

Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo en la isla Santa Cruz, archipiélago de las Galápagos, periodo 1991 - 2023

Multi-temporal analysis of changes in land use in Santa Cruz Island, Galapagos archipelago, period 1991 - 2023

Fernando González Soto¹, Danny Ullón², Anthonny Luis Yaguachi Alarcón³, José Ariel Ramos Alcivar²,
Verónica Estefanía Montenegro Benalcázar⁴, Julia Isabel Loján Córdova⁵

¹Universidad Nacional de Loja, ²Universidad Agraria del Ecuador, ³Escuela Superior Politécnica del Litoral, ⁴Universidad Politécnica Salesiana, ⁵Universidad Técnica Particular de Loja

Autor de correspondencia: alexfernado1996@hotmail.es

Recibido: 10/04/2023. Aceptado: 22/01/2024
Publicado el 31 de enero de 2024

Resumen

La modificación del uso del suelo derivada de las actividades humanas se manifiesta a escalas tanto global como local. Por lo tanto, el presente estudio se centra en la evaluación temporal del cambio en el uso del suelo en la isla Santa Cruz, Galápagos. En este sentido, se planteó un análisis detallado de los usos del suelo y su transición con la cobertura vegetal para examinar su evolución. Se utilizaron Sistemas de Información Geográfica y la técnica de Clasificación Supervisada con el fin de identificar las transformaciones en el terreno a lo largo del tiempo, así como los factores responsables de dichos cambios. Con el propósito de obtener información precisa acerca de los usos del suelo en el área de estudio, se emplearon imágenes satelitales gratuitas que permitieron la diferenciación de cuatro clases distintas. A través de este análisis, se logró determinar la evolución del uso del suelo durante un periodo de 32 años, comprendido entre 1991 y 2023. Los resultados revelaron que las áreas clasificadas experimentaron modificaciones debidas a factores tanto naturales como antropogénicos, incluyendo actividades ganaderas, agrícolas y el crecimiento demográfico. Para validar los datos obtenidos, se implementó una matriz de confusión y se calculó el índice Kappa. Estos procedimientos evidenciaron la robustez y la concordancia del modelo utilizado, asegurando una alta precisión en comparación con la realidad. En conclusión, este estudio proporciona una visión comprehensiva del cambio en el uso del suelo en la isla Santa Cruz, Galápagos, y ofrece información relevante sobre los factores que han contribuido a dichos cambios a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos poseen implicaciones significativas para la gestión sostenible del territorio y la conservación del ecosistema en esta relevante región.

Palabras clave: análisis multitemporal, área protegida, desarrollo sostenible, índice kappa, SIG, uso del suelo.

Abstract

The change in land use resulting from human activities occurs at both global and local scales. The present research focuses on the multi-temporal analysis of land use change on Santa Cruz Island, Galápagos. Therefore, the analysis of land uses and their transition with vegetation cover was proposed to examine their evolution. Geographic Information Systems and the Supervised Classification technique were employed to identify changes in the terrain over time and the factors responsible for these alterations. In order to obtain accurate information about existing land uses in the study area, free satellite images were used, allowing the distinction of four distinct classes. Through this analysis, it was possible to determine the evolution of land use over a period of 32 years, spanning from 1991 to 2023. The results revealed that the classified areas underwent modifications due to both natural and human-induced factors, including livestock and agricultural activities, as well as demographic growth. To validate the obtained data, a confusion matrix was conducted, and the Kappa index was applied. These procedures demonstrated the robustness and agreement of the model used, ensuring high accuracy compared to reality. In conclusion, this study provides a comprehensive view of land use change on Santa Cruz Island, Galápagos, and offers relevant information about the factors that have contributed to such changes over time. The results have significant implications for sustainable land management and ecosystem conservation in this important region.

Keywords: multitemporal analysis, protected area, galapagos, kappa index, GIS, land use.

Introducción

La Isla Santa Cruz está localizada en el en la zona central del Archipiélago de Galápagos, siendo reconocida por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) como área protegida de Ecuador y a su vez se encuentra la Dirección del Parque Nacional Galápagos, promueve la conservación de la reserva y la biodiversidad de los ecosistemas de la Isla (García, 2021). La Isla Santa Cruz ha presentado cambios en los usos de suelo de manera progresiva, debido al requerimiento de terreno para la producción agrícola por tener una creciente demanda de recursos por el aumento poblacional a lo largo del tiempo. (Saldaña, 2019).

El cambio de uso del suelo se define como la transformación de la cubierta vegetal local para transformarla a otros usos, como lo son la agricultura, ganadería y construcciones de infraestructura (Plan Galápagos, 2016); lo cual degradan la calidad de la vegetación modificando su densidad y su composición referente a las especies presentes. Entre las principales consecuencias del cambio de uso del suelo se encuentra la pérdida de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos (Almeida y Guevara, 2015). Además, el cambio en el uso del suelo está comúnmente asociado con la intensificación de la actividad agrícola en un determinado sector. Este fenómeno ocasiona impactos negativos significativos en los ecosistemas naturales, siendo el suelo el recurso más afectado. La utilización excesiva de agroquímicos desencadena alteraciones en los procesos de transporte de nutrientes, resultando en una aceleración de la erosión hídrica y eólica, así como en el aumento del escurrimiento superficial. Además, se ven afectados la infiltración del agua en el suelo y los procesos de transformación física, química y biológica del mismo (Barreto, 2019).

Los usos del suelo en la isla Santa Cruz se dividen en cuatro categorías principales: vegetación natural, agropecuarios, eriales e infraestructura. A lo largo del tiempo, los factores contribuyentes al cambio en el uso del suelo y la pérdida de vegetación han experimentado un aumento significativo. Entre estos factores se incluyen el crecimiento demográfico, que se suma a la expansión de la infraestructura, el turismo, la introducción de especies invasoras que desplazan a las especies endémicas, la actividad ganadera y la agricultura intensiva, todos los cuales provocan transformaciones en el suelo. (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020).

La producción agrícola en la isla Santa Cruz (Galápagos) en las últimas décadas ha aumentado debido a la demanda de productos de consumo por actividades turísticas (Muñoz, 2015). Esto, ha generado que plantas invasoras como la mora ocupan grandes extensiones de terreno (Plan Galápagos, 2016), transformando áreas agrícolas en zonas de extensos cultivos, causando impactos negativos a los ecosistemas y a la economía local, principalmente para los agricultores porque su control implica altos costos de producción (Almeida y

Guevara, 2015).

A su vez, Puerto Ayora, el centro poblado de la Isla Santa Cruz, ha tenido un crecimiento en los límites urbanos, siendo que en el año 1981 tenía un aproximado de 109.41 Hectáreas de suelo y en el año 2009 incrementó a aproximadamente 328.70 Hectáreas. El principal motivo de la expansión es nuevamente el crecimiento poblacional, conllevando así a un mayor requerimiento de infraestructura para la sustentación de la población local y turista (Nájera *et al.*, 2010).

Los cambios de uso de suelo y los impactos que tienen sobre los sistemas naturales y la biodiversidad, la presente investigación tiene como objetivos: a) Identificar los diversos usos de suelo en la Isla Santa Cruz mediante el análisis visual en imágenes satelitales; b) Analizar la transición de la cobertura vegetal mediante Sistemas de Información Geográfica.

Área de estudio

El presente proyecto de investigación toma como zona de estudio la Isla Santa Cruz, la cual tiene una superficie de 98,522 ha. La Isla Santa Cruz tiene un clima tropical ecuatorial, siendo que todo el año presenta temperaturas cálidas que oscilan en promedio entre los 20°C a 31°C, además que la temperatura del agua se mantiene entre los 20°C a 25°C. Su punto más alto se encuentra en el cerro Crocker a una altura de 864 m.s.n.m. con una población de 13000 habitantes. La precipitación puede tener grandes variaciones. Donde la temporada caliente puede recibir un máximo de 2,769 mm y la temporada fría un máximo de 2,666 mm. La mayor parte de la Isla se encuentra cubierta por roca desnuda, con una capa muy delgada de litosoles ubicadas en la zona árida (120m.s.n.m.), mientras que en los 300 m.s.n.m. se pueden llegar a tener capas gruesas de suelo arcilloso. Existen grandes variaciones en la vegetación donde se tiene la zona árida con 130 m.s.n.m. donde se tienen especies espinosas y deciduas. Las zonas de humedad se encuentran especies de arbustos endémicos y miconias (Domínguez, 2011).



Figura 1. Área de estudio

Materiales y métodos

Diagrama de flujo

Para el tratamiento de las imágenes satelitales y la obtención de la información se siguió la metodología descrita en el siguiente diagrama de flujo (Figura 2).

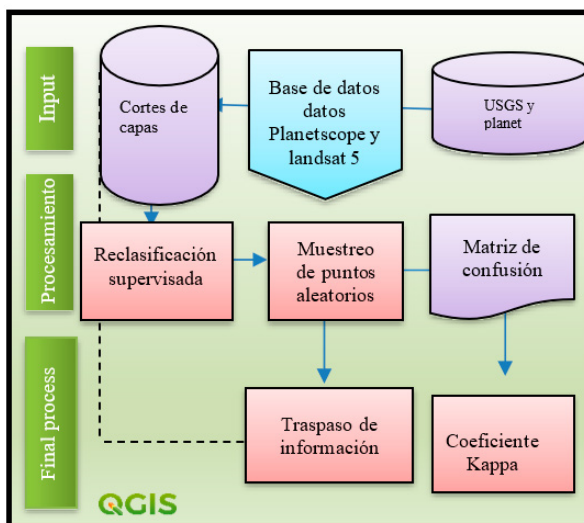


Figura 2. Diagrama de flujo del procesamiento empleado

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de plataformas web: USGS y PlanetScope, siendo las bases de datos para la obtención de las imágenes Landsat-5 y PlanetScope respectivamente. Las capas obtenidas ya presentan correcciones atmosféricas. Por medio del polígono de la Isla Santa Cruz, se realiza el corte de las capas ráster. Luego, por medio de los valores de píxeles del ráster se procede a realizar la clasificación supervisada para identificar los usos de suelo de la zona de estudio.

Utilizando puntos de muestreo aleatorio homogéneos pro clase, se procede a realizar la matriz de confusión para identificar las clases obtenidas por la reclasificación supervisada y por las identificadas por el usuario, para poder aplicar el Coeficiente Kappa.

Clasificación supervisada

La clasificación supervisada permite realizar la clasificación de la capa ráster, creando zonas de entrenamiento que sirven como muestras para poder organizar la información proporcionada por el ráster mediante las firmas espectrales de cada píxel. Para ello se le asignan números para identificar adecuadamente el valor de cada clase (USGS, 2020).

La clasificación supervisada se apoya en la máxima verosimilitud (ML) en donde los valores de reflectancia de las clases se encuentran en patrones de distribución de probabilidad normal multivariante, en la cual se usa los vectores de media y matriz de varianza/covarianza para identificar la probabilidad de que un píxel se encuentre dentro de alguna de las clases. Finalmente se establecen umbrales de

probabilidad para cada clase para disminuir la probabilidad que los píxeles se encuentren en clases diferentes a las que pertenecen. El valor máximo de probabilidad es un indicador para demostrar la exactitud del proceso (Del Toro *et al.*, 2013).

Índice de coeficiente Kappa

Los datos derivados de los geoprocamientos fueron utilizados para generar tablas estadísticas descriptivas con el objetivo de comparar las hectáreas por clase y por año. Este enfoque permitió calcular el porcentaje y la cantidad de pérdida o ganancia de hectáreas por clase durante el periodo de estudio.

Posteriormente, se aplicó el índice de coeficiente Kappa, una metodología que organiza los valores al azar. La fórmula del coeficiente Kappa se empleó para corregir datos y verificar la consistencia del análisis, proporcionando una medida de la concordancia del modelamiento final. La eficacia de esta concordancia puede variar entre alta y baja, siendo preferible alcanzar un nivel elevado de concordancia.

Este procedimiento tiene como finalidad identificar la exactitud y precisión de los datos obtenidos, validando el proceso mediante la aplicación del coeficiente Kappa. La fórmula para el cálculo de dicho coeficiente se presenta a continuación:

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Dónde:

K = Kappa

P_o = Precisión total

P_e = Precisión aleatoria

La imagen utilizada del año 1991 es del satélite Landsat-5 Collection 2 Level-1, la cual contiene 7 bandas espectrales. Véase la Tabla 1.

La imagen utilizada del año 2023 es del satélite PlanetScope; la imagen satelital permite una mayor precisión al realizar observaciones debido a su tamaño de píxel, siendo de 3.7 metros. La imagen contiene las siguientes bandas espectrales (Tabla 2).

Las imágenes satelitales utilizadas para el presente estudio se describen en la siguiente Tabla 4.

Tabla 1. Características de bandas del satélite Landsat-5 (USGS, 2020)

Número de banda	Nombre de la banda	Rango espectral (micrómetros)	Resolución espacial
1	Banda azul	0.45 - 0.52	
2	Banda verde	0.52 - 0.60	
3	Banda roja	0.63 - 0.69	
4	Banda cercana al infrarrojo (NIR)	0.77 - 0.90	30 metros
5	Banda medio infrarrojo (MIR)	1.55 - 1.75	
6	Banda térmica	10.40 - 12.50	120 metros
7	Banda infrarroja a media resolución (MIR)	2.08 - 2.35	30 metros

Tabla 2. Características de bandas del satélite PlanetScope

Número de banda	Nombre de la banda	Rango espectral (nm)	Resolución espacial
1	Coastal aerosol	452	
2	Banda Azul	515	
3	Banda verde	549	
4	Banda verde	583	
5	Banda amarilla	620	3.7 metros
6	Banda Roja	680	
7	Banda Roja	713	
8	Banda cercana al infrarrojo (NIR)	885	

Tabla 3. Descripción de variables, representación y cálculo

Nombre de la variable	Tipo de variable	Unidad de Medida	Método de cálculo/ recolección
Tiempo	Independiente	Año	USGS
Pérdida o Ganancia de suelo	Dependiente	Porcentaje (%)	Diferencia de clasificación supervisada interanual
Cambio de uso de suelo	Dependiente	Hectárea (ha)	Clasificación supervisada

Tabla 4. Insumos utilizados

Satélite	Año	Corrección atmosférica	Tamaño de pixel
Landsat-5	1991	Sí	30 m
PlanetScope	2023	Sí	3.7 m

Resultados y discusión

Diferencias de los diversos usos del suelo en la Isla Santa Cruz

Mediante el uso de imágenes satelitales de los satélites Landsat-5, se procedió a clasificar en 4 clases de suelos en la zona de estudio, permitiendo identificar previamente las clases, siendo: suelos eriales, suelos agropecuarios, suelos con vegetación natural e infraestructura; El tipo de suelo de vegetación invasora no fue considerada como una clase individual, debido a que este tipo de vegetación suele encontrarse dentro del suelo agropecuario y los cuerpos de agua a pesar de tener relevancia en la productividad de suelos.

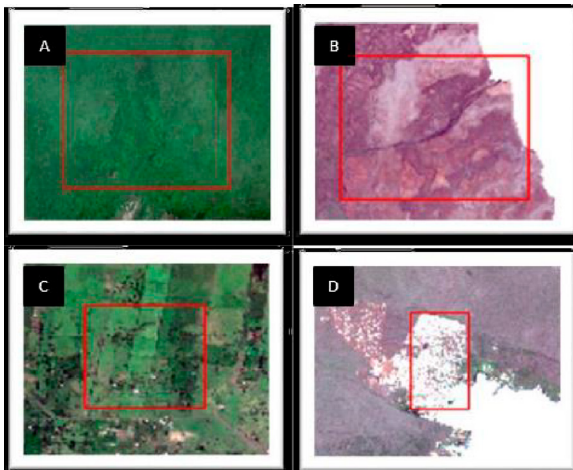


Figura 2. Clases obtenidas mediante los geoprocursos

En la Figura 2. Se pudo obtener las siguientes clases: Literal a) correspondiente a vegetación natural que posee vigorosidad en su flora, propio de un bosque frondoso, la Figura 1, literal b) perteneciente a suelo erial con terrenos áridos, desérticos o sin cultivar, con tonalidad marrón, la Figura 1, literal c) concierne a suelo agropecuario con parcelas delimitadas, destinadas a la agricultura, ganadería y pastoreo en la zona central de la isla, finalmente en la Figura 1, literal d) se aprecia construcciones de infraestructura, por lo general con tono blanco debido a las superficies impermeables presentes en la isla Santa Cruz.

Comparación de los cambios del uso de suelo entre el año 1991 y 2023

En la Figura 3. Correspondiente al año 1991 se utilizó la imagen Landsat-5 C1, la cual se realizaron correcciones atmosféricas mediante la herramienta Semiautomatic Classification Plugin (SCP. Mediante la clasificación supervisada, se obtuvieron 4 clases considerando los valores de las firmas espectrales de la imagen, teniendo un valor mínimo de pixel de 61.96 y un valor máximo de 219.93. En la Figura 3 se puede constatar que la vegetación Natural en este periodo ocupa la mayor parte del área en el territorio, el uso de suelo con 76,998.73 ha de suelo ocupado; el uso de suelo de infraestructura se encuentra

asentada en el área específica de Puerto Ayora, constituyendo así un bajo índice para este año, siendo que obtuvo un valor de 109.41 ha de suelo ocupado. En los suelos de tipo Eriales se obtuvo 16,230.45 ha y el suelo agrícola con 6,021.10 ha del total del territorio ocupado.

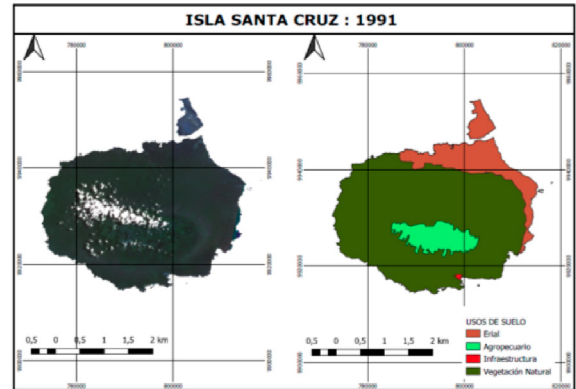


Figura 3. Clasificación de la Isla Santa Cruz para el año 1991

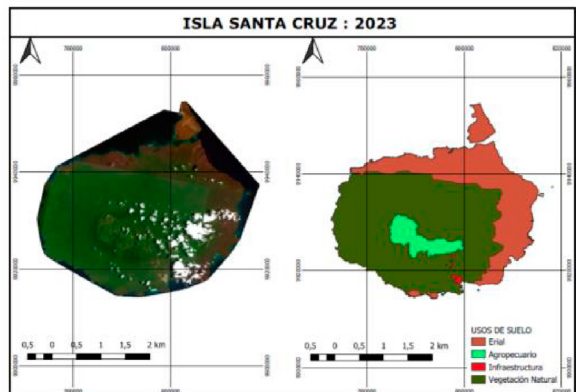


Figura 4. Clasificación de la Isla Santa Cruz para el año 2023

En la Figura 4. Correspondiente al año 2023 se utilizó la Imagen Landsat-5, la cual ya presentaba correcciones atmosféricas, por ello se procedió a realizar la clasificación supervisada considerando los valores mínimos y máximos de las firmas espectrales de cada clase, siendo que el valor mínimo obtenido es de 217.11 y el valor máximo es de 4,024.49 de los valores del píxel. Se pudo constatar mediante la clasificación supervisada que la clase predominante es la vegetación natural, predominando con un área de 62,363.35 ha, seguido del suelo de tipo erial con un área de 32,485.98 ha de terreno ocupado, mientras que el suelo agropecuario tiene un área de 6,021.10 ha y el suelo de tipo infraestructura tiene 328,70 ha de terreno ocupado.



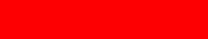

Tabla 4. Distribución porcentual de la superficie de la Isla Santa Cruz para 1991 y 2023

Clase	Área (%)	
	1991%	2023%
Eriales	16.03	32.10
Agropecuario	7.76	5.94
Infraestructura	0.11	0.32
Vegetación Natural	76.08	61.62
Total	100	100

La Tabla 4 presenta la distribución porcentual de las clases en el área de estudio. En el año 1991, el suelo con vegetación natural abarcaba el 76.08% del área total de la zona de estudio, seguido por el 16.03% de suelos de tipo eriales. Los suelos destinados a actividades agropecuarias representaban el 7.76%, mientras que el suelo destinado a infraestructura ocupaba una proporción menor, con un 0.11% del área total.

En contraste, para el año 2023, los suelos con vegetación natural representan el 61.62% del área total de la zona de estudio, mientras que los suelos de tipo eriales aumentaron su participación al 32.10%. Los suelos dedicados a actividades agropecuarias representan el 5.94% del área utilizada, y los suelos con infraestructuras ocupan el 0.32% del área total.

Tabla 5. Pérdidas y ganancias de las zonas clasificadas entre 1991 y 2023

Clase	Simbología	Ganancia o pérdida (%)
Eriales		16.06
Agropecuarios		-1.81
Infraestructura		0.21
Vegetación Natural		-14.46

La Tabla 5 expone la variación en el área ocupada por cada clase entre los años 2023 y 1991. Las clases que experimentaron cambios más significativos fueron los suelos de tipo eriales, los cuales evidenciaron un aumento del 16.06% en el área ocupada en 2023. Esta expansión podría atribuirse al abandono de tierras productivas. En contraste, el área ocupada por vegetación natural experimentó una pérdida del 14.46% entre 2023 y 1991, posiblemente debido a la disminución de la actividad agrícola en el pasado, el crecimiento poblacional y el incremento de los suelos eriales.

En cuanto a los suelos agropecuarios, se observa una disminución del 1.81% en el área ocupada en 2023 en comparación con 1991, lo cual podría asociarse al abandono de tierras productivas y la búsqueda de terrenos no explotados que cumplan con las condiciones necesarias para la producción y satisfacción de la demanda poblacional.

El suelo destinado a infraestructura experimentó un ligero crecimiento del 0.21% en 2023 respecto a 1991. Aunque su aumento es relativamente pequeño en comparación con las variaciones en otras clases de uso de suelo, su comportamiento se atribuye a las normativas locales establecidas en las Islas Galápagos en general.

Índice Kappa

Se aplicó el índice de coeficiente Kappa para verificar la validez de estudio a cada año estudiado, mediante la herramienta implementada en el software QGIS, utilizando los valores del índice van de 0 a 1, donde el valor más alto describe una fuerza de concordancia muy buena y, el valor más bajo es relacionada a una fuerza débil sobre el modelamiento.

A partir de la selección de 200 puntos aleatorios distribuidos en 50 puntos por cada clase, se obtuvieron los valores asignados por la clasificación supervisada y por los valores observados por el usuario obteniendo la siguiente matriz para el año 1991.

En el Tabla 6, los puntos aleatorios por clase describen que la clase de suelo agropecuario cuenta con 48 concordancias, seguido de vegetación natural con 46, suelos eriales con 45 y suelos con infraestructura con 44 concordancias.

Tabla 6. Índice de Kappa para el año 1991

Clases	Eriales	Agropecuario	Infraestructura	Vegetación natural	Total
Eriales	45	0	2	1	48
Agropecuario	1	48	2	1	52
Infraestructura	2	1	44	2	49
Vegetación natural	2	1	2	46	51
Total	50	50	50	50	200

Tabla 7. Descripción de la precisión de la clasificación para el año 1991

Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	Índice Kappa	Índice Kappa %
Eriales	6	10				
Agrícola	8	0				
Infraestructura	10	0	0.915	91.5	0.886	88.7
Vegetación natural	10	0				

Tabla 8. Descripción de la precisión de la clasificación para el año 2023

Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	Índice Kappa	Índice Kappa %
Eriales	2	4				
Agrícola	6	0				
Infraestructura	0	0	0.975	97.5	0.9666	96.7
Vegetación natural	2	0				

En la Tabla 7. Describe que la precisión global es del 91.5% del modelo de clasificación supervisada con un 88.7% de coeficiente Kappa, teniendo un nivel de concordancia alta entre el geoprocesamiento y el usuario. Para la imagen satelital del año 2023, se realizó el mismo procedimiento, con 200 puntos aleatorios distribuidos para cada clase con 50 puntos cada uno, obteniendo los siguientes valores representados en la siguiente matriz.

Los puntos aleatorios por clase indican que existe una alta concordancia entre el geoproceso de clasificación supervisada y la interpretación del usuario para las clases de suelo agropecuario y vegetación. A continuación, se observa que la clase de suelos eriales presenta 48 concordancias, seguida por la clase de suelo de infraestructura con 47 concordancias.

En la Tabla 8, se detalla que la precisión global del modelo de clasificación supervisada es del 97.5%, con un coeficiente Kappa del 96.7%. Estos resultados indican un alto nivel de concordancia entre el geoprocesamiento y la interpretación del usuario. El índice Kappa, que varía de 0.86 a 0.96, demuestra una fuerza de concordancia muy buena en el trabajo de investigación. Se alcanza un 91% de validez en el modelamiento basado en la técnica de clasificación supervisada.

Tras analizar los cambios en el uso del suelo en el área de estudio y constatar la pérdida de vegetación natural, el aumento de suelo agropecuario y de infraestructura entre 1991 y 2023, se evidencia que estos cambios son consecuencia de las actividades antrópicas. Como parte de este análisis, se propone un conjunto de estrategias para el desarrollo sostenible, orientadas al manejo adecuado del suelo en la isla Santa Cruz.

Lange (2018) generó una cuantificación de la deforestación y el cambio de cobertura de suelo en la ciudad de Puerto Ayora en el periodo del 2001-2017 utilizando imágenes de los satélites Landsat 5 y 8 logrando describir el cambio presentado en la zona de estudio a lo largo del lapso temporal de 16 años. Se muestra que existe un cambio en las dimensiones del terreno de vegetación cediendo paso al crecimiento de la zona antrópica disminuyendo el terreno de vegetación del 56.35% del área de estudio al 32.7% del área total, lo que resulta en una disminución significativa, lo propio ocurre con los cuerpos de agua reduciéndose de un 0.7% a un 0.007%, en cuanto a los valores del área antrópica, aumentó de un 43.58% de la superficie de estudio a un 67.3%. En términos de área y refiriéndose a la Vegetación del área de estudio podemos observar que desde el 2001 ha sufrido una disminución progresiva de superficie, pasando de tener 1.49 km² para el año 2001, a solo 0.86 km² para 2017, cabe recalcar que el periodo de deforestación más evidentemente agresivo ha sido entre los años 2015 a 2017 en los que la vegetación ha sufrido una disminución en tan solo dos años de prácticamente la mitad del periodo comprendido entre 2001 y 2010, considerablemente mayor, en escala temporal.

Tarapues (2015) examinó el cambio urbano en Puerto Baquerizo Moreno - Galápagos a través de la utilización de imágenes proporcionada por el satélite Landsat, aplicando la técnica de clasificación supervisada, procedió a evaluar la variación de cambio de los distintos años y como resultado obtuvo que superficies impermeables (asfalto, cemento, techos de zinc) aumentaron considerablemente, implicando la disminución de la cobertura vegetal y cambios de los usos de suelo desde el año 1985 al 2013, debido a factores como:

actividades antropogénicas, pérdida de la diversidad forestal, aumento de la población, construcciones de infraestructura, Esta investigación concuerda, puesto que se analizaron los cambios de uso del suelo en un lapso de 32 años en la isla Santa Cruz, se utilizaron las imágenes proporcionadas por los satélites: Landsat 5 y Landsat 7, aplicando la misma técnica mencionada de clasificación supervisada observando un cambio significativo.

Balón y Vera (2019) examinaron en su estudio de campo que los suelos de las islas Galápagos tienen características volcánicas con propiedades únicas, El uso agrícola puede afectar de manera significativa al suelo y su funcionamiento al momento de generar presión hacia la tierra por incremento de productos agrícolas, Su investigación tuvo como finalidad generar conocimiento a la población sobre el uso del suelo para recomendar su uso sostenible en las islas habitadas, Este estudio concuerda ya que se estima que el uso de suelo destinado a actividades agropecuarias afecta a otros suelos con vegetación natural, además, la presente investigación propuso estrategias de desarrollo sostenible para el correcto manejo del suelo destinado a la población y entidades públicas y privadas.

Cayambe y Simancas (2020) estudiaron la cobertura vegetal mediante SIG para formulación de medidas de recuperación de espacios degradados en la cuenca alta del Río Jubones, utilizaron imágenes satelitales que se obtuvieron de diversas fuentes públicas o privadas para la realización de mapas temáticos, generaron planes estratégicos sobre el cuidado del ecosistema, diferenciando los territorios en el área a intervenir, dirigiendo de manera correcta los mecanismos de recuperación, asegurando la sostenibilidad y sustentabilidad en la cuenca alta, Con este autor se concuerda, puesto que se utilizaron imágenes satelitales las cuales fueron obtenidas de plataformas públicas y privadas para realizar mapas temáticos, posteriormente plantear estrategias de desarrollo sostenible sobre el correcto manejo del terreno y de los recursos naturales existentes, además indicando las zonas afectadas para implementar la reforestación en suelos perturbados con especies endémicas propias de la zona de estudio.

Como lo corroboran Mas *et al.* (2009) en su análisis sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo, donde discuten la importancia de estas evaluaciones presentando importantes procesos en el que destaca la deforestación, como resultados obtuvieron un importante incremento de los pastizales y cultivos en ciertas regiones, así como un decremento de las áreas forestales, Este estudio concuerda con la presente investigación puesto que se realizaron las evaluaciones y modelamientos mediante sistemas de información geográfica sobre los cambios de uso del suelo en la zona de estudio, además, son de gran aporte para el análisis y prevención en la pérdida de cobertura vegetal natural.

Por su parte Guayllas (2015) realizó un análisis multitemporal sobre el uso del suelo en el cantón Cuenca, en el cual sus resultados indicaron que los factores causantes de la alteración de los usos de suelo fueron: el incremento de

las acciones humanas y evolución natural del hábitat, Dichos resultados concuerdan con la presente investigación en donde se constató que los factores causantes de la pérdida de usos del suelo son las actividades agropecuarias y el crecimiento de la brecha urbana, además, del constante cambio de manera natural que se genera en los ecosistemas a través del año.

Conclusiones

Los principales usos del suelo en la zona de estudio son los eriales y la vegetación Natural. Aunque este último ha experimentado una considerable pérdida de cobertura en la isla, aún representa más del 60% de la cobertura total. En contraste, los terrenos eriales han ganado aproximadamente un 16% de la cobertura total de la isla. En cuanto a la Infraestructura y los terrenos de uso Agropecuario, los cambios en los usos del suelo son poco significativos, siendo la infraestructura la clase que ocupa menos superficie en la isla, seguida por la superficie destinada a actividades agropecuarias.

La transición observada en la cobertura de la isla resulta preocupante, especialmente en el contexto del avance de los terrenos Eriales y el retroceso de la cobertura Vegetal Natural. Otro punto para destacar, aunque con un impacto positivo, es la disminución de los terrenos destinados a actividades Agropecuarias. Aunque no ocupan una extensión tan grande como los Eriales, han experimentado una pérdida aproximada de 1800 hectáreas, lo cual es considerable en términos de producción, considerando que la Isla Santa Cruz es predominantemente rocosa debido a su origen volcánico, lo que naturalmente limita la disponibilidad de nutrientes para cultivos productivos.

Las propuestas desarrolladas para la implementación se alinean con el desarrollo sostenible de la isla, siempre y cuando se realice un correcto ordenamiento y manejo del territorio de manera controlada y rigurosa en todos los niveles. El objetivo es preservar y optimizar el uso de los recursos existentes en el territorio, creando un proceso de mejora continua a través de acuerdos y cumplimiento de la jurisdicción del régimen especial.

Los productores están dispersos, lo que se evidencia en la relación entre la superficie total de cultivo (2,650 ha) y la superficie promedio de cultivo por productor (2.5 ha), lo que dificulta la organización e incursión.

Referencias bibliográficas

- Almeida, P. y Guevara, C. (2015). Uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y tecnología espacial para la conservación de los ecosistemas de Galápagos mediante la generación de información básica y de cobertura vegetal y uso del suelo. *Universidad de las Fuerzas Armadas*. [Tesis de maestría, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12393>

- Balón, F. y Vera, E. (2018). Análisis de fertilidad de los suelos agrícolas de las Islas Galápagos-Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana. *Universidad Central del Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador] <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f05b9dc7-7124-4d50-81fb-9b6ab019ab8f/content>
- Barreto, D. (2018). Evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos. *Universidad Estatal Amazónica*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica] <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/489>
- Cayambe, M. y Simaneas, P. (2020). Estudio de cobertura vegetal mediante SIG para formulación de medidas de recuperación de espacios degradados en la cuenca alta del río Jubones. *Universidad Agraria del Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador] <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SINMANCA%20QUIZHPE%20PABLO%20IVAN.pdf>
- Del Toro, N., Gomariz-Castillo, F., Cánovas-García, F. y Alonso-Sarria, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del río Argos (Región de Murcia). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (67). <https://doi.org/10.21138/bage.1828>
- Domínguez, G. (2011). Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la trascolación en la isla Santa Cruz. *Escuela Politécnica Nacional*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional] <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3982>
- García, L. (2021). Tipos de uso de suelo y sus características. *Nocnok*. <https://crm.nocnok.com/blog-inmobiliario/tipos-uso-de-suelo>
- Guaillas, M. (2015). Análisis de cambio de cambios de usos de suelo multitemporal en el cantón Cuenca. *Universidad del Azuay*. [Tesis de maestría, Universidad del Azuay] <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4935?locale=es>
- Lange, G. (2018). Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo de la ciudad de Puerto Ayora-Santa Cruz mediante el uso de la teledetección y sistemas de información geográfica. *Universidad de Guayaquil*. [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil] <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29495>
- Mas, F., Velázquez, A. y Courtier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental Ciencia y Política pública*. https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/La_evaluacion_de_los_cambios_de_cobertura-uso_de_suelo_en_la_Republica_Mexicana.pdf
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2020). Parque Nacional Galápagos, Puerto Ayora, Santa Cruz. *Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-galapagos/>
- Muñoz, A. (2015). La contradicción del turismo en la conservación y el desarrollo en Galápagos – Ecuador. *Estudios y perspectivas en turismo*, 24(2), 399-413. <https://www.cieturisticos.com.ar/wp/2015/04/01/v24-n2/>
- Nájera, G., Serrano, B., Lemus, C. y Flores, M. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, 1(1), 19-29. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.01.03>
- Plan Galápagos. (2016). Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos, Galápagos: Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos. *Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos*. <https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-de-galapagos/>
- PlanetScope. (2022). Planet imagery product specifications. *Planet*. <https://acortar.link/0fwytQ>
- Saldaña, V. (2019). Análisis de los cambios de cobertura y usos del suelo con imágenes satelitales con imágenes satelitales del distrito de Chancay años 2001 y 2018. *Universidad Nacional de Cajamarca*, Perú. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca] <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2990>
- Tarapues, A. (2015). Evolución Urbana en Puerto Baquerizo Moreno. *Universidad San Francisco de Quito*, Ecuador. [Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito] https://rraae.cedia.edu.ec/Record/USFQ_8ab057498258bcde74f6f724a716dd2e
- U.S.G.S. (2021). *Landsat 4-7 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide*. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1618_Landsat-4-7_C2-L2-ScienceProductGuide-v4.pdf

