



Clasificación multitemporal de usos de la tierra utilizando imágenes landsat en la cuenca del Río Quinindé

Multitemporal land use classification using Landsat images in the Quinindé River basin

Autores

Richard Xavier Bravo-Ferrín¹

<https://orcid.org/0000-0002-4088-3034>

Andy Miguel Giler-Ormaza^{2*}

<https://orcid.org/0000-0002-6887-392X>

Yenson Vinicio Mogro-Cepeda²

<https://orcid.org/0000-0002-4688-0467>

Rudys Cusme-Intriago²

<https://orcid.org/0009-0006-7882-1206>

¹ Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Carrera de Ingeniería Hidráulica. Portoviejo, Ecuador.

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Carrera de Ingeniería Hidráulica. San Jacinto, Ecuador.

* Autor para correspondencia.
andygiler90@hotmail.com

Citacion sugerida: Bravo-Ferrín, R., Giler-Ormaza, A., Mogro, Y. & Cusme-Intriago, R. (2024). Clasificación multitemporal de usos de la tierra utilizando imágenes landsat en la cuenca del Río Quinindé. *Revista de investigaciones en energía, medio ambiente y tecnología. RIEMAT*, 9(2), pp. 1–10. <https://doi.org/10.33936/riemat.v9i2.6793>

Recibido: 04/06/2024

Aceptado: 21/06/2024

Publicado: 02/07/2024

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo realizar una clasificación multitemporal de usos y cobertura de la tierra utilizando imágenes Landsat para la cuenca del Río Quinindé, dada la importancia de contar con datos actualizados del uso de suelo de una determinada área para la gestión del recurso hídrico. Se utilizaron imágenes satelitales LANDSAT de los años 1998, 2015 y 2019, y se aplicaron los métodos de distancia mínima y el método ISODATA haciendo uso del software QGIS, que involucró el análisis mediante la clasificación supervisada y no supervisada. Los resultados revelan que la cobertura de nubes tiene un 15,66%; por lo tanto, el año 2015 tiene el mayor porcentaje de nubes. Los píxeles “sin información” (leyenda color negro) tienen un promedio 4,29%; el cuerpo de agua tiene un porcentaje de 0,15% y la cobertura de agrícola (tierra cultivada) tiene un valor promedio 25,78%; la cobertura de conservación y protección (bosque húmedo poco alterado) tiene un valor promedio 21,24%; la cobertura de conservación y producción (vegetación herbácea mediamente alterado) tiene un valor promedio de 32,65%; y la zona poblada tiene un valor promedio de 0,23%. En conclusión, las actividades humanas cambian el uso del suelo en la cuenca, pudiendo causar efectos nocivos como un aumento en la erosión del suelo mediante la escorrentía superficial, acarreamo finalmente arrastre de sedimentos. Se recomienda desarrollar planes integrales de gestión para la cuenca.

Palabras clave: Clasificación multitemporal; uso de suelo; cobertura terrestre; escorrentía; sedimentos.

Abstract

This mixed research study aimed to carry out a multi-temporal Landsat image classification of land cover/use in the Quinindé River Basin, regarding the importance of having updated data on the use of land in a given area for water resource management. Hence, this descriptive research study was conducted from January to November 2022. Some Landsat satellite images from 1998, 2015 and 2019 were used; the minimum distance method was used, as well as the ISODATA method using QGIS software, which involved an analysis through supervised and unsupervised classification. The findings reveal 15.66% cloud coverage; therefore, the year 2015 has the highest percentage covered by clouds. Pixels “without information” (black legend) have an average of 4.29%; the body of water has 0.15% and agricultural land (cultivated land) has an average of 25.78%; the coverage of conservation and protection (less disturbed humid forest) has an average of 21.24%; the coverage of conservation and production (moderately disturbed herbaceous vegetation) has an average of 32.65%; and the populated area has an average of 0.23%. In conclusion, human activities affect uses of soil in this basin, and they may cause damage such as an increase in soil erosion due to surface runoff, transporting this way sediment entrainment. Developing comprehensive water resources planning activities for this basin is recommended.

Keywords: Multi-temporal classification; land use; land cover; runoff; sediments.





1. Introducción

Es importante resaltar que desde hace mucho tiempo el hombre viene realizando actividades que producen cambios significativos en su entorno. De acuerdo con esto es importante resaltar que los desequilibrios ambientales son varios y que tienen un impacto dentro del sistema en donde se encuentra radicado (Aguirre, 2018). En este sentido se puede explorar de manera amplia que efectos han venido dándose mediante la aplicación de métodos y técnicas, que corroboren dichas afirmaciones y que pueden asegurar su necesidad de análisis (Prieto, et al., 2018).

Para establecer un proceso que permita fijar la función de un análisis sobre las problemáticas generadas es importante seleccionarlo y aplicarlo para la obtención de resultados que describan su estado situacional. Por una parte, es necesario determinar qué elementos deben emplearse primeramente para el análisis multitemporal y que de acuerdo con Cabrera (2019), indica que se debe cumplir cuatro condiciones “corrección geométrica, corrección radiométrica, eliminación de nubes y que correspondan a la misma época” (p.10). De acuerdo con esto es importante indicar que solo se aplica como metodología de selección en pleno ejercicio para la función de una clasificación.

“La clasificación es una forma de aprendizaje, un proceso que acumula y concentra experiencias dentro de modificaciones internas de un sistema; no razona para deducir un resultado o tomar decisiones. Por lo tanto, la clasificación se limita a agrupar conjuntos de objetos” (Arango et al., 2005, p. 2613). Dentro de los estudios multitemporales es necesario realizar un análisis sobre el proceso que se desea establecer, y que funciones necesitan ser comprendidas (Kantakumar & Neelamset, 2015).

Para instituir estos procesos, es importante determinar qué tipo de clasificaciones existen, las cuales se dividen en dos tipos de clasificaciones, la clasificación supervisada y la no supervisada, siguiendo esta misma fundamentación de la autora Aguirre et al. (2018); en la clasificación supervisada, se seleccionan muestras representativas para cada cobertura. Esta clasificación analiza los cuerpos de agua que están presentes en el desarrollo y proceso dentro de las zonas, coberturas de bosques, vegetaciones secundarias, mosaicos de pastos y cultivos.

La clasificación multitemporal del uso de la tierra tiene en cuenta la variación estacional del área de estudio, así como las diferencias estacionales de vegetación, que es muy útil para comprender el impacto de la dinámica del uso de la tierra en los recursos naturales (Neelamsetti, 2015). En concordancia con este estudio, el cual fue diseñado con un enfoque híbrido en combinación de técnica de clasificación supervisada de máxima verosimilitud bajo un contraste del enfoque de árbol de decisión y método de clasificación no supervisado para derivar la clasificación multitemporal del uso de la tierra de la cuenca de Río Quindí para los años 1998, 2015 y 2019.

Los impactos de los cambios en el uso de la tierra sobre la sostenibilidad de los ecosistemas se están convirtiendo en un problema, los cuales causan afectaciones a nivel mundial, los cuales están siendo estudiados mediante procesos investigativos. Las acciones humanas parecen conducir a la mayoría de los cambios que están latentes en la superficie terrestre, mediante las alteraciones que son generadas en cubierta superficial, y que dan como resultados cambios en el equilibrio de energía, agua, y los flujos geoquímicos a nivel local, regional y global (Valdivieso y Bosque, 2010).

Dichos cambios influirán inevitablemente en la sostenibilidad de recursos naturales y actividades socioeconómicas, con el aumento en el crecimiento de la población, la presión que es una variante ejercida sobre los recursos naturales, los cuales se encuentran ajustados por las limitaciones dentro de un país y genera un efecto a los cambios en la cobertura del suelo (Islam et al., 2018).

Los mapas de usos y cobertura de la tierra que se clasifican de acuerdo a orden completo, están establecidos por múltiples fechas temporales únicas, de las cuales a menudo carecen de información de deficiencia sobre el proceso de cambio uso y cobertura de la tierra y sus transformaciones (por ejemplo, su tasa de cambio). Es

necesario resaltar que el mapa de uso y cobertura de la tierra multitemporal puede superar estas deficiencias que son aporte significativo en las investigaciones. De acuerdo con (Sun & Ongsomwang, 2020), es poco probable que solo haya un método para usos y cobertura de la tierra que ayuden a comprender de mejor manera la clasificación multitemporal, y con este referente también el uso de los datos satelitales de series de tiempo.

De acuerdo con lo que sostiene Gómez et al. (2016), hay dos enfoques para generar información de clasificación multitemporal usos y cobertura de la tierra, a partir de conjuntos de datos de series de tiempo. Primeramente, se producen mapas usos y cobertura de la tierra independientes para cada intervalo de tiempo (es decir, para cada mes o año), en segundo lugar, los mapas usos y cobertura de la tierra multitemporales se crean utilizando un mapa base como condición de referencia con cambiar información para varias fechas (Sun & Ongsomwang, 2020).

La integración de las nuevas tecnologías de teledetección integradas en unos sistemas de información geográficos es de vital importancia a la hora de hacer estimaciones multitemporales de uso de suelo. En una percepción directa que generan los autores Mendoza et al. (2021), en su evaluación de cambios de uso y cobertura de la tierra a escala de cuenca hidrográfica del río Chone, hace referencia a la importancia de analizar los impactos en el suelo con respecto a las tasas de forestación y destaca la insostenible urbanización cerca de una cuenca, por su parte Young y sus colaboradores (2017), mencionan y en concordancia con (Vuolo et al., 2015), que es eficiente analizar este impacto por medio imágenes Landsat, ya que estas son buenas para estimar uso de suelo.

Las necesidades sobre obtener información sobre estos problemas permiten realizar un análisis sobre su estado situacional, generando y funcionando a la vez un nivel de integración de datos, análisis y percepciones sobre los datos obtenidos de todos los software, herramientas y funciones que están establecidas dentro de una investigación (Khatami, et al., 2016). Por los antecedentes mencionados anteriormente es necesario y se justifica la elaboración de este trabajo investigación.

El objetivo general de esta investigación se realizar una clasificación multitemporal de usos y cobertura de la tierra utilizando imágenes Landsat para la cuenca del Río Quinindé (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2012). Los objetivos específicos fueron a) Evaluar sistemáticamente la disponibilidad de imágenes Landsat para estimar usos y cobertura de suelo en la cuenca de estudio; b) Seleccionar escenas Landsat en base a las mínimas coberturas de nubes en el área de estudio; c) Realizar el procesamiento para las escenas seleccionadas y obtener mapas de cobertura del suelo; y d) Llevar a cabo un análisis multitemporal de los cambios en el usos y cobertura de suelo y su relación con el potencial de afectar la infiltración y la escorrentía.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de Estudio

La cuenca del Río Quinindé se encuentra al norte del Ecuador en la provincia de Esmeraldas y tiene una superficie es de 3672.45 km² (Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research [CISPDR], 2016), por lo cual el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica (INAMHI) que la cuenca tiene una ubicado de la estación hidrológica H0177.

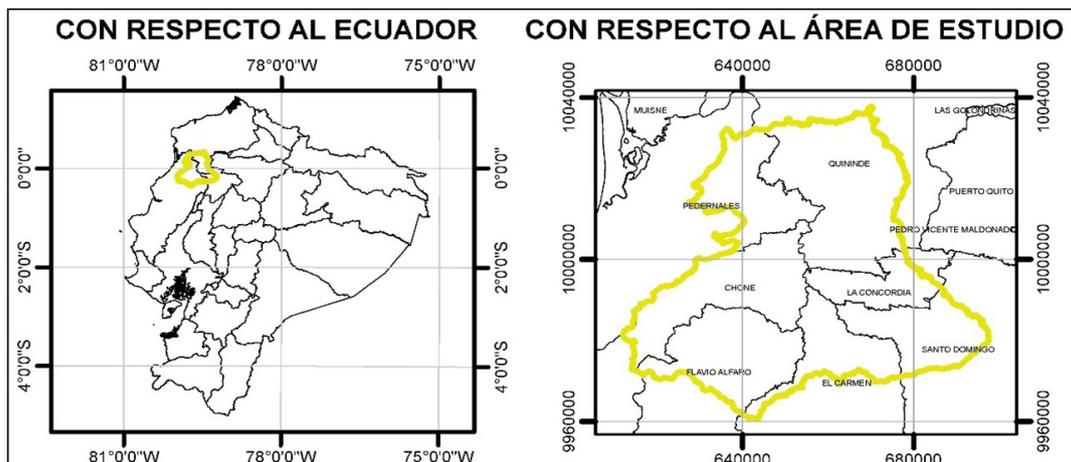
Para obtener la forma de la cuenca se usó el modelo digital de elevación del terreno (DEM) del proyecto SRTM de la NASA de resolución tiene 12.5 x 12.5 m a través de la satelital ALOS PALSAR (Turner, 2015), para la desratización espacial se hará uso de un sistema de investigación geográfica con una estimación del uso de la cuenca en estudio (Pérez et al., 2018; Henriquez, 2012). En complemento se usa el programa QGIS para procesar la información geográfica y hacer delimitación hidrográfica de nuestro área de estudio con el tomado con el punto de cierre la estación hidrológica H0177 (Jorquera, 2012).

A continuación, se presenta en la figura 1 una imagen geográfica de la zona de estudio:



Figura 1

Área de estudio del Río Quinindé.



Fuente: Los autores

Teledetección

Para comenzar, se obtuvieron los datos necesarios (imágenes satelitales) del “EARTH EXPLORER” de la NASA para los años 1998, 2015 y 2019. Después, se descomprimieron las bandas y se cargaron en el software ENVI. Durante el preprocesamiento de las imágenes, se realizaron tres correcciones: radiométrica, atmosférica y topográfica, tal como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Nomenclatura de las imágenes satelitales LANDSAT.

Satélite	Año de obtención de la información	ID de la imagen
LANDSAT 5 TM	1998	LT05_L1TP_011060_19980907_20161222_01_T1
LANDSAT 8 OLI	2015	LC08_L1TP_011060_20150330_20170411_01_T1
LANDSAT 8 OLI	2019	LC08_L1TP_011060_20190715_20190721_01_T1

Fuente: Elaboración propia

La corrección radiométrica convirtió los números digitales tomados por el satélite en unidades de radiancia, mientras que la corrección atmosférica eliminó las distorsiones atmosféricas. La corrección topográfica se realizó en QGIS con la herramienta de corrección topográfica de SAGA, que utilizó el método MINNAERT para mitigar el ángulo del sol en diferentes estaciones del año.

La corrección radiométrica convierte los números digitales (DN) que logra registrar las imágenes satélites, sin embargo, se emplean las herramientas de RADIOMETRIC CORRECTION se encuentra en el software ENVI, ya que la configuración de este método FLAASH tiene un valor de SCALE FACTOR es de 0,10 es para la calibración de la radiancia (Aguilar et al., 2014).

La corrección atmosférica permite realizar unas imágenes adquiridas por los diferentes sensores o las distintas fechas (Young et al., 2017). Por lo tanto, el método de la corrección FLAASH es para eliminación algunos de los efectos atmosféricos causado por la dispersión molecular en la atmosférica.

Para obtener una reflectancia de la superficie:

$$L_{TOA} = \left(\frac{A_{\rho SUP}}{1 - \rho_{eS}} \right) \left(\frac{B_{pe}}{1 - \rho_{eS}} \right) \quad (1)$$

Donde:

L_{TOA} : resplandor espectral al satélite.

ρ_{SUP} : reflectancia de la superficial del pixel.

ρ_e : reflectancia de la superficie promedio del píxel de la región circundante.

S : esférico albedo de la atmósfera.

La A y B son los coeficientes que dependen de la atmósfera y las condiciones geométricas (Prieto-Amparan et al., 2018).

En este caso el método que se encuentra en un módulo de ENVI Software. Por otro lado, el preprocesamiento de las imágenes LANDSAT, a través del PLUGIN SCP que se encuentra en el Software QGIS, por lo que la corrección atmosférica se realiza mediante a un algoritmo de DOS1 (DarkObjectSubstract 1), en el caso de la técnica de los objetos sombríos que se detectan automáticamente cuando el valor de reflexión de pixeles es menor o igual a 1.0% (Prieto-Amparan et al., 2018).

La corrección topográfica es la que tiene un ángulo de incidencia del aspecto solar; es decir, que es diferente entre las estaciones del año, esto se produce mediante las regiones oscuras o la mayor iluminación que se pueden observar de manera más precisa; por lo tanto, la corrección topográfica se hace por el método de MINNAERT. En la siguiente la ecuación es explica cómo se emplea en este caso:

$$L_H = L_T \left(\frac{\cos z}{\cos i} \right)^k \quad (2)$$

Donde:

L_H : reflectancia de la superficie horizontal.

L_T : reflectancia de la superficie inclinada.

$\cos z$: ángulo cenital solar.

$\cos i$: ángulo de incidencia solar local.

k : constante de MINNAERT.

En este caso método los complementos de SAGA que se encuentra dentro del Software QGIS (Fureder, 2010).

Mapas de usos de la tierra de las imágenes LANDSAT

La clasificación se realizó a través del método de los complementos SCP (SemiAutomatic Classification) dentro de Software QGIS, sin embargo, la clasificación semi-supervisada, utilizó unos 17 ROI (Region of Interés) para 7 MacroClass, por lo que se tomaron diferentes combinaciones de bandas que se encuentra en la tabla 2. Estos muestreos se juntaron con la implementación del algoritmo de Distancia Mínima para obtener los resultados deseados. Para discriminar la cubierta vegetal resultó útil la combinación de bandas infrarrojo (Argañaraz & Entraigas, 2011).

Combinaciones de las bandas para las imágenes satelitales que se presentan en la tabla 2.



Tabla 2

Combinaciones de las bandas para las imágenes satelitales.

Satélite	Tipo de combinación	Combinación de bandas
LANDSAT 5 TM	Color Natural	B3 (Red) – B2 (Green) - B1 (Blue)
	Uso de Agrícola	B5 (SWIR 1) – B4 (NIR) – B1(Blue)
	Color Falso Infrarrojo	B4 (NIR) - B3 (Red) – B2 (Green)
LANDSAT 8 OL	Color Natural	B4 (Red) – B3 (Green) - B2 (Blue)
	Uso de Agrícola	B6 (SWIR 1) – B5 (NIR) – B2(Blue)
	Color Falso Infrarrojo	B5 (NIR) – B4 (Red) – B3 (Green)

Fuente: Satélite LANDST 5TM-LANDST 8 OL.

En la tabla 3 se encuentran diferentes combinaciones de las bandas para las imágenes LANDSAT, por lo que se puede discriminar y clasificar las coberturas de la tierra en función de composición espectral.

Combinación de bandas en imágenes LANDSAT

Tabla 3

Combinación de bandas en imágenes LANDSAT

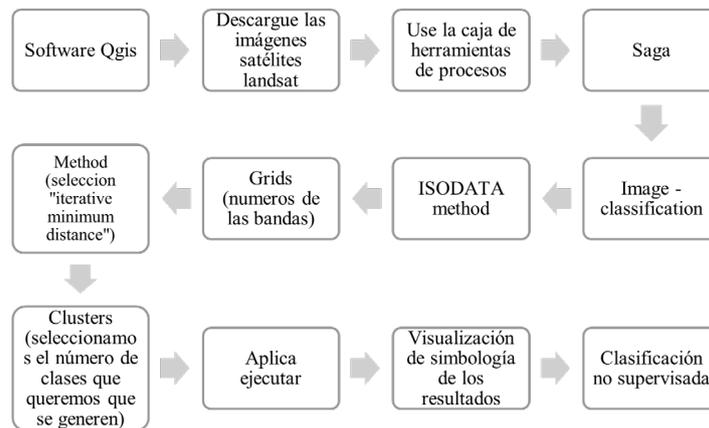
	LANDSAT 5 TM en año 1998	LANDSAT 8 OLI en año 2015	LANDSAT 8 OLI en año 2019
COLOR NATURAL			
COLOR AGRICOLA			
COLOR INFRARROJO			

Fuente: Los autores.

La clasificación se realizó a través del método de los complementos SCP (SemiAutomatic Classification) dentro de Software QGIS, sin embargo, la clasificación semi-supervisada, utilizó unos 17 ROI (Region of Interés) para 7 MacroClass, por lo que se tomaron diferentes combinaciones de bandas que se encuentra en la tabla 2. Estos muestreos se juntaron con la implementación del algoritmo de Distancia Mínima para obtener los resultados deseados. Para discriminar la cubierta vegetal resultó útil la combinación de bandas infrarrojo (Argañaraz & Entraigas, 2011), tal como se presenta en la figura 2.

Figura 2

Diagrama de Clasificación de No Supervisada QGIS.



Fuente: Los autores.

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis del Recurso Hidrológico

La estimación del uso de suelo con base en las imágenes LANDSAT para los años 1998, 2015 y 2019 fueron los siguientes: la cobertura de nubes tiene un 15,66%; por lo tanto, que el año 2015 tiene el mayor porcentaje de nubes por la imagen de LANDSAT. La clasificación “sin información” por inspiración que se ha tomado de la nube (leyenda color negro) tiene un promedio 4,29%; el cuerpo de agua tiene iguales porcentaje 0,15%, la cobertura de Agrícola (tierra cultivadas) tiene un valor promedio 25,78%; la cobertura de conservación y protección (bosque húmedo poco alterado) tiene un valor promedio 21,24%; la cobertura de conservación y producción (vegetación herbácea mediamente alterado) tiene un valor promedio de 32.65%; y la cobertura de antrópico (zona poblada) tiene un valor promedio de 0.23%, tal como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4

Comparación multitemporal de los resultados.

Uso de suelos	1998		2015		2019	
	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Cobertura de nubes	39282,36	10,89%	96125,23	26,66%	19213,26	5,33%
Sin información	310,02	0,09%	31239,18	8,66%	14806,33	4,11%
Cuerpos de agua	543,01	0,15%	543,01	0,15%	543,01	0,15%
Agrícola	103095,11	28,59%	73782,70	20,46%	85539,44	23,72%
Conservación y protección	76943,90	21,34%	120584,80	33,44%	120485,76	33,42%
Conservación y producción	139483,26	38,68%	37461,61	10,39%	119272,48	33,08%
Antrópico	908,46	0,25%	829,61	0,23%	705,85	0,20%
Totales	360566,13	100,00%	360566,13	100,00%	360566,13	100,00%

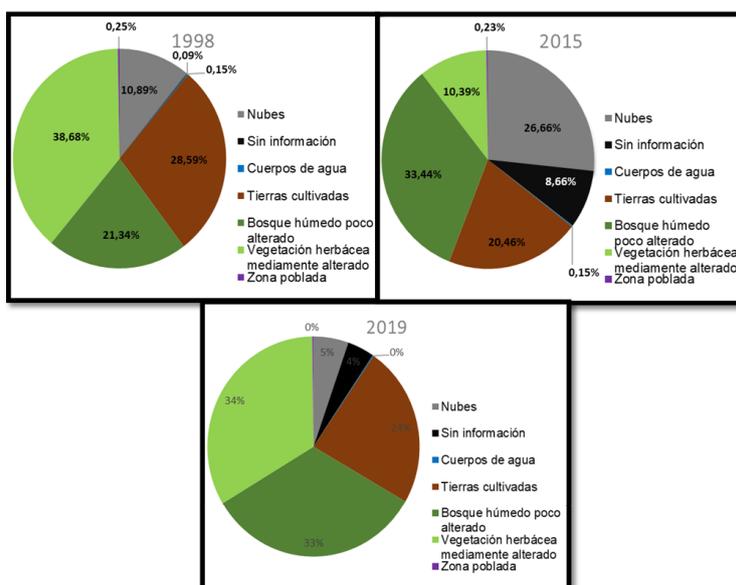
Fuente: Los autores.

Por ende, la generación de los mapas de cobertura de la tierra con base en las imágenes LANDSAT, la cobertura de Tierras de Cultivo de Secano disminuyó un 9.99%. La Cubierta Arborea siempre será de color verde para obtener cerrada para abrir (>15%) se incrementó en 0.37%; la Cubierta de Matorral se incrementó en 14.75%; las áreas urbanas disminuyeron un 0.16%; áreas desnudas se incrementaron en 1.63%. La variabilidad de los cuerpos de agua en el año 2019 el 1% ya que en el año 1998 sin cuenta los cuerpos de agua por lo que la imagen de LANDSAT 5 tuvieron problema con la nubosidad, tiene un valor 16.57%.

Por otra parte, la determinación de los mapas No-Supervisada cobertura de la tierra con la base en las imágenes LANDSAT: la cobertura de Tierras de Cultivo de Secano disminuyó un 15.24%; la Cubierta Arborea siempre será color verde por las hojas anchas para obtener cerrada para abrir (>15%) disminuyó en 0.7%; la Cubierta de Matorral se incrementó en 9.37%; las áreas urbanas que el año 2019 tiene un valor de 3.79% ya que el año 1998 de la LANDSAT 5 hubo problema con la imagen de LANDSAT por la nubosidad; áreas desnudas disminuyeron en 23.1%, tal como se presenta en la figura 3.

Figura 3

Comparación gráfica de los resultados.



Fuente: Los autores

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación tienen cierto grado de similitud con los reportados por Ramírez (2021), en su estudio “Caracterización físico-química del agua y su relación con el uso del suelo en el Río Teaone, cantón Esmeraldas, año 2019”. Ramírez encontró que los principales cambios en la cuenca eran de suelos forestales a suelo para cultivos agrícolas y pastizales, y concluyó que estos cambios influyen en el azolvamiento de los cauces. Además, menciona que los parámetros físico-químicos demuestran que en los sistemas agroforestales y bosques nativos se mantiene una buena calidad de agua mientras que en los usos de suelo de ganadería y urbanos su calidad decrece. Esto se asemeja a lo mostrado en nuestra investigación, donde se puede ver que los cambios en el uso del suelo en la cuenca del embalse favorecen la escorrentía. Como es sabido, la escorrentía causa la erosión de sedimentos hacia los cuerpos de agua. Tabuenca (2016), corrobora lo mencionado Ramírez (2021), ya menciona que los suelos desnudos y de uso agrícola contribuyen con mayor cantidad de sedimento en comparación con los bosques y matorrales.

En nuestra investigación, utilizamos el método FLAASH para las correcciones radiométricas y atmosféricas, y el método MINNEART para la corrección topográfica. Estos métodos demostraron ser prácticos y efectivos para el procesamiento y corrección de imágenes espectrales. Estas afirmaciones son respaldadas por Zepeda (2012), quien utilizó las correcciones de imágenes satelitales Landsat y Spot y obtuvo excelentes resultados.

4. Conclusiones

El uso de imágenes Landsat para realizar análisis de uso de suelo multitemporales han demostrado ser una fuente de información de mucho valor, dado que su rápida disponibilidad y abundante literatura, hace posible realizar estudios como el que se llevó a efecto en la presente investigación.

Los cambios en la cobertura del suelo basados en imágenes de Landsat reflejan un posible aumento de escorrentía a lo largo de la cuenca, destacando estos cambios en los tramos medio y bajo, debido al aumento de la tierra cultivada, la expansión de las áreas urbanas y áreas donde se talan árboles para cultivos y se convierten en matorrales.

El análisis de los resultados de las clasificaciones supervisadas y no supervisadas, demuestran que hay cambios resultantes en la parte alta de la cuenca denotan un aumento de la escorrentía superficial. Haciendo que la cuenca baja sea susceptible a inundaciones debido al cambio en el uso y cobertura de la tierra.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo Flaash del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 53, 39–59. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.%5Cnhttp://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/6609/6743>
- Aguirre, P. (2018). Análisis multitemporal entre los años 2000 y 2017 de las coberturas de la tierra y los principales cuerpos de agua en el departamento de atlántico empleando imágenes satelitales landsat. [Tesis de postgrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Bogotá, Colombia. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17630/AguirreMartinezPaulaAndrea2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Arango, M., Branch, J y Botero, B. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: “landsat – etm+”. *Rev.Fac. Nal.Agr.Medellín*, 58 (1), 2611-2634. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v58n1/a04v58n1.pdf>
- 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 (Mlc), 26–39. <https://acortar.link/zyoTs5>
- Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research CISPDR (2016). Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Esmeraldas. Esmeraldas: Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research.
- Cabrera, G. (2019). Dinámica del cambio de uso del suelo de la cuenca del río Tomebamba entre los años 2001-2015 y su proyección al año 2030. *Tesis de pregrado, Universidad del Azuay*. Cuenca, Ecuador. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9566/5/15200.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>



- Domínguez, R., & León, M. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- AO. (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf>
- Henríquez, D. L. (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. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/15479>
- Jorquera, E. et al. (2012). Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. *1º Encuentro de Investigadores En Formación En Recursos Hídricos*, October 2014, 18.
- Kantakumar, L. N., & Neelamsetti, P. (2015). Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 18, 289-295. doi:10.1016/j.ejrs.2015.09.003
- Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177, pp 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.028>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE. (2012). *Línea Base de deforestación del Ecuador Continental*. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Mendoza, L. H., Chavarría, J., & Giler, O. A. (2021). Evaluación de cambios en uso y cobertura de la tierra a escala de cuenca hidrográfica del río Chone. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, Vol 8 (19) . https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78902021000400019&script=sci_arttext
- Pérez, L. R., Cabrera, E. E., Hinojosa, G. M., & Manzaba, C. J. (2018). Climatological Study Régimen de riego de cultivos en Manabí-Ecuador: estudio climatológico. *The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador*, 27(1), 5–12. <https://www.redalyc.org/journal/932/93261708006/93261708006.pdf>
- Prieto, A. J., Villarreal, G. F., Matinez, S. M., Manjarrez, C., Santellano, E. E., & Pinedo, A. A. (2018). Atmospheric and Radiometric Correction Algorithms for the Multitemporal Assessment of Grasslands Productivity. *Revista remote sensing*, pp 2-23. <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/2/219>
- Prieto-Amparan, J. A., Villarreal-Guerrero, F., Martínez-Salvador, M., Manjarrez-Domínguez, C., Santellano-Estrada, E., & Pinedo-Alvarez, A. (2018). Atmospheric and radiometric correction algorithms for the multitemporal assessment of grasslands productivity. *Remote Sensing*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/rs10020219>
- Palazón Tabuenca, L. (2016). Spatio-temporal dynamic of soil erosion and sediment supply in a Pyrenean catchment: modelling erosion and fingerprinting sediment apportionments.. <https://digital.csic.es/handle/10261/131848>
- Turner, W. (2015). *Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation*. 182, pp. 173–176: Biological Conservation.
- Vuolo, F., Mattiuzzi, M., & Atzberger, C. (2015). Comparison of the Landsat Surface Reflectance Climate Data Record (CDR) and manually atmospherically corrected data in a semi-arid European study area. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42: pp 1-10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243415001129>
- 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. <https://doi.org/10.1002/ecs.1730>