenimiento, la cual permite la protección del suelo y regulación del ciclo hidrológico (Jofré et al., 2013). Las variaciones de la cobertura del suelo en tiempo y espacio proporcionan una visión de la dinámica que existe en los ecosistemas (Gonzaga, 2015); por ello, es necesario entender que estas interacciones que se generan en la superficie de una cuenca hidrográfica se ven reflejado en el volumen de su descarga.

A nivel mundial en los últimos 300 años, la agricultura ha sido la causa principal de la transformación del suelo, como efecto de la colonización de los territorios y del orden económico mundial (Henriquez Dole, 2012). Aunque la deforestación de los bosques y sobre explotación ocurre desde hace milenios, en las últimas décadas la conversión de bosques en tierras no forestales para uso agrícola ha sido generalizado, a causa de los intereses socioeconómicos de las poblaciones (Bone et al., 2017). El desarrollo de la industria y el crecimiento demográfico trae consigo la necesidad de aumentar la producción de alimentos, expandiéndose cada día los horizontes de las áreas cultivables.

En América Latina, las poblaciones obtienen un 32.1% de sus ingresos a través de diferentes productos provenientes de recursos ambientales forestales y no forestales (Angelsen et al., 2014). Mientras que en Ecuador hasta el 2018 se destinaron alrededor de 5.3 millones de hectáreas en suelo cultivable, del cual Manabí es la provincia con mayor superficie de labor agropecuaria, pues representa el 20.70% del total nacional (INEC, 2020), lo cual constituye que se utiliza gran cantidad de agua para riego y se producen grandes extensiones de pasto para alimentación de ganado; además, el uso de los pesticidas y fungicidas usados en la agricultura aportan contaminantes a los cursos de agua.

El análisis del Balance hídrico en la provincia de Manabí, manifiesta un déficit hídrico entre marzo a enero, donde la evotranspiración supera la precipitación (Pérez-Leira et al., 2018), originándose que en algunos sectores los cultivos se deban producir a través de riego, aun cuando entre enero a abril es la época invernal; pues en este período surgen los cultivos de ciclo corto, con lo cual se incrementa la productividad agrícola, a la vez que se realizan las expansiones de áreas cultivables con el despeje de zonas arbóreas.

La evaluación del cambio en la cobertura y uso del suelo permite proyectar la tendencia de las afectaciones ocasionadas al medio ambiente, en relación con desertificación, deforestación, degradación y pérdida de la biodiversidad (Ruiz & Orozco, M. Granados, R. Álvarez, 2017); sin

embargo, se requieren aplicar técnicas que permitan monitorear eventos importantes y patrones de eventualidad, para lo cual es indispensable reconocer los factores ambientales y sociales que contribuyen al cambio de suelo (Altaweel et al., 2010). Por su parte, los sensores remotos nos brindan la posibilidad de estudiar estos cambios, sin incurrir en estudios costosos, y que se pueden actualizar periódicamente o en su defecto, proyectar escenarios futuros, pues permiten contribuir con la planificación territorial.

La cuenca del Río Chico es a su vez una subcuenca del Río Portoviejo, y está conformada por siete microcuencas que abarcan los territorios de las parroquias rurales de San Plácido, Chirijos, Alajuela, Abdón Calderón y Río chico, pertenecientes a la circunscripción territorial del cantón Portoviejo (Pincay, Guerrero & Ríos, 2020). Su clima se encuentra compuesto por condiciones semiáridas, de sabana y tropical húmedo, como se caracteriza el clima de la provincia de Manabí (Giler, 2018). Estas poblaciones poseen alta productividad agropecuaria y aportan significativamente al desarrollo económico del cantón Portoviejo, implicando la erosión del suelo, tala de árboles, desprotección de las riberas, afectando al cambio climático e incrementando los riesgos ante desastres naturales (Giler et al., 2020).

Dada la alta vulnerabilidad a inundaciones a la cual está expuesta la cuenca de Río Chico en la que se han evidenciado periódicos eventos de inundaciones en el transcurso de la última década, resalta la importancia de analizar y evaluar los cambios que han ocurrido en el uso y cobertura de suelo en esta zona.

El objetivo general de esta investigación es evaluar las diferencias en estimación de cambios en el uso y cobertura del suelo entre varias fuentes de información. Los objetivos específicos fueron a) Evaluar disponibilidad y factibilidad de diferentes fuentes de información para estimar cambios de uso y cobertura de suelo; b) Realizar el procesamiento para las fuentes de información seleccionadas

y obtener mapas de cobertura de suelo; y c) Llevar a cabo un análisis multitemporal de los cambios en el Uso y Cobertura de Suelo.

DESARROLLO.

Materiales y métodos.

Área de Estudio.

La superficie de la cuenca de Río chico es de 451.74 km², donde el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) tiene ubicado la estación hidrológica H272, la cual es de tipo Linnimétrica y se encuentra activa, también se encuentran las estaciones meteorológicas M464 y M454 de tipo pluviométrica en estado activas.

A partir de un modelo de elevación del terreno (DEM) de resolución 12.5 x 12.5 m obtenido de la Administración Espacial Aeronáutica de Estados Unidos (NASA) a través del satélite ALOS PALSAR, se implementa la discretización espacial usando un sistema de información geográfica considerando la disponibilidad de datos de la cuenca en estudio (Jorquera et al., 2012); por ello se emplea el programa QGIS y las herramientas de SAGA para la delimitación de la cuenca, tomando como punto de cierre la estación hidrológica H272.

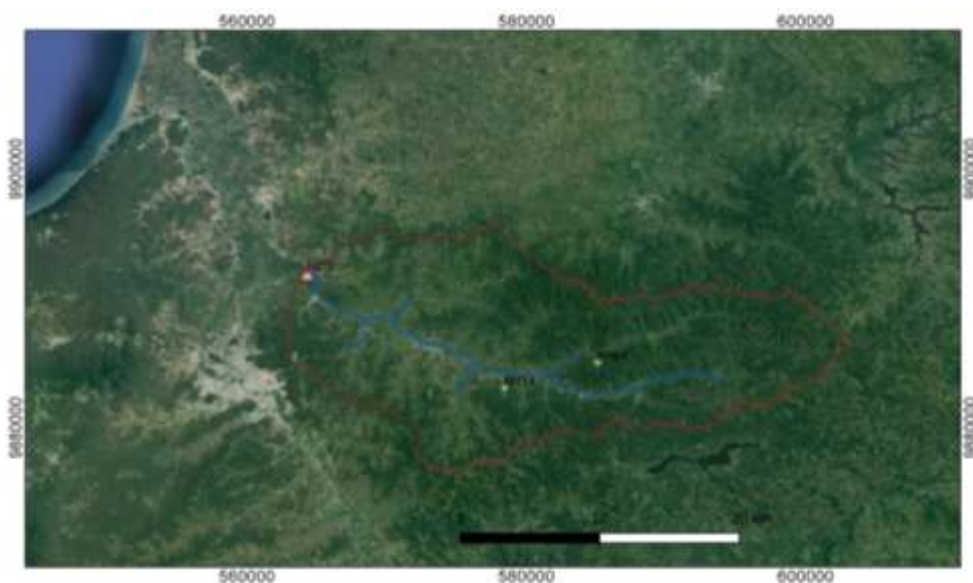


Figura 1. Área de estudio – Cuenca Río Chico.

Teledetección.

A partir de imágenes provenientes de sensores remotos, la teledetección permite realizar una caracterización de los suelos y evaluar los cambios de uso y cobertura mediante el análisis multiespectral, dado que los sensores perciben la energía electromagnética que emiten los cuerpos (Dotto et al., 2019; Torres et al., 2014). La imagen es capturada por detectores fotoeléctricos, que transforman los niveles de radiancia en valores numéricos que se denominan niveles digitales (DN), y estos valores están contenidos en cada banda espectral de las imágenes (Pérez, et. al, 2018).

Para obtener los datos espectrales se revisó entre las diferentes imágenes de productos Landsat y Sentinel de varios años, evidenciándose que los más disponibles para el área de estudio, son las imágenes Landsat Nivel 1, las cuales ya se han calibrado radiométricamente y ortorrectificado utilizando puntos de control terrestre (GCP) y datos del modelo de elevación digital (DEM); sin embargo, requieren de un preprocesamiento antes de realizar una clasificación de la cobertura, puesto que un factor que afecta la estimación de vegetación es la saturación de datos, causado por la dispersión y absorción atmosférica, los cuales generan alteraciones con el tiempo, el espacio y la longitud de onda (Prieto-Amparan et al., 2018).

Las imágenes empleadas corresponden a la plataforma Landsat, descargadas desde la página de la Agencia Espacial de Estados Unidos (earthexplorer.usgs.gov) las cuales se muestran en la Tabla 1.

| Satélite | Año de obtención de la información | ID de la imagen |
|---------------|------------------------------------|--|
| Landsat 5 TM | 1998 | LT05_L1TP_011061_19980907_20161222_01_T1 |
| Landsat 8 OLI | 2015 | LC08_L1TP_011061_20150906_20170404_01_T1 |

Tabla 1: Fuente de imágenes Landsat.

Preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat.

Corrección radiométrica.

Permite convertir los números digitales (DN) registrados por los satélites en unidades físicas, ya sea radiancia ($W / m^2 / sr / \mu m$) o reflectancia de la atmósfera; por ello, se emplea la herramienta Radiometric Correction que se encuentra en el software de ENVI, usando la configuración del método Flash, cuyo factor de escala es de 0.10 para la calibración de la radiancia (Aguilar et al., 2015).

Corrección atmosférica.

Esta corrección es necesaria realizarla a las imágenes adquiridas por diferentes sensores o en distintas fechas (Young et al., 2017). El método de corrección FLAASH permite la eliminación de los efectos atmosféricos causados por la dispersión molecular en la atmósfera. Para obtener la reflectancia de la superficie, se emplea la siguiente ecuación:

$$L_{TOA} = \left(\frac{A\rho_{SUP}}{1-\rho_e S} \right) \left(\frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_o \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde L_{TOA} es el resplandor espectral al satélite, ρ_{SUP} es la reflectancia de la superficial del pixel, ρ_e es la reflectancia de la superficie promedio del pixel de la región circundante, S es el esférico albedo de la atmósfera, l_o es el resplandor que dispersa la atmósfera, mientras que A y B son coeficientes que dependen de la atmósfera y las condiciones geométricas (Prieto-Amparan et al., 2018). Este método se encuentra como un módulo del software ENVI.

Otro método para el pre-procesamiento de imágenes Landsat es a través del plugin SCP que se encuentra en QGIS, el cual realiza la corrección atmosférica mediante el algoritmo del DOS1 (Dark Object Subtract 1); este método considera que los objetos oscuros se detectan automáticamente cuando el valor de reflexión de píxeles es menor o igual a 1.0% (Prieto-Amparan et al., 2018).

Corrección topográfica.

Debido a que el ángulo de incidencia del sol es diferente entre las estaciones del año, esto genera regiones oscuras o con mayor iluminación, por lo cual, se emplea la corrección topográfica por el método de Minnaert, el cual emplea la siguiente ecuación:

$$L_H = L_T \left(\frac{\cos Z}{\cos i} \right)^k \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde L_H es la reflectancia de la superficie horizontal, L_T es la reflectancia de la superficie inclinada, z es el ángulo cenital solar, i es el ángulo de incidencia solar local, y k es la constante de Minnaert. Este método se encuentra dentro de los complementos de SAGA en QGIS (Fureder, 2010).

Mapas de Uso y Cobertura de suelo de imágenes Landsat.

La clasificación digital se la realizó a través del complemento Semi-Automatic Classification (SCP) que se encuentra en QGIS, mediante una clasificación semisupervisada, se tomaron 17 regiones de interés (ROI) para 6 Macro-clases, los cuales se tomaron para diferentes combinaciones de bandas que se muestra en la tabla 2; estos muestreos junto con la implementación del algoritmo de Distancia mínima permitieron obtener resultados más discretos. Para discriminar la cubierta vegetal resulta útil la combinación de bandas infrarroja (Argañaraz & Entraigas, 2011).

| Satélite | Tipo | Combinación de bandas |
|---------------|------------------------|-----------------------|
| Landsat 5 TM | Color Natural | 3-2-1 |
| | Uso agrícola | 5-4-1 |
| | Falso color infrarrojo | 4-3-2 |
| Landsat 8 OLI | Color Natural | 4-3-2 |
| | Uso agrícola | 6-5-2 |
| | Falso color infrarrojo | 5-4-3 |

Tabla 2: Combinaciones de banda para imágenes satelitales.

En la Figura 2, se muestran las diferentes combinaciones de bandas para las imágenes Landsat que permiten discriminar y clasificar las coberturas del suelo en función de su composición espectral.

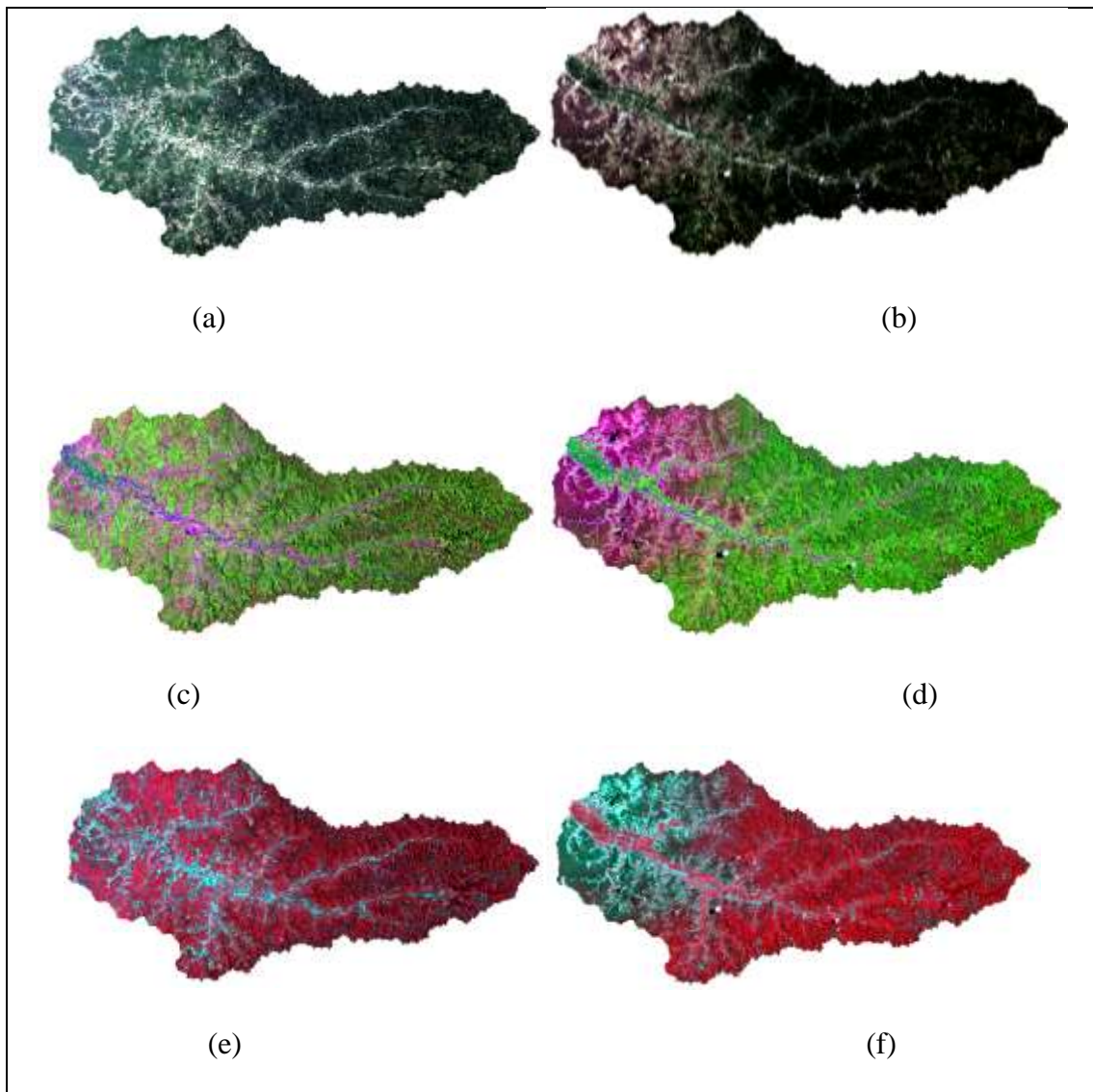


Figura 2: Combinaciones de bandas en imágenes Landsat; (a) Color Natural – año 1998; (b) Color Natural – año 2015; (c) Uso agrícola – año 1998; (d) Uso agrícola – año 2015; (e) Falso color infrarrojo – año 1998; y (f) Falso color infrarrojo – año 2015.

Para poder identificar el porcentaje de cobertura de suelo para cada clasificación, se implementó el complemento de DataPlotly desarrollado por Matteo Ghetta y Paolo Cavallini en 2017 citado en (Rosetto, De Filippis, Triana, Ghetta, Borsi & Schmid, 2019), mismo que se encuentra en QGIS, con el cual se logró identificar la variabilidad de cada tipo de cobertura entre los mapas de los años estudiados, pero al tener los mapas de cobertura vegetal en series temporales, se tuvo que emplear la calculadora ráster de QGIS, mediante la división de mapa del año 1998 y 2015 para así obtener un

mapa con los cambios producidos en dicho período; sin embargo, esto no discrimina aquellos tipos de cobertura que favorecen a la escorrentía o infiltración, por lo que fue necesario reclasificar los valores obtenidos para mostrar visualmente los cambios.

Esta reclasificación se la realizó para los tipos de cobertura que tienen mayor representación en área y que sufrieron mayor variabilidad entre el período de 1998 a 2015; por ello, se muestra en la Tabla 3, una matriz binaria para la reclasificación de las áreas con cambios de cobertura.

Tabla 3: Matriz binaria para reclasificación de cambios de cobertura de imágenes Landsat.

| Cobertura | DN | DNbase | Matriz Binaria | |
|--|-----|--------|----------------|-------|
| | | | DN/DNbase | VALOR |
| Favorece la infiltración | | | | |
| Tierras de cultivo, de secano | 10 | 50 | 0,2 | 1 |
| Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) | 50 | 50 | 1 | 0 |
| Matorral | 120 | 50 | 2,4 | 1 |
| Áreas desnudas | 200 | 50 | 4 | 1 |
| Favorece la escorrentía | | | | |
| Tierras de cultivo, de secano | 10 | 200 | 0,050000 | 2 |
| Tierras de cultivo, de secano | 10 | 190 | 0,052632 | 2 |
| Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) | 50 | 10 | 5,000000 | 2 |
| Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) | 50 | 120 | 0,416667 | 2 |
| Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) | 50 | 190 | 0,263158 | 2 |
| Matorral | 120 | 10 | 12,000000 | 2 |
| Matorral | 120 | 190 | 0,631579 | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

Mapas de Uso y Cobertura de suelo ESA CCI.

Otra fuente útil de información para estimar cambios de cobertura de suelo son los mapas desarrollados por la Agencia Espacial Europea (ESA), y la Iniciativa de Cambio Climático (CCI), muestran Cobertura del Suelo a nivel global con una resolución espacial de 300 m, los cuales son publicados anualmente, y se cuenta con mapas desde el año 1998 al 2015. Los tipos de cobertura de suelo fueron definidos utilizando el Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (LCCS)

desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

En la Tabla 4 se muestran las coberturas de suelo para la cuenca Rio Chico.

Tabla 4: Leyenda de mapas de Cobertura de Suelo para la Cuenca Riochico.

| DN | Etiqueta | Color |
|-----|---|-------|
| 10 | Tierras de cultivo, de secano | |
| 11 | Cubierta herbácea | |
| 30 | Tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (árboles, arbustos, cobertura herbácea) (<50%) | |
| 40 | Vegetación natural en mosaico (árboles, arbustos, cobertura herbácea) (> 50%) / tierras de cultivo (<50%) | |
| 50 | Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) | |
| 100 | Árbol y arbusto de mosaico (> 50%) / cobertura herbácea (<50%) | |
| 110 | Cobertura herbácea en mosaico (> 50%) / árbol y arbusto (<50%) | |
| 120 | Matorral | |
| 130 | Pradera | |
| 190 | Áreas urbanas | |

Fuente: Elaboración propia, en base a leyenda ESA-CCI.

Dado que se analiza la variabilidad temporal de los cambios producidos en la cobertura y uso del suelo, se emplea la misma metodología aplicada en las imágenes Landsat para determinar los porcentajes y los cambios producidos entre los años 1998 a 2015 para los mapas de la Agencia Espacial Europea (ESA); por ello, en la Tabla 5 se muestra la matriz binaria para la reclasificación de las áreas con cambios de cobertura.

Tabla 5: Matriz binaria para reclasificación de cambios de cobertura en mapas de la ESA.

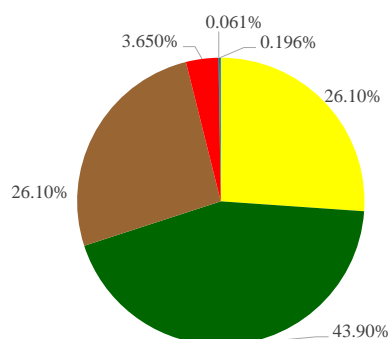
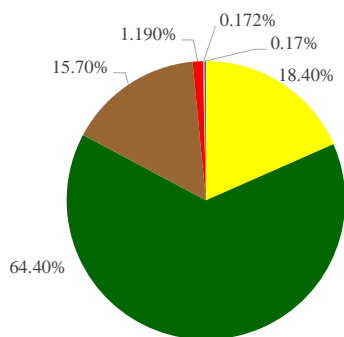
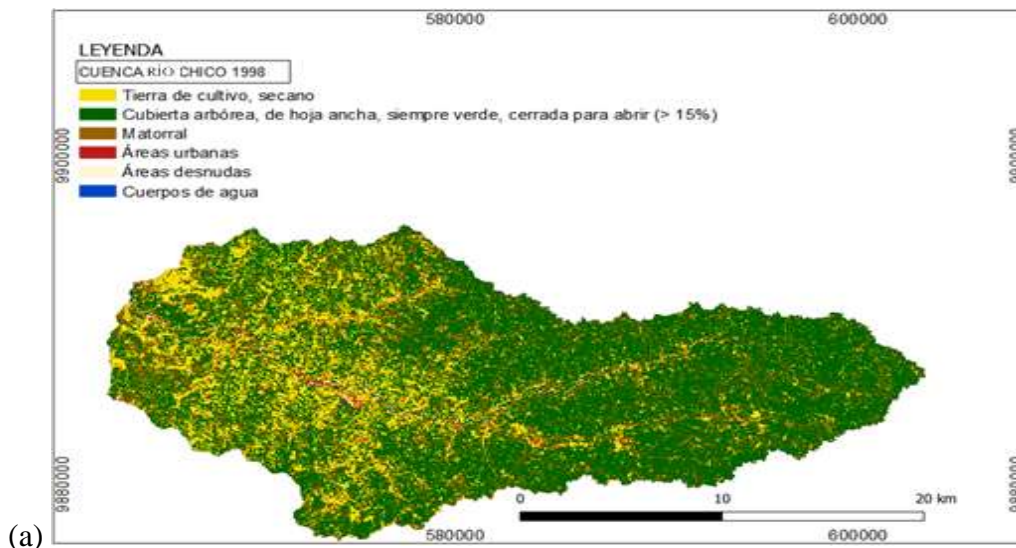
| COBERTURA | DN | DNbase | MATRIZ BINARIA | |
|---|-----|--------|----------------|-------|
| | | | DN/DNbase | VALOR |
| Favorece la infiltración | | | | |
| Tierras de cultivo, de secano | 10 | 50 | 0,2 | 1 |
| Tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (árboles, arbustos, cobertura herbácea) (<50%) | 30 | 50 | 0,6 | 1 |
| Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) | 50 | 50 | 1 | 0 |
| Matorral | 120 | 50 | 2,4 | 1 |

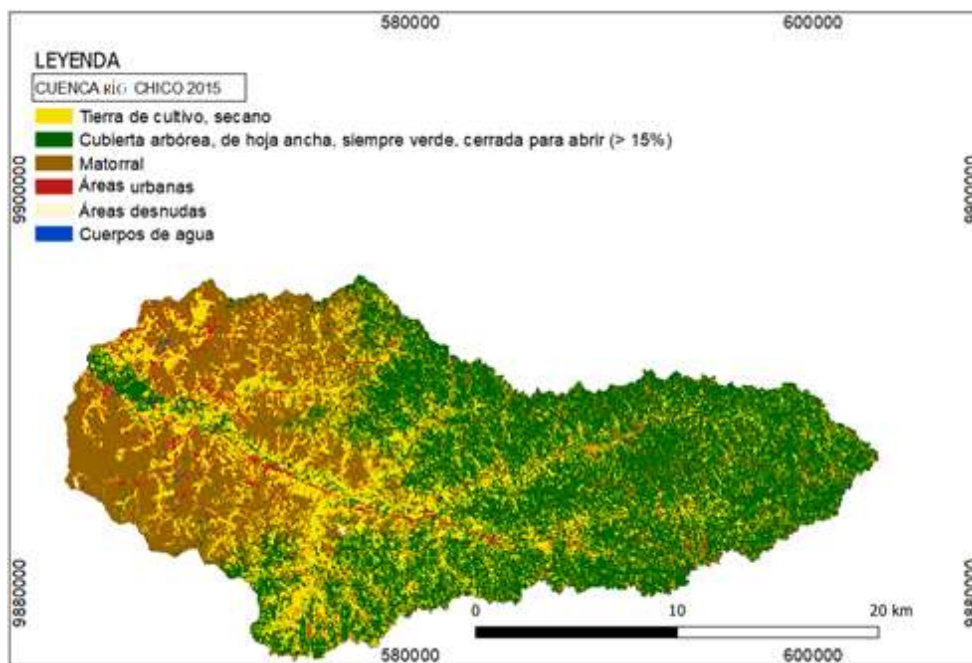
| Favorece la escorrentía | | | | |
|---|-----|-----|----------|---|
| Pradera | 130 | 190 | 0,684211 | 2 |
| Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) | 50 | 120 | 0,416667 | 2 |
| Tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (árboles, arbustos, cobertura herbácea) (<50%) | 30 | 190 | 0,157895 | 2 |
| Tierras de cultivo, de secano | 10 | 190 | 0,052632 | 2 |
| Matorral | 120 | 190 | 0,631579 | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

Resultados.

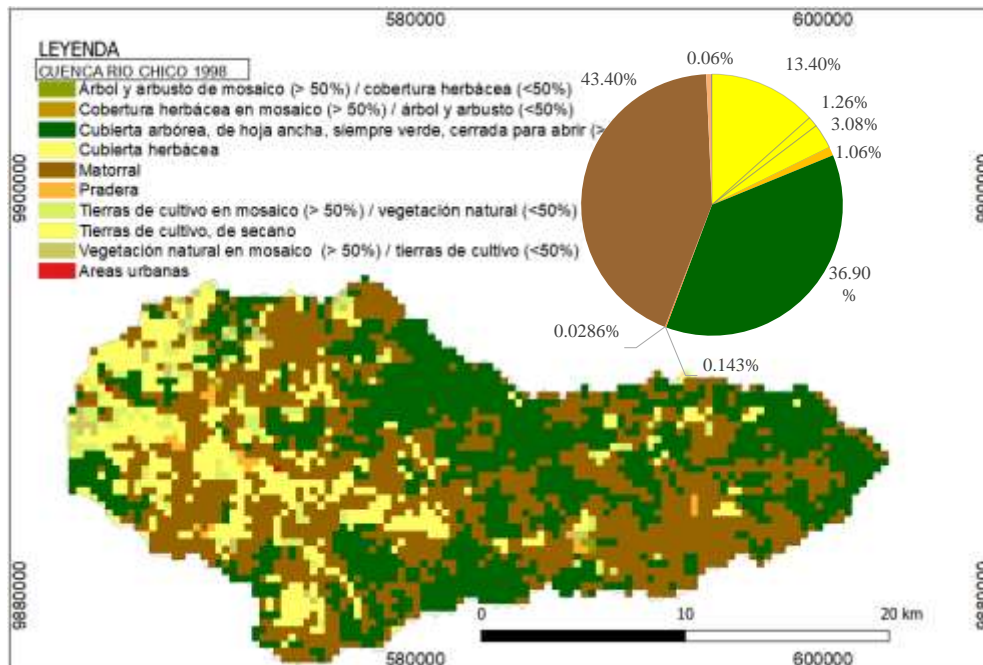
Se determinaron los porcentajes de los tipos de cobertura de suelo de las imágenes Landsat y en los mapas de la ESA-CCILC para los años 1998 y 2015 empleando los diagramas de pasteles como se muestra en las Figuras 3 y 4 correspondiente a la Cuenca Río Chico.



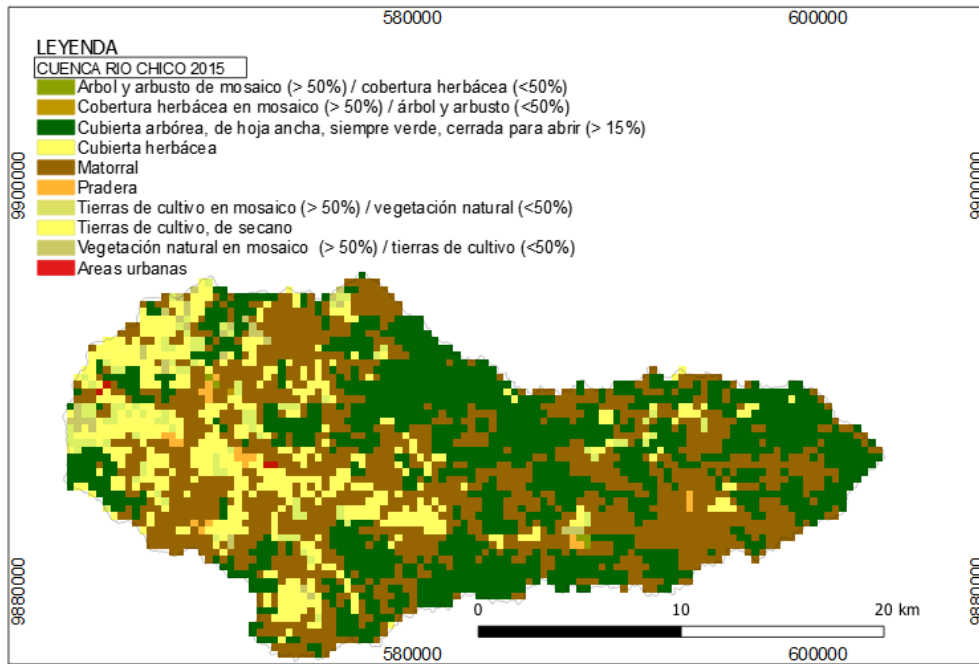


(b)

Figura 3: Porcentajes y tipos de cobertura de suelo de la cuenca Río Chico con base en imágenes Landsat; (a) año 1998; (b) año 2015.



(a)



(b)

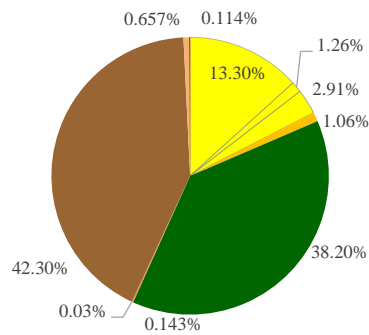
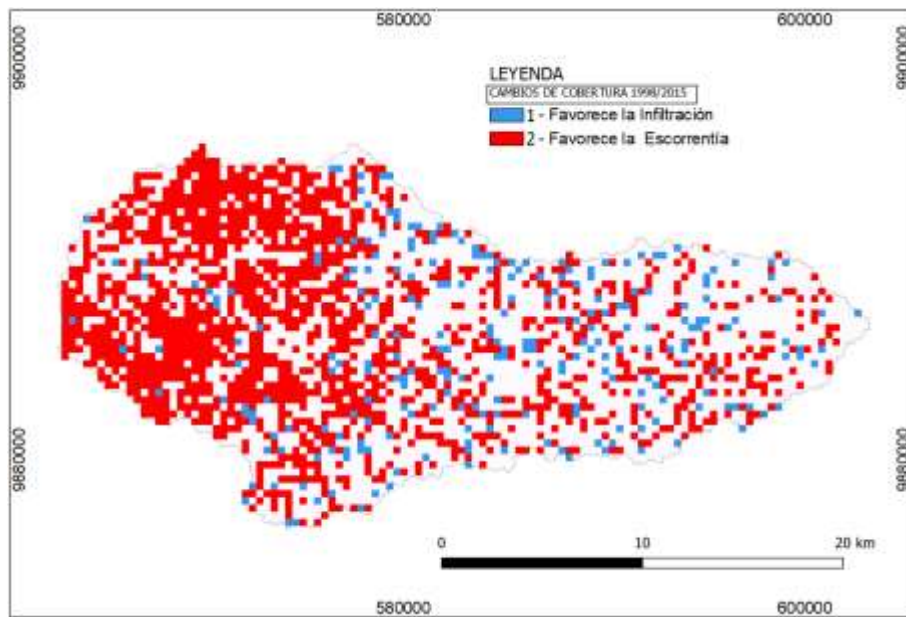
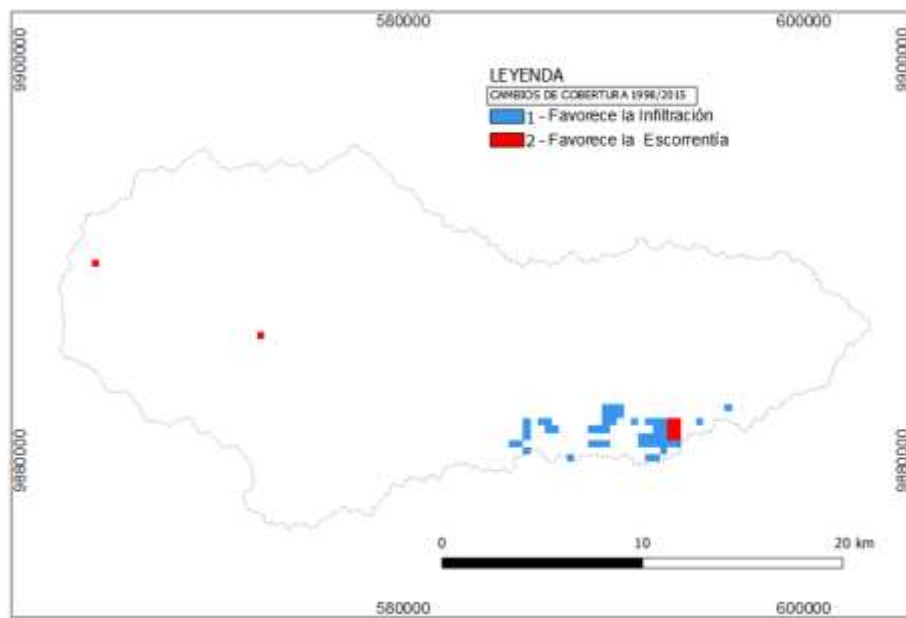


Figura 4: Porcentajes de los tipos de cobertura de suelo de la cuenca Río Chico con base en mapas ESA-CCILC; (a) año 1998; (b) año 2015.

En la Figura 5 se denotan los cambios que se produjeron entre el año 1998 a 2015, discriminando cuáles fueron cambios de cobertura que contribuyen a la infiltración o a la escorrentía.



(a)



(b)

Figura 5: Mapa de cambios de cobertura de suelo entre 1998 a 2015; (a) Con base en imágenes

Landsat; (b) con base en mapas de las ESA-CCILC.

Al emplear el plugin del SCP para el preprocesamiento de las imágenes y luego de aplicar la corrección topográfica, no se logró resultados adecuados en la clasificación; por ello, se muestra en la Figura 6, el mapa de cobertura donde los cuerpos de agua aparecen disgregados en zonas pobladas, así como áreas desnudas se muestran en áreas de cultivo; por lo cual, en esta investigación no se realiza una evaluación de cobertura del suelo con imágenes corregidas atmosféricamente a través del plugin SCP.

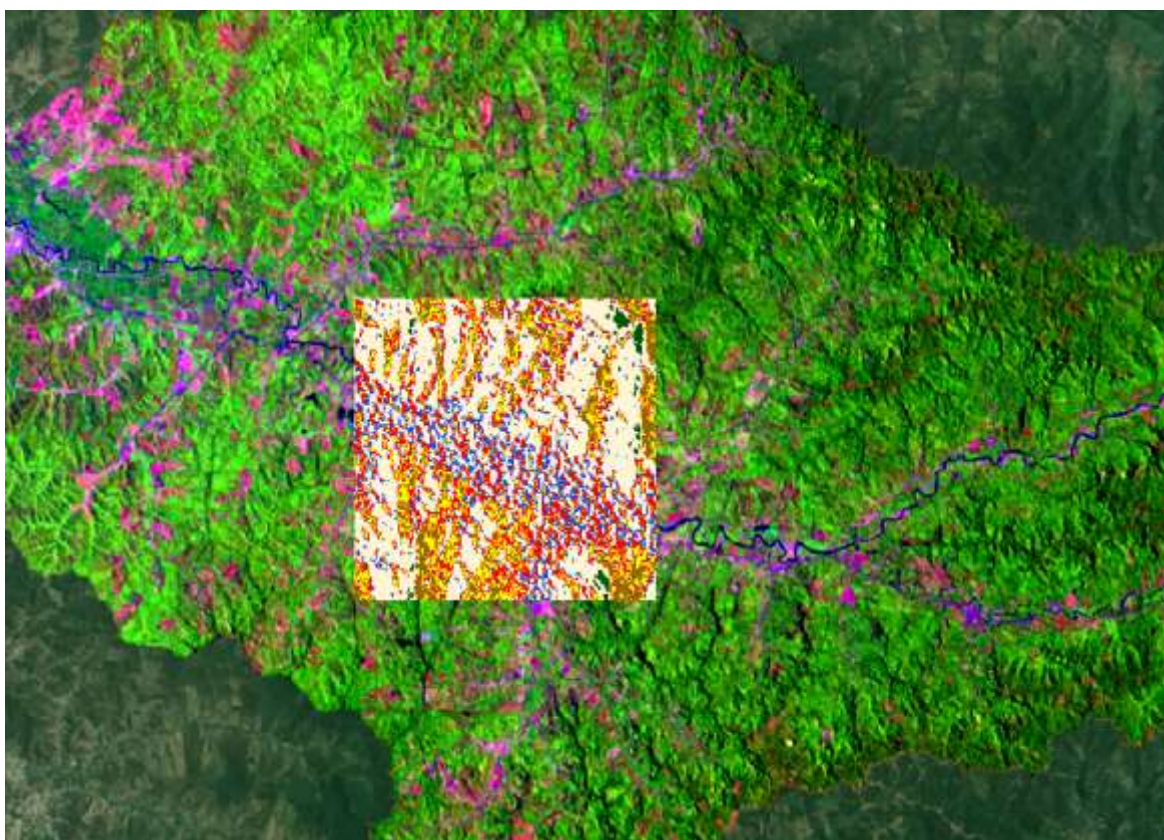


Figura 6. Mapa de cobertura de suelo en imágenes Landsat 1998, con preprocesamiento mediante el plugin SCP.

Discusión.

Los análisis de cambio de uso y cobertura de suelo son el referente para conocer las trayectorias de los distintos procesos de cambio que se puedan dar en un territorio (Camacho-Sanabria et al., 2017). En las poblaciones de la cuenca baja de Río Chico, se ha incrementado la vulnerabilidad ante riesgo

de inundación, debido cambios en la cobertura del suelo dado por expansiones de áreas residenciales, expansión de suelos agrícolas y la disminución de forrajes arbóreos. Para comprender el proceso de cambio en la Cuenca Río Chico, fue necesario evaluar las variaciones de uso y cobertura del suelo, mediante la superposición de mapas de cobertura de suelo del año 1998 y 2015.

Determinándose que en los mapas de cobertura de suelo con base en imágenes Landsat, la cobertura de Tierras de cultivo de secano se incrementó un 7.70%; la Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) disminuyó un 20.50%; la cubierta de Matorral se incrementó en 10.40%; las áreas urbanas sufrieron un incremento del 2.46%; áreas desnudas disminuyeron en 0.11%, la variabilidad de los cuerpos de agua incrementa en 0.03%.

Por otra parte, las variaciones que indican una degradación media son las áreas que pasan de cobertura arbórea a matorral (Camarasa-Belmonte et al., 2018). Estas áreas se ubican mayormente en la cuenca baja, donde parte de este fenómeno puede deberse a que la salud de la vegetación en 1998 de esta área tuvo más vigor como consecuencia de los eventos lluviosos extremos que se dieron en este año; por lo cual, en la figura 2, se puede evidenciar que esta área aparenta una cobertura arbórea, de hoja ancha, siempre verde. Otros cambios que evidencia el incremento de escorrentía son los cambios de cobertura arbórea a cultivos que se dan en toda la cuenca, así como intermitentes procesos de remediación en la cuenca media alta que favorecen a la infiltración en donde áreas de cultivo han pasado a tener una cubierta forestal.

Por su lado, en los mapas de la ESA-CCILC, el área de cobertura de Tierras de cultivo de secano obtuvo en el transcurso de 17 años una disminución de cobertura del 0.10%; las tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (árboles, arbustos, cobertura herbácea) (<50%), tuvo para el 2015 una disminución del 0.10% del área de cobertura; la Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%), presentó un incremento del 1.30%; la cobertura de Matorral tuvo una disminución de 1.10%; y las áreas urbanas se expandieron en un 0.06%. Los cambios que suponen

una alta degradación del medio son las superficies que pasan de cultivo a áreas urbanas (Camarasa-Belmonte et al., 2018). Estas zonas se ubican en la cabecera parroquial de Abdón Calderón y Río Chico, en donde el suelo ha sido desprotegido o cubierto por infraestructura, lo cual contribuye a la generación de escorrentía superficial, mientras que los cambios que suponen recuperación del medio natural se encuentran en la cuenca alta de la parroquia San Plácido, donde áreas de cobertura de matorral y cultivo pasaron a ser áreas de cubierta arbórea. Estos cambios representan una disminución de la escorrentía superficial y con ello disminuye la erosión del suelo.

CONCLUSIONES.

Las variaciones producidas en la cobertura del suelo, con base en las imágenes Landsat, reflejan incidencia en la generación de escorrentía a lo largo de la cuenca, acentuándose estos cambios en la cuenca media y baja, como consecuencia del incremento de áreas de cultivos, expansión de áreas urbanas y despoje de áreas arbóreas tanto para cultivos como la conversión en áreas de matorrales; estos últimos suelen generarse por la rotación de suelos cultivables que bajan su calidad productiva y naturalmente se regenera con este tipo de vegetación; y en menor medida, se observa que se han producido cambios que favorecen la infiltración, lo cual resulta de medidas restaurativas implementadas en el área de estudio; por lo cual, a partir del análisis de las imágenes Landsat se logra obtener resultados de cambios en la cobertura del suelo que favorecen a la infiltración y los cambios que favorecen a la escorrentía, pudiendo evidenciar que los cambios ocurridos en el área de estudio favorecen en mayor medida a la escorrentía; por ende, influyen al incremento de vulnerabilidad ante inundaciones.

Dado el análisis realizado con los mapas de la ESA-CCILC, los cambios producidos en la cuenca alta ayudan a la infiltración, con lo cual se disminuye la escorrentía; por ello, solo con base en los resultados de la ESA-CCILC, se descartaría que el problema de inundación en las zonas bajas sea atribuido a los cambios de uso y cobertura de suelo; sin embargo, en la cuenca baja se han expandido

las zonas urbanas o residenciales, lo cual afecta directamente al incremento de escorrentía, pero al ser en un área poco representativa en comparación con la extensión de la cuenca, esto no contribuye directamente en el riesgo a inundaciones, más bien provocaría colapsos temporales de los sistemas de drenaje pluvial sobre las cabeceras parroquiales, al tener contribuciones de las áreas de expansión residencial que no hubiesen sido proyectadas en el diseño.

Al contrastar los resultados obtenidos entre los mapas de cobertura de suelo, a partir de imágenes Landsat y los mapas de la ESA-CCILC se muestra diferencias sustanciales debido a que el tamaño de los píxeles de los mapas de la ESA-CCILC son muy grandes, que incluso no discrimina los ríos, los cuales si se logran caracterizar con las imágenes Landsat; este mismo caso se puede ver en las áreas urbanas, existiendo asentamientos residenciales, fincas, infraestructura vial dispersas, que tampoco se logran discriminar en los mapas de las ESA-CCILC; por lo cual, para valorar los cambios producidos en el uso y cobertura del suelo, es necesario trabajar con imágenes de alta resolución que permitan obtener resultados confiables y que aporten significativamente en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2015). Metodología Para La Corrección Atmosférica De Imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 Y Landsat 8 Con El Módulo Flash Del Software Envi. *Revista Geográfica de América Latina*, 2(53).
2. Altaweel, M. R., Alessa, L. N., Kliskey, A. D., & Bone, C. E. (2010). Monitoring land use: Capturing Change through an information fusion approach. *Sustainability*, 2(5), 1182–1203.
3. Angelsen, A., Jagger, P., Babigumira, R., Belcher, B., Hogarth, N. J., Bauch, S., Börner, J., Smith-Hall, C., & Wunder, S. (2014). Environmental Income and Rural Livelihoods: A Global-Comparative Analysis. *World Development*, 64(S1), S12–S28.

4. Argañaraz, J., & 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 La Asociación Española de Teledetección*.
5. Bone, R. A., Parks, K. E., Hudson, M. D., Tsirinzeni, M., & Willcock, S. (2017). Deforestation since independence: a quantitative assessment of four decades of land-cover change in Malawi. *Southern Forests*, 79(4), 269–275.
6. Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., & Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: Estudio de caso en progreso hidalgo, estado de México. *Madera Bosques*, 23(3), 39–60.
7. Camarasa-Belmonte, A. M., López, M. P. C., & García, E. I. (2018). Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea (Barranc del Carraixet, 1956–2011). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (78), 127-153.
8. Dotto, A. C., Demattê, J. A., Viscarra Rossel, R., & Rizzo, R. (2019). Soil classification based on spectral and environmental variables. *SOIL Discussions*, November 1–20.
9. Füreder, P. (2010). Topographic correction of satellite images for improved LULC classification in alpine areas. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, 45, 187-194.
10. Giler, A. (2018). A province with several climates: What knowledge of hydrology can be useful? A literature review. *Maskana*, 9(2), 41–51.
11. Giler, A., Donoso, P., Arteaga, R., & Zaldumbide, D. (2020). Manejo sostenible de inundaciones, cuencas hidrográficas y riberas en la provincia de Manabí. *Revista La Técnica*, 55–72.
12. Gonzaga, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *Cedemaz*, 5(1), 30–41.

13. Henríquez Dole, L. E. (2012). Escenarios futuros de uso de suelo para el análisis del efecto del cambio global en los recursos hídricos aplicado al acuífero de la mancha oriental. (Tesis). Universidad Politécnica de Valencia.
14. INEC. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua -ESPAC 2019. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf
15. Jofré, P., Buchner, C., Ipinza, R., Bahamondez, C., Barros, S., García, P., & Cabrera, J. (2013). Estado del arte las plantaciones forestales y el agua. Chile: Colección Bosques de Chile.
16. Jorquera, E., Weber, J. F., & Reyna, S. M. (2012). Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. *Primer Encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos. Ezeiza, Bs. As.* Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Juan-Weber/publication/266885248_Revision_del_estado_del_arte_en_la_modelacion_hidrologica_distribuida_e_integrada/links/544564e80cf2f14fb80efc89/Revision-del-estado-del-arte-en-la-modelacion-hidrologica-distribuida-e-integrada.pdf
17. Pérez-Leira, R., Cabrera-Estupiñán, E., Hinojosa-García, M. I., & Manzaba-Carvajal, J. R. (2018). The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Climatological Study Régimen de riego de cultivos en Manabí-Ecuador: estudio climatológico. 27(1), 5–12.
18. Pincay, J. B., Guerrero, G. L., & Ríos, S. C. (2020). Priorización de Intervención de las Subcuencas del río Chone en Ecuador, mediante el uso de Geotecnologías. *Revista de Investigación*, 44(101).
19. Prieto-Ampan, J. A., Villarreal-Guerrero, F., Martínez-Salvador, M., Manjarrez-Domínguez, C., Santellano-Estrada, E., & Pinedo-Álvarez, A. (2018). Atmospheric and radiometric

correction algorithms for the multitemporal assessment of grasslands productivity. *Remote Sensing*, 10(2).

20. Rossetto, R., De Filippis, G., Triana, F., Ghetta, M., Borsi, I., & Schmid, W. (2019). Software tools for management of conjunctive use of surface-and ground-water in the rural environment: integration of the Farm Process and the Crop Growth Module in the FREEWAT platform. *Agricultural Water Management*, 223, 105717.
21. Ruiz, M., & Orozco, M. Granados, R. Álvarez, G. (2017). Cambio de uso de suelo e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), subcuenca del Río Salado, México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*., 9, 39–50.
22. Torres, E., Linares, G., Tenorio, M. G., Peña, R., Castelán, R., & Rodríguez, A. (2014). Índices de vegetación y Uso de Suelo en la Región Terrestre Prioritaria 105: Cuetzalan, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 12.
23. Young, N. E., Anderson, R. S., Chignell, S. M., Vorster, A. G., Lawrence, R., & Evangelista, P. H. (2017). A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*, 98(4), 920–932.

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **María Luisa Mendoza Poggi.** Ingeniera Civil. Maestrante de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí-PUCEM. E-mail: mmendoza1297@pucesm.edu.ec
2. **Andy Miguel Giler Ormaza.** Master of Science in River Basin Dynamics and Management with Geographical Information Systems. Docente de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: agiler@pucem.edu.ec
3. **Cristina Aguilar Porro.** PHD Dinámica de flujos biogeoquímicos y sus aplicaciones. Investigadora Postdoctoral Juan de la Cierva de la Universidad de Granada, España. E-mail: caguilar@uco.es

4. Rafael Pimentel Leiva. PHD Dinámica de flujos biogeoquímicos y sus aplicaciones. Investigador Postdoctoral de la Universidad de Córdoba, España. E-mail: rpimentel@uco.es

RECIBIDO: 6 de febrero del 2021.

APROBADO: 19 de febrero del 2021.