



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3448>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua,
provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2000, 2009 y 2018*

*Multitemporal analysis of land cover change in the La Segua wetland, Manabí
province, Ecuador, in the years 2000, 2009 and 2018*

*Análise multitemporal da mudança de cobertura da terra no pantanal La Segua,
província de Manabí, Equador, nos anos de 2000, 2009 e 2018*

Brígida Rodríguez Guerrero ^I
brigida.rodriguez@uleam.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7810-0445>

Mariana Avellán Chancay ^{II}
mariana.avellan@uleam.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6143-6252>

Paola Alcívar Vaca ^{III}
paola.alcivar@uleam.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2764-647>

Gabriela Vaca Alvaro ^{IV}
gvacaalvaro@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-6435-6817>

Washington Arteaga Mendoza ^V
washingtonarteaga@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-9471-4878>

Correspondencia: brigida.rodriguez@uleam.edu.ec

***Recibido:** 29 de mayo de 2023 ***Aceptado:** 12 de junio de 2023 ***Publicado:** 11 de julio de 2023

- I. Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí; Manta, Ecuador.
- II. Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí; Manta, Ecuador.
- III. Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí; Manta, Ecuador.
- IV. Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí; Manta, Ecuador.
- V. Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí; Manta, Ecuador.

Resumen

El humedal La Segua se encuentra ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador, y es un sitio RAMSAR que alberga diferentes especies vegetales y animales en distintos grados de peligro de extinción en el cual además se desarrollan actividades humanas que afectan al desarrollo de ese ecosistema. Por lo cual es importante estimar de forma cuantitativa esos impactos y para esto se desarrolló como objetivo general de esta investigación hacer un análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua en los años 2000, 2009 y 2018, calculando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) en los distintos periodos de estudio, asimismo se generaron valores que correspondan a la tasa de cambio de cobertura de suelo. Para lo cual se hizo uso de la plataforma Google Earth Engine tomando imágenes satelitales de los satélites Landsat 7 para los años 2000 y 2009, y Sentinel 2 para el año 2018, procesando conjuntos de imágenes satelitales, aplicando clasificaciones supervisadas, fotointerpretación y evaluando la precisión de las clasificaciones de las coberturas de suelo. A partir de esta investigación se estimó que la categoría humedal ha reflejado una reducción en su índice NDWI desde el año 2000 hasta el año 2018 con valores de 0.42 a -0.02 respectivamente; y al analizar las coberturas de suelo se pudo observar que la categoría que más superficie ha ganado desde el año 2000 hasta el año 2018 ha sido piscinas acuícolas con 56 ha en el año 2000 y 710 ha hasta el 2018.

Palabras Claves: multitemporal; tierra; humedal La Segua.

Abstract

The La Segua wetland is located in the province of Manabí, Ecuador, and is a RAMSAR site that houses different plant and animal species in different degrees of danger of extinction in which human activities that affect the development of that ecosystem are also carried out. Therefore, it is important to quantitatively estimate these impacts and for this, the general objective of this research was developed to carry out a multitemporal analysis of the change in land cover of the La Segua wetland in the years 2000, 2009 and 2018, calculating the index of normalized difference vegetation (NDVI) and normalized difference water index (NDWI) in the different study periods, values corresponding to the rate of land cover change were also generated. For which the Google Earth Engine platform was used, taking satellite images from the Landsat 7 satellites for the years 2000 and 2009, and Sentinel 2 for the year 2018, processing sets of satellite images, applying supervised classifications,

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

photo interpretation and evaluating the precision. of the land cover classifications. Based on this investigation, it was estimated that the wetland category has reflected a reduction in its NDWI index from the year 2000 to the year 2018 with values of 0.42 to -0.02 respectively; and when analyzing the soil coverage it was possible to observe that the category that has gained the most area from the year 2000 to the year 2018 has been aquaculture pools with 56 ha in the year 2000 and 710 ha until 2018.

Keywords: multitemporal; land; La Segua wetland.

Resumo

O pântano La Segua está localizado na província de Manabí, Equador, e é um sítio RAMSAR que abriga diferentes espécies vegetais e animais em diferentes graus de perigo de extinção, nas quais também são realizadas atividades humanas que afetam o desenvolvimento desse ecossistema. Portanto, é importante estimar quantitativamente esses impactos e, para isso, o objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver uma análise multitemporal da mudança na cobertura do solo do pântano La Segua nos anos 2000, 2009 e 2018, calculando o índice de diferença normalizada de vegetação (NDVI) e índice de diferença normalizada de água (NDWI) nos diferentes períodos de estudo, também foram gerados valores correspondentes à taxa de mudança de cobertura da terra. Para o qual foi utilizada a plataforma Google Earth Engine, obtendo imagens de satélite dos satélites Landsat 7 para os anos de 2000 e 2009, e Sentinel 2 para o ano de 2018, processando conjuntos de imagens de satélite, aplicando classificações supervisionadas, interpretação de fotos e avaliando a precisão. das classificações de cobertura da terra. Com base nesta investigação, estimou-se que a categoria wetland refletiu uma redução em seu índice NDWI do ano 2000 ao ano 2018 com valores de 0,42 a -0,02 respectivamente; e ao analisar a cobertura do solo foi possível observar que a categoria que mais ganhou área do ano 2000 ao ano 2018 foi a dos tanques aquícolas com 56 ha no ano 2000 e 710 ha até 2018.

Palavras-chave: multitemporal; terra; Zona húmida de La Segua.

Introducción

Los sistemas de información geográfica (SIG), comprenden una combinación estructurada de hardware, software, datos geográficos y personal humano, cuyo fin es capturar, almacenar, manejar,

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

analizar, modelar y representar en todas sus formas la información georreferenciada para dar solución a dificultades de planificación y gestión (Fernández-García, 2017).

Los SIG se consideran como una herramienta indispensable para el desarrollo científico en diferentes áreas como son la agricultura, ganadería, hidrografía, turismo, topografía, entre otras ciencias. Estas aplicaciones se fundamentan en la recolección y ubicación de información georreferenciada, la misma que servirá para poder ser representados en herramientas desarrolladas para posicionamiento, y que pueden ser obtenidas tanto con software de paga o software libre (Ulloa-Meneses *et al.* 2017).

El humedal La Segua y sus alrededores son el hogar de al menos 158 especies de aves. La Segua se encuentra como una de las Áreas Importantes para las Aves en el Ecuador (Peñarrieta y Díaz, 2020). En la actualidad el crecimiento demográfico, la expansión agrícola, el cambio climático y las distintas actividades de índole antrópica, han generado como consecuencia la pérdida de vegetación y fauna en distintas zonas de conservación. El humedal La Segua se ve afectado directamente por estas actividades, lo que conlleva al incremento del índice de pérdida de vegetación que de manera directa cambia las características propias de la zona y sin duda alguna el hábitat de las distintas especies que el humedal acoge.

Los humedales se caracterizan por ser zonas de transición entre un ecosistema acuático y terrestre, generalmente es un área propensa a inundación (temporal o permanente) (Mateos y Chilán, 2021). Además, brindan múltiples servicios ecosistémicos tales como áreas de reproducción, crianza de peces y otras especies acuáticas; anidamiento y hábitat de avifauna; abastecimiento de materia prima para la construcción y diversas actividades agrarias; sitios para el desarrollo de productos de recreación, educación ambiental y turismo de naturaleza, entre otros (Mateos y Chilán, 2021). Espinoza *et al.* (2020) indican que alrededor de 150 familias se acogen a los servicios ecosistémicos que ofrece el humedal La Segua.

Existe una considerable disminución de sus hábitats producto del avance de la urbanización, actividades agrícolas, pastoreo, drenaje de humedales y presencia de plantas invasoras que desplazan a las especies nativas (Riemann *et al.*, 2015).

El desarrollo de la agricultura ha sido el factor que mayor afectación ha provocado en este tipo de ecosistema, incidiendo en la fragmentación, degradación, alteración del hábitat y contaminación de estos (Castillo y Huamantínco 2020).

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

A su vez, el crecimiento poblacional es un tema importante en cuanto a la influencia que este tiene en los humedales, debido a que es un proceso socioambiental dominante, ocasionando la transformación de los ecosistemas (Palomeque *et al.* 2017).

Los procesos de modificación generados a lo largo del tiempo por parte de los seres humanos, según (Mateos y Chilán, 2021) crean la necesidad en las comunidades de implicar, sensibilizar y generar un compromiso para cambiar comportamientos y actitudes que puedan resultar negativos para la conservación y sostenibilidad ambiental de los humedales.

Además de la pérdida directa, la otra gran amenaza para los humedales es la contaminación que se provoca de manera difusa en las distintas actividades antrópicas; debido al uso excesivo e irrazonable de fertilizantes y pesticidas, fugas de estiércol de ganado y aves de corral, y alimentación excesiva de peces, esto ha llevado a generar eutrofización severa en los humedales (Hu *et al.* 2018).

De igual manera, este tipo de fuentes de contaminación existen en el humedal La Segua, por lo que es necesario la realización de un monitoreo y seguimiento acorde a las oportunidades tecnológicas actuales y a la importancia local que representa para la supervivencia de los seres vivos que habitan en su área de influencia.

Materiales y métodos

Localización de área de estudio

La zona de estudio comprende el humedal La Segua con un área aproximada de 1836 ha de extensión, se encuentra ubicado en la provincia de Manabí, está aproximadamente a 11.5 km del suroeste de la ciudad de Chone, posicionado geográficamente a 00°42' S, 80°12' W. El humedal La segua, ocupa el quinto lugar dentro de los humedales con los que Ecuador cuenta como parte de la Convención Ramsar, siendo el humedal La Segua parte de este el 7 de junio del 2000 (Figura 1). El humedal se encuentra situado entre los cantones Chone y Tosagua, en el centro norte de la provincia de Manabí (Castro, 2020).

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio



Fuente (Autores)

Procesamiento de imágenes satelitales

A través de la plataforma Google Earth Engine se creó un script para cada año en estudio de los cuales se pudo obtener colecciones de imágenes correspondientes al satélite Landsat-7 Tier 1 para el año 2000 y 2009 y Sentinel-2 para el año 2018.

A estas colecciones de imágenes satelitales se les aplicó filtros temporales que comprendían los meses desde mayo hasta diciembre para cada año en estudio, y a su vez filtros de nubosidad con un máximo de 15% de cobertura nubosa.

Se creó un archivo vectorial a partir del uso de la herramienta de geoprocreso buffer en el software QGIS, utilizando como base el polígono correspondiente al humedal La Segua, extraído del mapa interactivo del Ministerio del Ambiente; y se lo importó en el script de Google Earth Engine para hacer el recorte por máscara a cada colección de imágenes.

Cálculo del NDVI y NDWI

Posteriormente, se utilizaron los algoritmos (Ec.3 y Ec.4) para el cálculo del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), los cuales se basan en las fórmulas estandarizadas.

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R}$$

Donde:

NDVI = Índice de vegetación de diferencia normalizada

IR = Infrarrojo

R = Rojo visible

$$NDWI = \frac{G-SWIR}{G+SWIR}$$

Donde:

NDWI = Índice de agua de diferencia normalizada

SWIR = Banda infrarrojo cercano

G = Banda verde

El resultado de la fórmula NDWI son valores positivos para los elementos de agua y negativos (o cero) para el suelo y la vegetación terrestre (Earth Observing System 2018).

```
var NDVI = image.normalizedDifference(['IR', 'R']).rename('NDVI')
```

```
var NDWI = image.normalizedDifference(['G', 'SWIR']).rename('NDWI')
```

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

Se obtuvieron como productos de estos cálculos archivos ráster, los cuales contenían los valores de los índices en cada región del área de estudio, con los valores obtenidos de los índices se realizó un promedio correspondiente para cada año y clase de cobertura de suelo.

Generación de mapas de cobertura de suelo

En el script de cada año de estudio se ejecutaron líneas de código pertenecientes al algoritmo de clasificación supervisada CART (Ec.5), para esto se utilizaron las bandas rojo, verde, azul, infrarrojo, infrarrojo cercano de onda corta 1 e infrarrojo cercano de onda corta 2. Además, se generaron ROI'S (Regiones de interés), las cuales consistían en pequeños polígonos representativos que abarcaban píxeles correspondientes a determinado tipo de cobertura de suelo.

```
var classifier_smile = ee.Classifier.smileCart().train(puntos de entrenamiento, clases, bandas)
```

Las clases de cobertura de suelo con las que se trabajaron (Tabla 1) fueron consideradas tomando como base las categorías de cobertura y uso del suelo del Ministerio de Ambiente de Ecuador y de la Autoridad Nacional de Ambiente de Panamá.

Tabla 1. Clases de cobertura de suelo aplicadas en el área de estudio

Nivel 1	Nivel 2	Fuente
Bosque		(MAE 2018)
Vegetación herbazal baja inundable		(MAE 2018)
Tierra descubierta		(Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá 2012)
Tierra agropecuaria		(MAE 2018)
Cuerpos de agua	Ríos	(Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá 2012)
	Humedales	
Zona antrópica	Área poblada	(MAE 2018)
	Piscinas acuícolas	

Una vez ejecutado el clasificador en la plataforma GEE, se exportaron los archivos de clasificación en formato ráster para convertirlos en archivos vectorial y así proceder a su edición con el fin de corregir los espacios clasificados erróneamente, esto mediante fotointerpretación de las colecciones de imágenes satelitales y de las imágenes que proporciona Google Earth Pro en series de tiempo. Luego de la corrección de las clasificaciones, se aplicaron las herramientas de geometría vectorial: suavizar y verificación de topología, para así mejorar el aspecto de los mapas y eliminar espacios vacíos. Posterior a esto, los archivos vectoriales fueron nuevamente convertidos en archivos raster.

Evaluación de la precisión de la clasificación de coberturas de suelo

Toda base de datos geográfica presenta un grado de incertidumbre que depende, principalmente, de la calidad de los insumos y de la metodología adoptada para su elaboración. La evaluación de la confiabilidad temática consiste en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable. Generalmente se basa en un muestreo de sitios de verificación, cuya clasificación se obtiene a partir de observaciones de campo o del análisis de imágenes con mejor resolución, que aquellas utilizadas para generar el mapa (Mas *et al.* 2003).

Para esto se aplicó el proceso de evaluación de la confiabilidad temática de Stehman y Czaplewski (1998) el cual consiste en tres etapas: a) El diseño del muestreo que consiste en la selección de las unidades de muestreo. b) La evaluación del sitio de verificación, que permite obtener la clase correspondiente a cada unidad de muestreo. c) El análisis de los datos, que consiste generalmente en la elaboración de una matriz de confusión y el cálculo de índices de confiabilidad.

El método de muestreo utilizado fue el muestreo aleatorio estratificado sistemático no alineado, lo cual consistió en dividir el mapa por clases para asignar una cantidad de puntos de muestreo adecuado según el área de cada clase de cobertura de suelo en cada año evitando subestimar áreas grandes y sobreestimar superficies pequeñas (Mas *et al.* 2003).

El tamaño de muestra fue calculado a partir de la fórmula propuesta por Olofsson *et al.* (2014) descrita en la ecuación:

$$N = \left(\frac{\sum W_i S_i}{s(\hat{\sigma})} \right)^2$$

Siendo:

N tamaño de muestra total

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

W_i proporción de superficie de la categoría i

S_i desviación estándar de la categoría i

$S(\hat{\delta})$ error estándar esperado de la precisión esperada (0,01)

$$W_i = \frac{A_{mi}}{A_t}$$

Siendo:

A_{mi} área de la categoría i

A_t área total mapeada

$$S_i = \sqrt{U_i(1 - U_i)}$$

Siendo:

U_i exactitud referencial considerando valores de 0,60 a 0,70 para superficies pequeñas y 0,90 a 0,95 para superficies más grandes.

Al realizar la comparación de los productos clasificados de cobertura para su evaluación se utilizaron imágenes satelitales provistas por el software Google Earth Pro pudiendo obtener imágenes cercanas a los años en estudio.

El siguiente paso fue desarrollar las matrices de confusión o error en las cuales las columnas representan generalmente las clases de referencia y las filas las clases del mapa. La diagonal de la matriz expresa el número de sitios de verificación para los cuales hay concordancia entre el mapa y los datos de referencia, mientras los marginales indican errores de asignación (Mas *et al.* 2003).

La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes, mientras los marginales suponen errores de asignación, así los valores residuales que están en las filas corresponden a clases de cobertura real no incluidos en el mapa; mientras que los residuales de columnas significa que son coberturas que no se ajustan a la realidad (Chuvieco, 1990).

La generación de los puntos de muestreo se hizo utilizando el complemento *Semi-Automatic Classification* del software QGIS 3.14, tomando como ráster el producto de clasificación por cada año obtenido tras la conversión de los archivos vectoriales editados de la clasificación de cobertura de suelo, a partir del cual se generaron los archivos vectoriales con geometría de punto para las muestras, su calificación y posterior uso para obtener así las matrices de confusión o error general.

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

Además, con el uso de este complemento se pudo obtener valores de medidas globales de precisión, teniendo la precisión global la cual relaciona los valores diagonales y el total de puntos muestreados, precisión del usuario (Ecuación 10) la cual está en relación inversa con el error de comisión que abarca píxeles incluidos en categorías a las que realmente no pertenecen; y precisión del productor inversa al error de omisión comprendiendo a píxeles que no fueron incluidos en la categoría a la que pertenecen en realidad (Chuvieco, 1990).

$$F_m = \frac{\sum x_i}{\sum \sum x_{ij}} \cdot 100$$

Siendo:

F_m precisión global

$\sum x_i$ suma total de valores diagonales

$\sum \sum x_{ij}$ total de puntos muestreados

$$F_{ui} = \frac{x_{ij}}{x_{i+}} \cdot 100$$

Siendo:

F_{ui} precisión del usuario

x_{ij} valor diagonal de la clase i

x_{i+} total de puntos de referencia en la clase i (fila)

$$F_{pi} = \frac{x_{ij}}{x_{+i}} \cdot 100$$

Siendo:

F_{pi} precisión del productor

x_{ij} valor diagonal de la clase i

x_{+i} total de puntos de referencia en la clase i (columna)

Además, del cálculo de estos porcentajes de precisión también se empleó el estadístico Kappa (k) con el cual se intenta delimitar el grado de ajuste debido solo a la precisión de la clasificación prescindiendo del causado por efectos aleatorios (Hudson y Ramn 1987).

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}$$

Siendo:

\hat{k} estadístico Kappa

N el total de puntos muestreados

$\sum_{i=1}^r x_{ii}$ la suma total de las diagonales

$\sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}$ la suma de los valores marginales

Cuando k es cercano a uno indica un acuerdo total entre la realidad y el mapa, mientras que si es cercano a cero sugiere que la coincidencia entre la realidad y el mapa es solo debido al azar (Hudson y Ramm, 1987).

Cálculo de tasa anual de cambio de cobertura de suelo

A través del complemento MOLUSCE en el software QGIS, se obtuvieron los valores de superficie y de tasa anual de cambio de cobertura de suelo haciendo traslape de los archivos ráster de clasificación corregidos en los periodos 2000-2009 y 2009-2018.

Resultados

Cálculo del NDVI y NDWI

Los valores de NDVI y NDWI promediados para cada una de las clases de cobertura de interés no llegaron a ser cercanos a uno (Tabla 2) (Anexo 1). En el año 2000 la clase humedal presentó un promedio de 0.22 y 0.42 de NDVI y NDWI respectivamente, lo que pudiera responder al hecho de que las zonas de humedales tienen en su superficie presencia constante de especies vegetales acuáticas y que los bordes del humedal tienen bajos niveles de agua en los márgenes.

En el caso de la vegetación herbazal de zona inundable y bosque el valor promedio de NDVI fue de 0.58 y 0.49 esta diferencia puede deberse a que gran parte de la vegetación categorizada como bosque es caducifolia y al ser imágenes tomadas en temporada seca las hojas tienen tonalidad café presentando menor valor de NDVI. En el caso de tierra agropecuaria el valor promedio del NDVI fue 0,49 coincidiendo con el de la clase bosque.

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2000, 2009 y 2018

Al comparar los índices para cada clase en cada año se observó mayor reducción del NDVI y NDWI en la clase humedal pasando de ser 0.22 a 0.15 de NDVI del año 2000 al año 2018 y de 0.42 a -0.02 NDWI en el mismo periodo. Los valores para la clase vegetación herbazal baja inundable en el periodo 2000 al 2018 fueron de 0.58 a 0.59, mostrando un pequeño incremento en el periodo de tiempo estimado, mientras que para el NDWI los valores que se obtuvieron para dicho índice fueron de -0.43 a -0.47 para el periodo 2000 al 2018, la clase bosque mostró una reducción de su NDVI en el periodo del 2000 al 2018 teniendo así valores de 0.49 a 0.37 y un aumento del NDWI con valores de -0.47 a -0.27 respectivamente.

La clase ríos al igual que la clase anterior mostro la misma variación de sus índices en el mismo periodo de tiempo correspondiente a valores de 0.53 a 0.38 para el año 2000 al 2018 y -0.41 a -0.21 para el mismo periodo de tiempo, mientras que las piscinas acuícolas presentaron valores para el índice NDVI de 0.41 a 0.31 para el periodo 2000 al 2018 y valores para el NDWI de -0.26 a -0.19 para el mismo periodo de estudio, por último la clase tierras agropecuarias mostraron valores para su NDVI de 0.49 a 0.44 para los años 2000 a 2018 y para el NDWI se mostraron valores de -0.47 a -0.39 para los años antes mencionados para esta clase.

Tabla 2. Cálculo de NDVI y NDWI para los años de estudio.

Clase	2000		2009		2018	
	NDVI	NDWI	NDVI	NDWI	NDVI	NDWI
Humedal	0,22	0,42	0,26	0,16	0,15	-0,02
Veg. herbazal baja inundable	0,58	-0,43	0,62	-0,45	0,59	-0,47
Bosque	0,49	-0,47	0,46	-0,40	0,37	-0,27
Ríos	0,53	-0,41	0,60	-0,43	0,38	-0,29
P. acuícola	0,41	-0,26	0,39	-0,28	0,31	-0,19
Tierra agropecuaria	0,49	-0,47	0,48	-0,46	0,44	-0,39

Fuente: (Autores)

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
 en los años 2000, 2009 y 2018

Precisión de la clasificación de cobertura de suelo generada.

Para la ejecución de este procedimiento, se elaboró una evaluación para cada una de las clasificaciones en los años 2000, 2009 y 2018, tomando en cuenta el número total de muestra, así en el año 2000 la muestra total fue de 765 puntos (Tabla 3), para el año 2009 820 puntos (Tabla 4) y el 2018 con 674 puntos (Tabla 5). La diferencia de las muestras para cada año se dio debido a que se hizo uso de valores de exactitud referenciales para cada una de las superficies obtenidas por muestras.

Tabla 3. Precisión de clasificación de cobertura de suelo para el año 2000

Año 2000					
Clases	Área (ha)	Wi	Ui	Si	Wi*Si
Humedal	372	0,089	0,70	0,46	0,0407
Vegetación herbazal baja inundable	472	0,113	0,90	0,30	0,0338
Bosque	273	0,065	0,90	0,30	0,0195
Tierra descubierta	1410	0,336	0,95	0,22	0,0733
Ríos	73	0,017	0,65	0,48	0,0083
Piscinas acuícolas	56	0,013	0,60	0,49	0,0065
Área poblada	56	0,013	0,60	0,49	0,0066
Tierra agropecuaria	1479	0,353	0,95	0,22	0,0769
$\sum Wi*Si$					0,2656

Fuente (Autores)

Tabla 4. Precisión de clasificación de cobertura de suelo para el año 2009

Año 2009					
Clases	Área (ha)	Wi	Ui	Si	Wi*Si
Humedal	317	0.076	0.70	0.46	0.0347
Vegetación herbazal baja inundable	672	0.160	0.90	0.30	0.0481
Bosque	201	0.048	0.70	0.46	0.0219
Tierra descubierta	764	0.182	0.90	0.30	0.0547

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2000, 2009 y 2018

Ríos	78	0.019	0.65	0.48	0.0089
Piscinas acuícolas	33	0.008	0.60	0.49	0.0039
Área poblada	60	0.014	0.65	0.48	0.0069
Tierra agropecuaria	2069	0.493	0.95	0.22	0.1075
$\sum W_i * S_i$					0.2864

Fuente (Autores)

Tabla 5. Precisión de clasificación de cobertura de suelo para el año 2018

Año 2018					
Clases	Área (ha)	W_i	U_i	S_i	W_i*S_i
Humedal	563	0.134	0.90	0.30	0.0402
Vegetación herbazal baja inundable	415	0.099	0.90	0.30	0.0297
Bosque	250	0.059	0.70	0.46	0.0273
Tierra descubierta	615	0.147	0.95	0.22	0.0319
Ríos	65	0.015	0.60	0.49	0.0075
Piscinas acuícolas	710	0.169	0.95	0.22	0.0369
Área poblada	63	0.015	0.60	0.49	0.0073
Tierra agropecuaria	1515	0.361	0.95	0.22	0.0787
$\sum W_i * S_i$					0.2596

Fuente (Autores)

Posterior al cálculo de las muestras totales por cada año en estudio, se procedió a generar un nuevo cálculo para cada clase, que se encuentre en relación con la mitad de las muestras totales, para obtener la proporción del área en cada clase con respecto al tipo de muestra, en la tabla 6, 7 y 8 se muestran las cantidades de puntos considerando el promedio para cada año.

Tabla 6. Cálculo de tamaño de muestras por clase para el año 2000

Año 2000	
Clases	Tipo de muestreo asignado

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2000, 2009 y 2018

	Proporcional	Igual	Promedio
Humedal	31	44	38
Vegetación herbazal baja inundable	40	44	42
Bosque	23	44	34
Tierra descubierta	119	44	82
Ríos	6	44	25
Piscinas acuícolas	5	44	24
Área poblada	5	44	24
Tierra agropecuaria	125	44	84

Fuente (Autores)

Tabla 7. Cálculo de tamaño de muestras por clase para el año 2009

Año 2009			
Clases	Tipo de muestreo asignado		
	Proporcional	Igual	Promedio
Humedal	31	51	41
Vegetación herbazal baja inundable	66	51	58
Bosque	20	51	35
Tierra descubierta	75	51	63
Ríos	8	51	29
P. acuícola	3	51	27
Área poblada	6	51	29
Tierra agropecuaria	202	51	127

Fuente (Autores)

Tabla 8. Cálculo de tamaño de muestras por clase para el año 2018

Año 2018			
Clases	Tipo de muestreo asignado		
	Proporcional	Igual	Promedio
Humedal	45	42	44

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2000, 2009 y 2018

Vegetación herbazal baja inundable	33	42	38
Bosque	20	42	30
Tierra descubierta	49	42	46
Ríos	5	42	24
P. acuícola	57	42	49
Área poblada	5	42	24
Tierra agropecuaria	122	42	82

Fuente (Autores)

Luego de tener las muestras para cada año y categoría, se ejecutó su evaluación en QGIS y se obtuvo las matrices de error, por lo que, al analizarlas se logró identificar que para el año 2000 (Tabla 9) se obtuvieron siete puntos que no corresponden a la clase correcta, asimismo la matriz del año 2009 (Tabla 10) presentó tres puntos que no pertenecen a su respectiva clase; mientras que en el 2018 (Tabla 11) no se presentó ningún error en la matriz de error de dicho año en estudio.

Tabla 9. Matriz de confusión o error por puntos 2000

Año 2000										PA (%)	UA (%)	P. General (%)
Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	Total			
1	37	1	0	0	0	0	0	0	38	95,47	97,37	98,59
2	0	42	0	0	0	0	0	0	42	91,85	100	
3	0	4	30	0	0	0	0	0	34	100	88,24	
4	1	0	0	81	0	0	0	0	82	100	98,78	
5	0	0	0	0	25	0	0	0	25	100	100	
6	0	0	0	0	0	24	0	0	24	100	100	
7	0	0	0	0	0	0	24	0	24	100	100	
8	0	0	0	0	0	0	0	84	84	100	100	
Total	38	47	30	81	25	24	24	84	353			

1. Humedal, 2. Vegetación herbazal baja inundable, 3. Bosque, 4. Tierra descubierta, 5. Ríos, 6. Piscinas acuícolas, 7. Área poblada, 8. Tierras agropecuarias

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2000, 2009 y 2018

PA: Precisión del productor; UA: Precisión del Usuario; P. General: Precisión General.

Fuente (Autores)

Tabla 10. Matriz de confusión o error por puntos 2009

Año 2009										PA (%)	UA (%)	P. General (%)
Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	Total			
1	34	1	0	0	0	0	0	0	35	100	97,14	99,46
2	0	50	0	0	0	0	0	0	50	98,67	100	
3	0	0	28	2	0	0	0	0	30	100	93,33	
4	0	0	0	54	0	0	0	0	54	98,28	100	
5	0	0	0	0	25	0	0	0	25	100	100	
6	0	0	0	0	0	23	0	0	23	100	100	
7	0	0	0	0	0	0	24	0	24	100	100	
8	0	0	0	0	0	0	0	108	108	100	100	
Total	34	51	28	56	25	23	24	108	349			

1. Humedal, 2. Vegetación herbazal baja inundable, 3. Bosque, 4. Tierra descubierta, 5. Ríos, 6. Piscinas acuícolas, 7. Área poblada, 8. Tierras agropecuarias

PA: Precisión del productor; UA: Precisión del Usuario; P. General: Precisión General.

Fuente (Autores)

Tabla 11. Matriz de confusión o error por puntos 2018

Año 2018										PA (%)	UA (%)	P. General (%)
Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	Total			
1	44	0	0	0	0	0	0	0	44	100	100	100
2	0	38	0	0	0	0	0	0	38	100	100	
3	0	0	30	0	0	0	0	0	30	100	100	

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador, en los años 2000, 2009 y 2018

4	0	0	0	46	0	0	0	0	46	100	100
5	0	0	0	0	24	0	0	0	24	100	100
6	0	0	0	0	0	49	0	0	49	100	100
7	0	0	0	0	0	0	24	0	24	100	100
8	0	0	0	0	0	0	0	82	82	100	100
Total	44	38	30	46	24	49	24	82	337		

1. Humedal, 2. Vegetación herbazal baja inundable, 3. Bosque, 4. Tierra descubierta, 5. Ríos, 6. Piscinas acuícolas, 7. Área poblada, 8. Tierras agropecuarias

PA: Precisión del productor; UA: Precisión del Usuario; P. General: Precisión General.

Fuente (Autores)

Tasa anual de cambio de cobertura de suelo

Las tasas de cambio anual de cobertura del suelo para el período 2000-2009 y 2009-2018 (Anexo 2) se calculó de acuerdo con el valor del área inicial de cada categoría presentados en la Tabla 12.

Tabla 12. Tasa de cambio anual de cobertura de suelo en el área de estudio

Código	Clase	Año	2000	Año	2009	Año	2018	Tasa de cambio anual (%)	
		(ha)		(ha)		(ha)		2000 – 2009	2009 – 2018
1	Humedal	372		317		562		-1,76	6,56
2	Vegetación herbazal baja inundable	472		672		415		4,00	-5,21
3	Bosque	273		201		249		-3,34	2,44
4	Tierra descubierta	1410		764		614		-6,58	-2,39
5	Ríos	73		78		65		0,85	-2,13
6	Piscinas acuícolas	56		33		715		-5,66	40,71
7	Área poblada	56		60		62		0,76	0,32

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

8	Tierra agropecuaria	1479	2066	1508	3,78	-3,43
Total		4191	4191	4191		

Fuente (Autores)

De acuerdo con los valores del área con respecto al periodo 2000 – 2009, se identifica que existe una disminución en cuatro de las ocho clases en estudio, teniendo así que las clases tierra descubierta y piscinas acuícolas son las que mayor reducción en su superficie presentaron, con valores de tasa de cambio anual de -3,34% y -5.66% respectivamente. Asimismo, las clases humedal y bosque presentaron una disminución en su superficie, con valores de tasa de cambio anual de -1.76% y -3,34% correspondientemente.

Por otra parte, en el mismo periodo 2000 – 2009, las clases vegetación herbazal baja inundable y tierra agropecuaria han presentado una variabilidad positiva en sus superficies, teniendo así una tasa de cambio anual de 4.00% y 3.78% correspondientemente. Cabe destacar que las clases área poblada (0.76%) y ríos (0.85%) son las que menor variación positiva han presentado.

Con respecto a los valores del área inicial obtenidos en el periodo 2009 – 2018, se evidencia una mayor variabilidad negativa en la tasa de cambio anual para las clases vegetación herbazal baja inundable y tierra agropecuaria con -5.21% y -3.43%, a su vez las clases tierra descubierta y ríos, presentan una variación negativa menor a las antes mencionadas en la tasa de cambio anual, correspondientes a -2.39% y -2.13%.

A diferencia de la variabilidad negativa que presentaron las clases antes mencionadas, en el mismo periodo, se tuvo que las clases que mayor variabilidad positiva mostraron son las piscinas acuícolas, humedal y bosque, con valores de tasa de cambio anual en su superficie de 40.71%, 6.56% y 2.44%. Por último, la clase área poblada fue la que tuvo una variabilidad mínima en este periodo, con un valor de 0.32%.

Discusión

Es evidente el incremento de las actividades acuícolas en la zona de estudio, con mayor intensidad para el periodo 2009 – 2018, lo que consigo ha traído la reducción de otras clases de cobertura de suelo como bosques y tierras agropecuarias para el último año en estudio, con relación a lo dicho por

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

Rodríguez *et al.* (2016) indican que el problema central es la contaminación ambiental que causan las granjas camaroneras, la famosa deforestación de los bosques de manglares, éste de por sí, pasa a ser la cúspide o zenit del problema, causa daño directo al medio ambiente, muchas veces la tala indiscriminada no es pagada o devuelta como lo exige la ley, las malas administraciones talan y no compensan el daño ambiental.

Por otra parte, el aumento de áreas destinadas a cultivos de especies acuícolas, la disminución de superficies boscosas ha sido atribuida a factores de índole antrópico, lo que consigo acarrea otras consecuencias, como así también lo menciona en su estudio Macías M. (2011) donde en 2006 identificaron varios factores que inciden en la ciénaga: tala del manglar; aumento del número de camaroneras, eutrofización de las represas, deforestación y degradación del humedal La Segua.

Además, entre algunos de los factores que influyen negativamente en el humedal La Segua también se puede mencionar la pérdida de biodiversidad como consecuencia del incremento de unas clases de cobertura de suelo y disminución de otras, así también lo indica el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2019) que el humedal La Segua se ve afectado de manera directa debido a la construcción de piscinas camaroneras, ya que están rodeando una parte del humedal.

Finalmente, los cambios en la cobertura del suelo muestran de manera notable una reducción en los valores de NDVI, como resultado de las distintas actividades antropogénicas antes mencionadas, Pacheco *et al.* 2020 describen que la razón principal de dicha disminución está directamente relacionada con las prácticas agropecuarias desarrolladas en estas zonas, lo que presume variación en el uso de la tierra, tala discriminada y quema de bosque para la expansión de zonas agropecuaria.

Conclusiones

Por medio del cálculo de NDVI es posible reconocer la presencia de vegetación y mediante el cálculo del NDWI se logra reconocer niveles de masas de agua mediante el procesamiento de imágenes satelitales, con lo cual se ha logrado en este estudio analizar la dinámica temporal de cambios de vegetación y cuerpos de agua presentes en la zona de estudio observando reducción en los valores de NDVI y NDWI desde el año 2000 hasta el año 2018.

El análisis multitemporal generado en el humedal La Segua a través de la tasa de cambio anual de cobertura de suelo para cada una de las clases indica que la categoría piscinas acuícolas es la que

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

mayor superficie ha ganado durante el periodo 2009 al 2018 con relación a las demás clases, lo que consigo se puede entender la disminución de superficie de las demás clases.

La evaluación de la precisión de clasificación de cobertura de la tierra es más confiable utilizando imágenes Sentinel a diferencia de las imágenes satelitales que Landsat proporciona, pues permite identificar de mejor manera los objetos espaciales y así poder verificar si la clasificación fue correcta o no.

Referencias

- Alatorre, L. C; Beguería, S; Vicente-Serrano, S. M. (2010). Analysis of the spatio-temporal evolution of NDVI in vegetated areas and erosion risk areas in the central Pyrenees. *Pirineos*, 165(165), 7–27. <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2010.165001>
- Briassoulis, H. y Ph, D. (2000). *Analysis of Land Use Change : Theoretical and Modeling Approaches Table of Contents*. Morgantown: West Virginia University, 4–6. <https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book>
- Castillo y Humantico. (2020). Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa , Lima , Perú. 68(March), 50–68.
- Castro, M. 2020. Humedal La Segua: ecosistema reconocido internacionalmente corre el riesgo de secarse en Ecuador. MONGABAY (En línea, sitio web). Consultado 12 de Jun . 2022. Disponible en <https://es.mongabay.com/2020/11/humedal-la-segua-ecosistema-reconocido-internacionalmente-corre-el-riesgo-de-secarse-en-ecuador/>
- Chuvieco, E. 1990. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Segunda edición. Madrid, España, Ediciones RIALP S.A. 388-400p.
- Devia y Franco. 2021. Evaluación de cambios de cobertura con clasificación supervisada en la sabana de oxidente para los años 2015 - 2020. (En línea). Tesis en Ing Ambiental. Cundinamarca, Colombia. Formato (PDF). Consultado 28 de May. 2022. Disponible en <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3750>
- EOS (Earth Observing System). 2018. EOS: Índice de Agua de Diferencia Normalizada (En línea, sitio web). Consultado 17 de May. 2022. Disponible en <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>
- Espinoza, P; Quispe, M; Layana, E; Tandazo, J. 2020. Indicadores de sustentabilidad de un sistema agroforestal para el uso racional del agua en el humedal La Segua, Canton Chone, provincia de Manabí. (en línea). *Revista de ciencia e investigación* 5(1), 17-28. Consultado 06 Jun. 2022. Disponible en <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/762/598>
- Fernández-García, DFF-DDK. 2017. *Los Sistemas de Información Geográfica* (en línea). *Fagropec* 9(1):11-16. Disponible en <https://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/fagropec/article/view/708/728>.

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

- Gorelick, N; Hancher, M; Dixon, M; Ilyushchenko, S; Thau, D; Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone (en línea). *Remote Sensing of Environment* 202(2016):18-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hu, Y. y Dong, Y. 2018. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* An automatic approach for land-change detection and land updates based on integrated NDVI timing analysis and the CVAPS method with GEE support (en línea). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.10.008>.
- Hudson, W. y Ramm, C. 1987. Correct formulation of the Kappa Coefficient of Agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 53:4, 421-422p.
- Peñarrieta, M y Díaz, M. 2020. Actividades antropogénicas en la parroquia San Antonio y su incidencia en la calidad del agua en el humedal La Segua. (En línea). Editorial Compás. Guayaquil, Ecuador. 56 pag. Formato (PDF). Consultado 28 de May. 2022. Disponible en <https://www.uteq.edu.ec/doc/investigacion/libros/13.pdf>
- Macías, M. 2011. Sistema de indicadores para evaluar el impacto ambiental de la actividad antrópica en la cuenca hidrográfica Carrizal-Chone. (En línea). Master en Gestión Ambiental. Río de Pinar, Cuba. Formato (PDF). Consultado 12 de agos. 2022. Disponible en <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://rc.upr.edu.cu/bitstream/DICT/420/1/2013.6.18.u1.s08.t.pdf>
- Manrique, E. 1999. Índice De Vegetación. Aplicación Del NDVI. TELEDETECTECCIÓN. Avances y Aplicaciones, 217–219.
- Mas, J; Díaz, J; Perez, A. 2003. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 2003-51:53-54. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n51/n51a5.pdf>
- Mateos, M. y Chilán, N. 2021. Socio-environmental dynamics and tourist-recreational potential of the La Segua wetland (Ecuador): Attitudes and perceptions of local agents and visitors. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(2), 272–326. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-02-06>
- Montilla, A; Zambrano, M; Reyna, C. (2017). Análisis de las condiciones geográficas y ecológicas del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 18, 70. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i18.809

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

- Olaya, V. 2014. Sistemas de Información Geográfica. Girona, España. (en línea, sitio web). Formato (PDF). Consultado 04 Jun 2022. Disponible en https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- Olofsson, P; Foody, GM; Herold, M; Stehman, SV; Woodcock, CE; Wulder, MA. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148:42-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Pacheco, H; Zamora-Ledezma, E; Jarre Castro, E. 2020. Variaciones de la cobertura vegetal empleando el índice normalizado de diferencia de vegetación para monitorear ODS en Manabí - Ecuador. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*, ve2020(2), 12–18. <https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a02>
- Palomeque de la Cruz, MÁ; Galindo Alcántara A; Sánchez, AJ; Escalona Maurice, MJ. 2017. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas* (68):151. DOI: <https://doi.org/10.14198/ingeo2017.68.09>.
- Palomeque, J. y Lalangui, J. 2016. Las camaroneras ecuatorianas: Una polémica medioambiental. *Revista Científica Universidad y Sociedad*, 8, 150.
- PNUD. 2014. Fortalecimiento del Biocorredor Estuario Río Chone - La Segua - Cordillera del Bálsamo. Programa De Pequeñas Donaciones (Ppd/Pnud/Fmam), 1–29. <https://www.ppd-ecuador.org/wp-content/uploads/2019/04/B-Rio-Chone-final.pdf>
- Puyravaud, JP. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177(1-3):593-596. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3).
- Riemann, H; Rangel, N; Vázquez-León, CI; Pombo-López, ÓA; Santes-Álvarez, RV; Sánchez-Munguía, V. 2015. El agua en la región agrícola Camalú-El Rosario, Baja California. Un recurso sobreexplotado con repercusiones sociales y ambientales. s.l., s.e. 140 p.
- Rodríguez Crespo, G; Chiriboga Calderón; Lojan Feijoo, A. 2016. Las camaroneras ecuatorianas: una polémica medioambiental. *Revista Universidad y Sociedad [seriada en línea]*, 8 (3). pp. 151 -156. Recuperado de [http:// rus.ucf.edu.cu/](http://rus.ucf.edu.cu/)
- Segura, M. 2020. Correlación entre la unidad del suelo y los índices NDVI y NDWI como indicativo del estrés híbrido en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la variedad BC01220, Ingenio Taboga 2019. (En línea). Tesis en Ing Agronómica. Cañas, Costa Rica Formato (PDF). Consultado 15 de May. 2022. Disponible en <https://repositorio.utn.ac.cr/handle/20.500.13077/453>

Análisis multitemporal del cambio de cobertura de la tierra del humedal La Segua, provincia de Manabí, Ecuador,
en los años 2000, 2009 y 2018

- Stehman, S. y Czaplewski, R. 1998. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. *Revista Remote Sens. Environ.* 64:331–344. Disponible en <https://zero.sci-hub.se/425/ecdc30696fb5781d51e825ecf7db4063/stehman1998.pdf#navpanes=0&view=FitH>
- Ulloa Meneses, L; Orozco Iguasnia, F; Orozco Iguasnia, J; Carrera Calderón, F. 2017. Sistema de información geográfica para la integración de información Geo referenciada de entidades públicas y privadas en la ciudad de Santo Domingo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(3), 13–27. <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i3.294>