



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DEL RECURSO SUELO EN EL CANTÓN
SALINAS PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE
TELEDETECCIÓN Y ANÁLISIS ESPACIAL MULTITEMPORAL**

AUTORA

SELLÁN VILLÓN MARÍA DE LOS ÁNGELES

TUTOR

ING. ELVIS RENATO FLORES ABAD MSc.

GUAYAQUIL, ECUADOR

2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL RECURSO SUELO EN EL CANTÓN SALINAS PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y ANÁLISIS ESPACIAL MULTITEMPORAL** realizado por la estudiante **SELLÁN VILLÓN MARIA DE LOS ANGELES**; con cédula de identidad N° 0953529781 de la carrera **INGENIERIA AMBIENTAL**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Elvis Renato Flores Abad MSc.

Guayaquil, 05 de octubre del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL RECURSO SUELO EN EL CANTÓN SALINAS PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y ANÁLISIS ESPACIAL MULTITEMPORAL", realizado por la estudiante SELLÁN VILLÓN MARIA DE LOS ANGELES, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. JAIME CADENA ITURRALDE, M.Sc.
PRESIDENTE

ING. RAQUEL GÓMEZ CHABLA, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. ELVIS FLORES ABAD, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 25 de septiembre del 2026

DEDICATORIA

Primero quiero agradecer a Dios, por acompañarme en cada etapa de mi vida y darme la fortaleza necesaria para nunca rendirme ante las dificultades.

Segundo a mis pilares fundamentales Walter Sellán e Irma Villón por ser mis guías en todo este camino, sin ellos no lo podría haber logrado, cada meta alcanzada es también el reflejo de todo el esfuerzo y sacrificio que realizaron para cumplir mis sueños, su pequeña hija siempre estará agradecida por eso.

A mis hermanas, Karen y Dennisse que estuvieron en esos momentos donde me rendía y siempre me alentaron para seguir.

A mis abuelos, Jorge (+), Lelia, Enedina y en especial a mi papi Domingo (+) quien fue mi fuente de inspiración para elegir el lugar de estudio, espero que donde estés sigas estando orgulloso de tu nieta.

Asimismo, agradecer a mi novio y compañero de aventuras, Carlos Freire por ser mi calma en medio de la tormenta, por celebrar cada logro mío así sea pequeña y por impulsarme en cumplir mis sueños.

A mi amiga incondicional Mayerlin, gracias por tu amistad, compañía y apoyo constante a lo largo de este recorrido académico.

Y a mi fiel amigo de cuatro patas, Lucky quien en su silencio fue mi consuelo y compañía en cada noche de desvelo.

Este logro es por y para ustedes que siempre confiaron y creyeron en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, por cada consejo, esfuerzo y confianza que depositaron en mí.

A Carlos por siempre tener palabras de motivación en cualquier circunstancia y por permitirme soñar en grande.

Asimismo, extendiendo mi sincero agradecimiento al Ing. Elvis Flores y al Ing. Daniel Tobalina quienes compartieron sus conocimientos y cuyas enseñanzas fueron parte fundamental para la culminación de este trabajo académico.

Y a quienes de manera directa o indirecta contribuyeron en mi formación académica y personal, con cada uno estaré eternamente agradecida.

AUTORIZACIÓN DE AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, **SELLÁN VILLÓN MARIA DE LOS ANGELES** en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **"EVALUACIÓN DEL RECURSO SUELO EN EL CANTÓN SALINAS PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y ANÁLISIS ESPACIAL MULTITEMPORAL."** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 05 de octubre del 2026



SELLÁN VILLÓN MARIA DE LOS ANGELES

C.I. 0953529781

RESUMEN

Para las zonas costeras del Ecuador la degradación del recurso suelo y la expansión urbana descontrolada representan grandes desafíos para la sostenibilidad de los ecosistemas. El presente análisis de investigación tuvo como objetivo evaluar el estado del recurso suelo en el cantón Salinas provincia de Santa Elena durante los periodos 2000, 2013, 2024 desde una perspectiva multitemporal, por medio de técnicas de teledetección espacial y Sistemas de información geográfica. Las imágenes satelitales multiespectrales provinieron del satélite Landsat mediante la plataforma USGS Glovis, estas fueron reunidas e incorporadas desde un punto metodológico. Para analizar el mecanismo de las coberturas se calcularon cinco índices espectrales con el fin de realzar dichas características biofísicas de la zona de estudio, a su vez se efectuó una clasificación de cobertura y uso del suelo esto mediante el algoritmo de Random Forest que se basa en la construcción de múltiples árboles de decisión para ser calculados y obtener una predicción más precisa y estable, la integración de estas técnicas demostraron ser una herramienta para los procesos de degradación, los resultados obtenidos evidenciaron grandes cambios con el paso de tiempo siendo la causa principal, la expansión urbana y el desarrollo de actividades turísticas estos hallazgos reflejaron una base científica para mejorar la planificación territorial orientando estrategias que prioricen las áreas de conservación en el cantón Salinas, contribuyendo en la administración integral de sus recurso naturales.

Palabras claves: Teledetección, Análisis Multitemporal, Índices espectrales, Random Forest, Degradación del suelo, Expansión urbana

ABSTRACT

Soil resource degradation and uncontrolled urban expansion pose major challenges to ecosystem sustainability in Ecuador's coastal regions. This study aimed to evaluate the condition of the soil resource in the Salinas canton, Santa Elena Province, during the years 2000, 2013, and 2024 from a multitemporal perspective using remote sensing techniques and Geographic Information Systems (GIS).

Multispectral satellite images were obtained from the Landsat satellite through the USGS GloVis platform and processed using a methodological framework. To analyze land-cover dynamics, five spectral indices were calculated to characterize the biophysical characteristics of the study area. In addition, land cover and land use classification were performed using the Random Forest algorithm, which constructs multiple decision trees to produce more accurate and stable predictions. The integration of these techniques proved to be an effective tool for assessing soil degradation processes. The results revealed significant land cover changes over time, primarily driven by urban expansion and the development of tourism activities. These findings provide a scientific basis for improving territorial planning by guiding strategies that prioritize conservation areas in the Salinas canton, thereby contributing to the integrated management of its natural resources.

Keywords: remote sensing, multitemporal analysis, spectral indices, Random Forest, soil degradation, urban expansión.

ÍNDICE GENERAL

1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes del problema	1
1.2 Planteamiento y formulación del problema	3
1.3 Justificación de la investigación	4
1.4 Delimitación de la investigación	4
1.5 Objetivo General	5
1.6 Objetivos específicos	5
1.7 Hipótesis	6
2.MARCO TEÓRICO	7
2.1 Estado del arte.....	7
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática	9
2.3 Marco Legal	23
3.MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1 Enfoque de la investigación	30
3.2 Metodología	31
4.RESULTADOS.....	42
4.1 Búsqueda de imágenes satelitales, su preprocesamiento y el diagnóstico inicial de las coberturas y usos de suelo en el cantón Salinas, empleando información secundaria proveniente de instituciones públicas.	42
4.2 Índices espectrales (NDVI, NDBI, BSI, SAVI, NDWI) para detectar áreas con signos de degradación, impermeabilización y pérdida de vegetación natural y cuerpos hídricos.	44
4.3 Coberturas del suelo para los años 2000, 2013 y 2024 mediante imágenes Landsat e índices espectrales, aplicando algoritmos de clasificación supervisada como Random Forest y análisis espacial para cuantificar los cambios en el territorio.....	56

4.4 Soluciones para áreas prioritarias en la gestión y planificación territorial sostenible, a partir del análisis multitemporal de cambios en el uso del suelo y evidencias de degradación ambiental.....	64
5.DISCUSIÓN	66
6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1 Conclusiones	68
6.2 Recomendaciones	68
7.BIBLIOGRAFÍA	70
8.ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fechas de Lanzamiento de los satélites Landsat	18
Tabla 2. Matriz de la Variable Dependiente	31
Tabla 3. Matriz de la Variable Independiente.....	31
Tabla 4. Leyenda temática coberturas de uso de suelo del cantón Salinas	34
Tabla 5. Fecha de descarga de imágenes satelitales	42
Tabla 6. Rangos de cobertura NDVI	45
Tabla 7. Rangos de cobertura NDBI	47
Tabla 8. Rangos de cobertura BSI.....	48
Tabla 9. Rangos de cobertura SAVI	50
Tabla 10. Rango de coberturas NDWI	51
Tabla 11. Selección de píxeles puros 2000	52
Tabla 12. Selección de píxeles puros 2013	53
Tabla 13. Selección de píxeles puros 2024	53
Tabla 14. Matriz de confusión 2000	58
Tabla 15. Matriz de confusión 2013	59
Tabla 16. Matriz de confusión 2024	60
Tabla 17. Matriz de rendimiento 2000.....	60
Tabla 18. Matriz de rendimiento 2013.....	61
Tabla 19. Matriz de rendimiento 2024.....	61
Tabla 20. Matriz de cobertura de uso del suelo año 2000 al 2013.....	63
Tabla 21. Matriz de cobertura de uso del suelo año 2013 al 2024.....	63
Tabla 22. Matriz de cobertura de uso del suelo año 2000 al 2024.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación del área de estudio.....	5
Figura 2. Esquema del perfil del suelo	10
Figura 3. Sistema de Teledetección	15
Figura 4. Representación de un Sensor Pasivo y Activo	17
Figura 5. Comportamiento de la vegetación en el infrarrojo	20
Figura 6. Etapas del desarrollo metodológico.....	33
Figura 7. Mapa Combinado 2000 - 2013 - 2024	43
Figura 8. Mapa de cobertura de uso de suelo período 2000 - 2022	44
Figura 9. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	45
Figura 10. Índice de Áreas Urbanizadas de Diferencia Normalizada (NDBI)	46
Figura 11. Índice de Suelo Desnudo (BSI)	48
Figura 12. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).....	49
Figura 13. Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI).....	51
Figura 14. Áreas de entrenamiento 2000	55
Figura 15. Áreas de entrenamiento 2013	55
Figura 16. Áreas de entrenamiento 2024	56
Figura 17. Random Forest periodo 2000 - 2013 - 2024.....	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Índice espectral NDVI.....	20
Ecuación 2: Índice espectral NDBI.....	21
Ecuación 3: Índice espectral BSI	21
Ecuación 4: Índice espectral SAVI	22
Ecuación 5: Índice espectral NDWI.....	22
Ecuación 6: Bandas Landsat 5 y 7 (NDVI).....	35
Ecuación 7: Bandas Landsat 8 (NDVI)	35
Ecuación 8: Bandas Landsat 5 y 7 (NDBI).....	36
Ecuación 9: Bandas Landsat 8 (NDBI)	36
Ecuación 10: Bandas Landsat 5 y 7 (BSI)	36
Ecuación 11: Bandas Landsat 8 (BSI)	36
Ecuación 12: Bandas Landsat 5 y 7 (SAVI)	37
Ecuación 13: Bandas Landsat 8 (SAVI).....	37
Ecuación 14: Bandas Landsat 5 y 7 (NDWI).....	37
Ecuación 15: Bandas Landsat 8 (NDWI)	37
Ecuación 16: Cálculo de tasa de cambio	39
Ecuación 17: Cálculo de cambio relativo porcentual.....	39
Ecuación 18: Fórmula de Accuracy	40
Ecuación 19: Fórmula de Precision	40
Ecuación 20: Fórmula de Recall	40
Ecuación 21: Fórmula de F1 score	41

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO y ITPS, 2015) un tercio de los suelos a nivel mundial ya presenta signos de deterioro, debido a prácticas inadecuadas como la deforestación, el uso excesivo de terrenos agrícolas y los efectos del cambio climático, esta situación compromete la seguridad alimentaria y la estabilidad de los ecosistemas, resaltando la importancia de integrar tecnologías avanzadas como la teledetección y los análisis espaciales multitemporales.

El principal objetivo de evaluar los recursos edáficos radica en determinar las características del suelo presentes en una zona e identificar las mejores estrategias de gestión y el potencial de la tierra para usos agrícolas y/o de otro tipo, proporcionando predicciones detalladas de los atributos individuales del suelo y la tierra con la precisión y exactitud requerida por los usuarios en el espacio y el tiempo (Bui y Searle, 2020).

En la actualidad, la agricultura y la ganadería son los principales motores de la degradación del territorio a escala global. Estas prácticas, si bien esenciales para la subsistencia humana, a menudo conllevan la erosión, la pérdida de nutrientes y la compactación del suelo. A nivel más localizado, la minería y la industria también plantean una amenaza igualmente grave, provocando la destrucción física o la contaminación química irreversible de los suelos (Scalenghe y Marsan, 2009).

No obstante, aún existen pocas investigaciones sobre cómo la degradación del suelo afecta a su entorno, su complejidad impide medirla con un simple indicador numérico, razón por la cual la teledetección se presenta como una técnica contemporánea que ayuda a abordar las dudas y proporciona información exacta sobre la erosión del suelo, lo que permite localizar las áreas más susceptibles (Bindraban et al., 2012).

La teledetección nos permite generar la posibilidad de adquirir rápidamente datos de grandes áreas con resolución espacial detallada, estas tecnologías posibilitan la observación del estado de la superficie terrestre a lo largo del tiempo, la identificación de cambios en el uso del suelo y la anticipación de áreas con alto riesgo de degradación, todo ello sin requerir intervenciones físicas costosas o invasivas (Žížala et al., 2017).

En Ecuador, cerca del 47% de su territorio refleja signos de deterioro del suelo, por causas de múltiples factores que han reducido significativamente los nutrientes esenciales que proporcionan fertilidad al mismo; las provincias más afectadas por este fenómeno son Manabí, Santa Elena y Guayas, que concentran un 22,9% del área degradada. Normalmente, estas regiones pertenecen a zonas costeras, influenciadas por peculiaridades climáticas (Balseca, 2021).

En lo que respecta a la zona costera de Ecuador, los conflictos sociales y ambientales emergen regularmente debido a que más del 60% de los habitantes están involucrados en labores agrícolas que no generan suficientes beneficios económicos. Además, las técnicas utilizadas no son sostenibles, contribuyendo a la degradación de los suelos, la deforestación y contaminación de cuerpos de agua, afectando directamente en el bienestar de las comunidades locales (Pacheco, 2019).

En el cantón Salinas, situado en la provincia de Santa Elena, el crecimiento urbano y turístico ha sido rápido en los años recientes. Se ha revelado un incremento significativo en la población y el uso del suelo para actividades comerciales y residenciales. Esta transformación del paisaje ha generado una presión evidente sobre los ecosistemas naturales, especialmente en las áreas costeras (Álvarez, 2014).

Dentro de las parroquias y zonas rurales de Salinas, en donde están menos urbanizadas, se encuentran sometidas a la gentrificación y al crecimiento de áreas inmobiliarias, donde las parroquias rurales representan casi un 23% de su población total siendo el turismo estacional y pesca sus economías fundamentales, a pesar de su gran expansión urbana que pone en peligro a frágiles manglares aún se llegan a conservar parte de su diversidad biológica (Murillo, 2022).

Es por ello, que se considera de suma importancia conocer el cambio de coberturas y usos del suelo en el Cantón Salinas en los últimos años, mediante la recopilación de diversas imágenes satelitales y plataformas en línea de manera que se permita identificar el estado actual y las tendencias en la ocupación del suelo para la toma de decisiones acertadas, permitiendo sugerir acciones de mitigación apoyados por el gobierno local tanto en su conservación y el buen uso de los suelos para un desarrollo más sostenible.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del Problema

En los últimos años, aproximadamente el 20% del territorio Ecuatoriano equivale a 8926000 hectáreas, encontrándose bajo condiciones sub húmedas-secas, semiáridas, áridas, además un 18,8% del suelo está severamente afectado por los procesos erosivos, principalmente en las tierras de la costa del Pacífico, evidenciado un gran deterioro progresivo del recurso en el cantón Salinas, provincia de Santa Elena, donde el cambio sostenido del recurso suelo ha sido poco abordado desde un enfoque técnico que combine la observación satelital con análisis espacial multitemporal (Sierra, 2013).

En las costas de Santa Elena, la erosión avanza en un ritmo preocupante de 1,3 metros por año en promedio, uno de los principales problemas radica en la gran expansión urbana desordenada que existe, que ha provocado pérdidas de minerales y nutrientes dejando un suelo menos fértil. Además, la deforestación para dar paso a la construcción de nuevas edificaciones y urbanizaciones ha agravado aún más la situación (Pesantes, 2024).

En la actualidad se habla acerca de la salud del suelo, palabras que comprenden sus características físicas, químicas y biológicas que necesitan mantenerse de acuerdo con cada sistema de producción y en equilibrio absoluto, sin embargo, el acelerado crecimiento poblacional ha ocasionado que se amplíe las fronteras agrícolas a áreas protegidas, teniendo un impacto negativo a las reservas naturales (Zenteno, 2022).

En los últimos años, los sistemas de información geográfica han surgido como herramientas clave para el análisis de datos espaciotemporales, y su integración con procesos de teledetección, permiten la adquisición de datos multitemporales de una región específica (Montoya, 2019).

No obstante, en el marco del cantón Salinas, estos métodos aún no se han implementado de forma sistemática para medir la calidad y el progreso del suelo, constituyendo una limitante importante para el diseño de políticas adecuadas.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Cuál es el nivel de afectación del recurso suelo en el cantón Salinas, provincia de Santa Elena, y cómo ha variado en el tiempo mediante el uso de herramientas de teledetección y análisis espacial multitemporal?

1.3 Justificación de la investigación

El deterioro del suelo se presenta como una de las principales amenazas medioambientales de Ecuador, impactando más del 50% de su territorio, estimulado por elementos naturales como antrópicos, poniendo en riesgo las actividades agrícolas, la biodiversidad y el balance ecológico del país (De Noni, 1986).

El objetivo principal de la presente investigación fue analizar el recurso suelo en el cantón Salinas, Provincia de Santa Elena ya que enfrenta varios problemas ambientales durante los últimos años principalmente por la erosión y pérdida de su suelo fértil, el crecimiento urbano, la salinización de terrenos y la utilización incorrecta de tierras, lo que ha provocado procesos de deterioro edáfico de forma acelerada.

Ante esta problemática, existe una carencia de información actualizada y precisa sobre el estado actual del suelo en el cantón Salinas por lo que dentro de este contexto se usa herramientas tecnológicas como la teledetección y análisis espacial multitemporal presentándose como una alternativa eficiente, económico y replicable (Pérez y Muñoz, 2006).

La investigación busca llenar el vacío existente acerca de la degradación en el cantón Salinas mediante monitoreo hacia los cambios del suelo a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos servirán como guía para el diseño e implementación de políticas públicas orientadas a la conservación del suelo y mejora en la calidad de vida de las comunidades cercanas, así mismo se busca un fortalecimiento de las capacidades técnicas en el uso de tecnologías geoespaciales en la región, fomentando un desarrollo equilibrado y respetuoso con el medio ambiente.

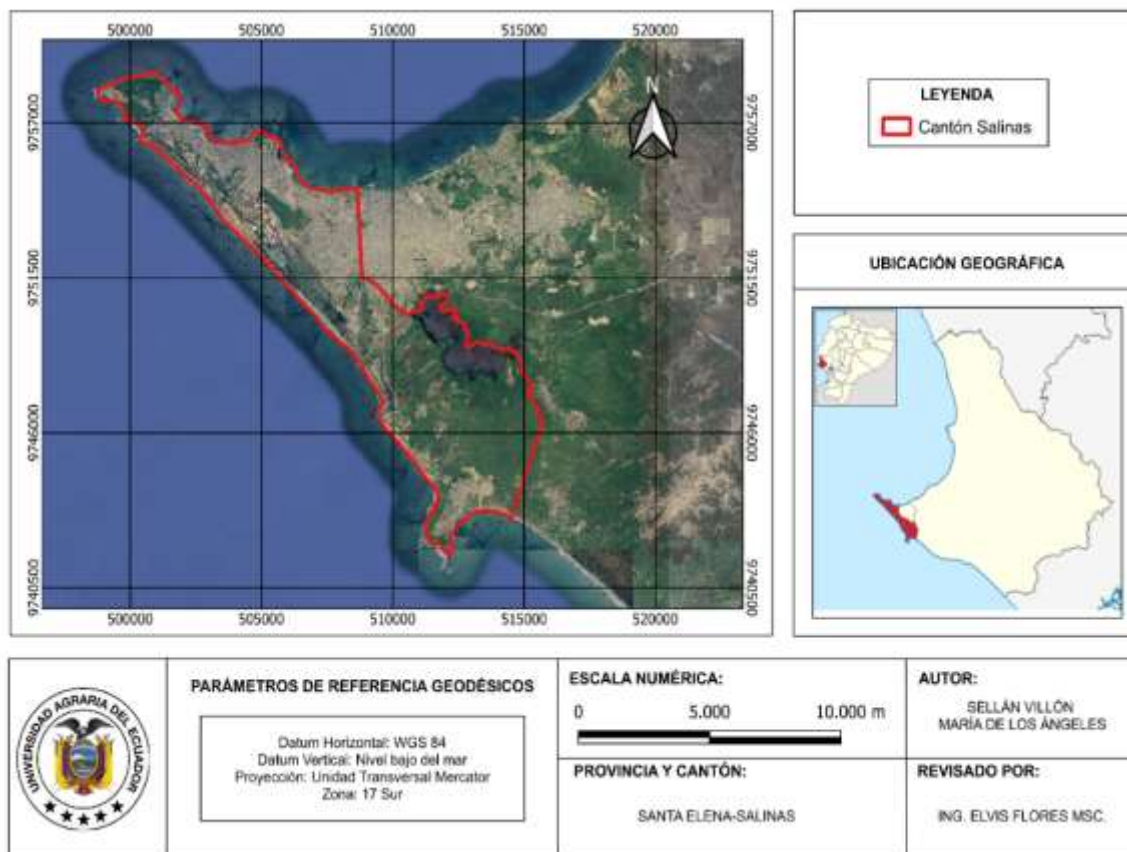
1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** El trabajo de investigación se desarrolló en el cantón Salinas, perteneciente a la provincia de Santa Elena, en la región litoral del Ecuador, se asienta sobre una superficie de 73,57 Km². Sus coordenadas geográficas son Latitud: -2.1230 y Longitud: -80.5805.
- **Tiempo:** Se llevará a cabo en un período aproximado de 8 meses.
- **Población:** El estudio estará enfocado en el sector urbano y rural del cantón Salinas, conformado por los habitantes y autoridades locales. La zona de estudio

está poblada con 90,031 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022).

Figura 1.

Delimitación del área de estudio



Elaborado por: La Autora, 2025.

1.5 Objetivo General

Evaluar el recurso suelo en el cantón Salinas, provincia de Santa Elena entre los años 2000 y 2024 mediante análisis multitemporal de coberturas del suelo e índices espectrales derivados de imágenes Landsat, con el fin de contribuir a la identificación de áreas prioritarias para la gestión territorial sostenible.

1.6 Objetivos específicos

- Realizar la búsqueda de imágenes satelitales, su preprocesamiento y el diagnóstico inicial de las coberturas y usos de suelo en el cantón Salinas, empleando información secundaria proveniente de instituciones públicas.
- Aplicar índices espectrales (NDVI, NDBI, BSI, SAVI, NDWI) para detectar áreas con signos de degradación, impermeabilización, pérdida de vegetación natural y

cuerpos hídricos, mediante combinaciones de bandas espectrales para identificar patrones espaciales y temporales.

- Clasificar las coberturas del suelo para los años 2000, 2013 y 2024 mediante imágenes Landsat e índices espectrales, aplicando algoritmos de clasificación supervisada como Random Forest y análisis espacial para cuantificar los cambios en el territorio.
- Proponer áreas prioritarias en la gestión y planificación territorial sostenible, a partir del análisis multitemporal de cambios en el uso del suelo y evidencias de degradación ambiental, para la toma de decisiones de las autoridades locales.

1.7 Hipótesis

La afectación al recurso suelo en el cantón Salinas, de la provincia de Santa Elena, ha aumentado en al menos un 15% la superficie urbana en las últimas décadas, lo que ha mostrado una disminución proporcionalmente directa de las coberturas del suelo natural, representando un mayor impacto negativo en la zona de estudio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del Arte

El suelo representa un sistema natural complejo constituido por aire, agua, minerales y materia orgánica, esenciales para el mantenimiento de la vida vegetal. Sin embargo, su deterioro constante y acelerada se ha convertido en un desafío significativo tanto a nivel global como en el ámbito local. El aumento poblacional ha intensificado la demanda de alimentos, lo que ha llevado al ser humano a intensificar el uso agrícola del suelo. Entre las formas de degradación más preocupantes es la compactación, que disminuye la porosidad del suelo, afectando negativamente su capacidad de aireación, el intercambio gaseoso, la retención de humedad y el desarrollo adecuado de las raíces (Romero, 2017).

A pesar de ser un recurso indispensable para la producción de alimentos, fibras y nutrientes necesarios para la vida humana, el suelo a menudo no suele recibir la atención ni el cuidado que merece. A lo largo del tiempo, el uso inadecuado y la sobreexplotación de los suelos han sido factores determinantes en el agotamiento de este recurso vital. Actualmente, las prácticas agrícolas intensivas y la expansión industrial generan procesos como la erosión, la salinización y la contaminación, los cuales deterioran la calidad del suelo hasta niveles muchas veces irreversibles, esta degradación progresiva ha llevado a que más del 25 % de las tierras productivas del planeta se encuentren en estado de deterioro (Kapur y Akça, 2020).

De acuerdo con Luna (2022), a nivel mundial, el recurso suelo está sometido a diversas presiones como urbanización, deforestación, sobrepastoreo entre otros factores, afectando al cambio climático a mediano y largo plazo.

Esta pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y el cambio climático, aunque se manifiestan con distinta intensidad, están estrechamente vinculados como expresiones de una crisis ambiental generalizada. Diversos estudios indican que la deforestación es considerada una de las principales causas de la erosión del suelo, además es responsable de aproximadamente el 10 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Benavides y Gallego, 2023).

Entre los años 2000 y 2009, las emisiones anuales generadas por tierras degradadas alcanzaron un promedio de 4.400 millones de toneladas de CO₂, cifra

que aumentó significativamente hasta llegar a 36.300 millones de toneladas en el año 2021.

En las últimas cinco décadas, los avances tecnológicos en información espacial, y especialmente la tecnología de teledetección satelital ha proporcionado medios avanzados de detección e investigación para la investigación de los recursos de la Tierra, el seguimiento de los cambios ambientales locales y regionales e incluso el estudio de los cambios globales, con las ventajas de ser macro, integral, rápido, dinámico y preciso (Yuan, 2020).

La nueva era del Milenio de la recolección de datos a través de tecnologías de observación de la Tierra y sensores se está utilizando cada vez más para monitorear sectores relacionados con el medio ambiente costero y marino, a medida que estos datos se recopilan de manera rutinaria, podrían proporcionar una base para análisis a escala sinóptica que cubran un área más grande a lo largo de una serie temporal. Además, estos conjuntos de datos son a veces de código abierto y fácilmente accesibles, especialmente cuando la adquisición de datos es realizada por organismos gubernamentales e instituciones, proporcionando un gran volumen de datos accesibles de forma gratuita para análisis y difusión (Newton y Icely, 2020).

América Latina cuenta con abundantes recursos naturales y una multitud de culturas. Gracias a su ubicación tropical, la región se beneficia de prácticas agrícolas y ganaderas más sostenibles en comparación con otras áreas del mundo, pero a su vez existe una gran pérdida de esta (Denny y Cerri, 2024).

Los trabajos agropecuarios que afectan a pequeños y medianos productores en Latinoamérica es un ejemplo muy claro de como impacta la intervención del hombre, aunque estas actividades benefician al ser humano, en la naturaleza provoca un impacto ambiental extremadamente negativo (Ramírez, 2020).

En México a lo largo de las décadas ha existido un gran deterioro de sus suelos a causa de la modernización del campo a través de sus insumos extremos por ejemplo fertilizantes o insecticidas, esto ha ido degradando paulatinamente sus suelos (Etchevers y Cotler, 2020).

Según Yate (2022), mediante estudios realizados en Colombia con la ayuda de imágenes satelitales de diferentes zonas del país, han revelado que los procesos erosivos son más intensos en la región andina en donde hay presiones significativas sobre el uso excesivo de sus suelos.

En Argentina, en sus suelos semiáridos de Chaco existe un punto crítico de deforestación a causa de diferentes prácticas agrícolas en la cual se redujo casi un 18% de su carbono orgánico mostrando un fuerte cambio negativo ambiental con la apropiación humana (Baldassini y Paruelo, 2020).

En estudios realizados por Meza y Torres (2022) en Perú, el sobrepastoreo, la minería y los incendios forestales son los impulsores de aproximadamente 180,123.79 km² de degradación del suelo, y este problema se extiende por todo el país, no obstante, reducir los riesgos de degradación es un proceso difícil y complejo, especialmente en áreas pequeñas.

Según Huera y Labrador (2020) la Amazonía ecuatoriana ha sido fuente de recursos para ciudades tanto a nivel nacional como internacional, estos hechos han tenido importantes consecuencias e impactos ambientales que, con el cambio de uso del suelo, el territorio amazónico se ha visto progresivamente afectado y está disminuyendo gradualmente, dejando tras de sí suelos pobres.

Un estudio realizado por Oñate y Díaz (2024) en las cuencas andinas del Ecuador, se mostró una mayor vulnerabilidad a la erosión causada por la combinación de escasa vegetación, topografía irregular y precipitaciones estacionales significativas así mismo por el avance de urbanizaciones y sobrepastoreo teniendo un alto impacto negativo ambiental.

En un estudio de tesis según Yagual (2020) en el cantón Salinas, provincia de Santa Elena se han experimentado alteraciones en la cobertura del suelo desde principios del siglo XX, a causa de las perforaciones petroleras, lo cual ha representado una problemática recurrente han afectado distintas zonas del cantón.

Por lo tanto, la vulnerabilidad ambiental en el cantón Salinas es elevada, ya que es marcada por la presencia de pozos petroleros, la gran expansión urbana con el paso del tiempo y la reducción de ecosistemas tradicionales como las sales marinas.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Suelo

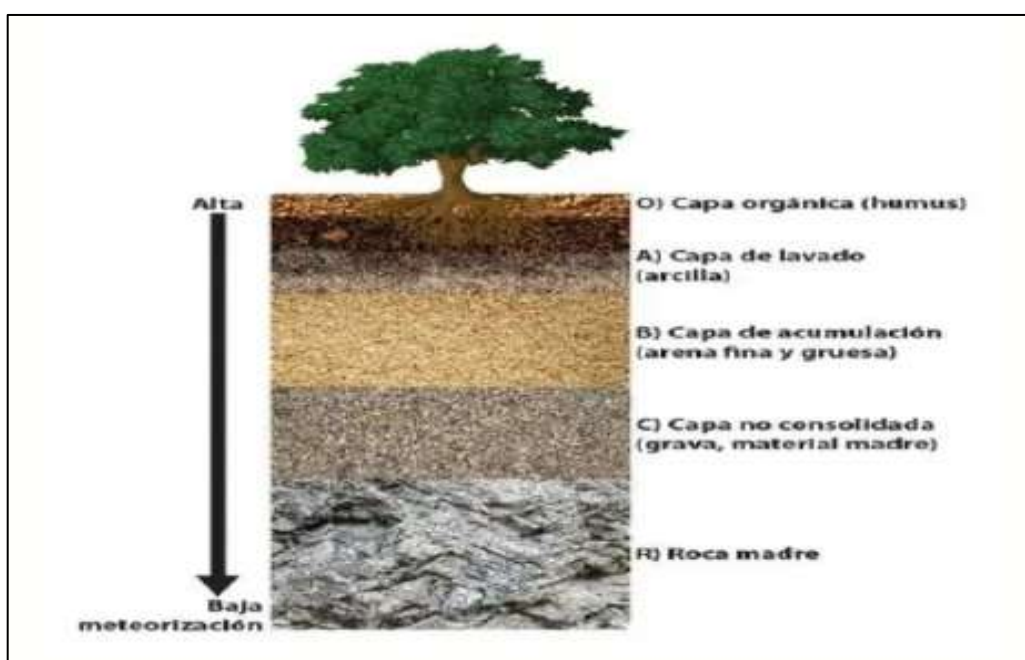
El concepto de “suelos sanos” o “suelos de calidad” hace referencia a aquellos suelos que no solo presentan niveles adecuados de fertilidad, sino que también cuentan con propiedades físicas, químicas y biológicas que les permiten cumplir funciones esenciales dentro de los ecosistemas. Como indica (Stivers, 2023) en términos académicos, la calidad del suelo se define como la capacidad de

un suelo, con características específicas, para sostener la productividad biológica, preservar o mejorar la calidad del agua y del aire, y contribuir al bienestar y la salud humana, actuando como base fundamental para el desarrollo sostenible.

Como nos indica Andrade (2012), el suelo es la capa más delgada de la corteza terrestre y que está en contacto con la atmósfera o las aguas que se ha creado gradualmente debido a una acción conjunta de procesos biológicos, geológicos, climatológicos y geológicos y la importancia del suelo para la vida es que interviene en el ciclo del agua, del carbono, nitrógeno y fósforo además actúa como soporte en muchas de las transformaciones de la energía y de la materia que ocurren en los ecosistemas.

Figura 2.

Esquema del perfil del suelo



Fuente: Apolinario y Durán (2022).

2.2.2 Composición del Suelo

La composición del suelo resulta de la interacción que tienen entre materia mineral, materia orgánica, agua y aire en la cual cada uno tiene sus funciones específicas que determinarán la fertilidad y estructura de suelo.

Según Julca et al. (2006), una primera observación del suelo revela una homogeneidad relativa, no obstante, hay una comunidad subterránea con cadenas tróficas variadas y complejas, que son mantenidas por los productos de las raíces

en la rizosfera. Estas raíces son una fuente de recursos complejos que interacciona con la microflora y fauna del suelo responsable de la mineralización y descomposición de materia orgánica.

2.2.3 Tipos de Suelos

2.2.3.1. Suelos Arcillosos

Los suelos arcillosos se distinguen por su elevada concentración de minerales de arcilla, lo que les confiere propiedades físicas muy particulares. Estos suelos son inherentemente densos y pesados, y se caracterizan por un drenaje deficiente y una aireación limitada. Esto se debe a la capacidad de las diminutas partículas de arcilla para retener grandes volúmenes de agua, transformándose en barro con facilidad. Ejemplos representativos de esta categoría incluyen los vertisoles y ciertos inceptisoles (Ruge et al., 2021).

2.2.3.2. Suelos Arenosos

Generalmente, los suelos arenosos presentan una baja concentración de materia orgánica, lo que repercute directamente en su fertilidad. Esta escasez limita su capacidad para retener nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Como nos indica Piedra et al. (2021), comprender estas cualidades es fundamental para optimizar su manejo, especialmente en actividades como la agricultura o la jardinería, donde la gestión del agua y los nutrientes es crucial.

2.2.3.3. Suelos Limosos

La composición de los suelos limosos está dominada por partículas con un diámetro que oscila entre 0.02 y 0.002 mm. Una de sus propiedades más variables es la permeabilidad, que depende en gran medida de su estructura. Si el suelo tiene una estructura masiva, es decir, sin la formación de agregados estables, su permeabilidad puede ser muy lenta. Sin embargo, para (Valeriano, 2022) es importante destacar que los suelos limosos son susceptibles a la compactación cuando su estructura se altera, lo que puede obstruir la circulación tanto del aire como del agua esta característica los hace vulnerables a la degradación si no se manejan adecuadamente.

2.2.3.4. Suelos Francos

Los suelos francos son aquellos que tienen una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, otorgándoles propiedades físicas y químicas intermedias que ayudan al crecimiento vegetal. Sin embargo, aunque este tipo de suelo es muy ventajoso, su buen manejo es crucial para mantener su fertilidad. De acuerdo con Villagra et

al. (2021), a causa de la degradación del suelo se han convertido en factores limitantes para la producción agrícola por lo que están estrechamente relacionada el deterioro de sus propiedades físicas, químicas e hidrológicas de este tipo de suelos.

2.2.3.5. Suelos Salinos

En un estudio realizado por Rodríguez et al. (2023) los suelos salinos se encuentran ampliamente distribuidos por todo el mundo, provocando una degradación y pérdida de hectáreas con potencial agrícola, en algunos casos incluso resultan en la desertificación o pérdida completa del terreno.

2.2.4 Usos del Suelo

El uso del suelo se entiende como un criterio de carácter socioeconómico que describe la actividad principal que se desarrolla en un espacio específico. Esta clasificación abarca distintos tipos de uso, como el residencial, comercial, industrial o agrícola, entre otros, los cuales pueden organizarse en categorías más detalladas según las características particulares de cada área (Borrás y Delegido, 2017).

2.2.5 Cobertura del Suelo

Según Comber (2005) el concepto de cobertura del suelo varía según la disciplina científica que lo aborde. Para los ecólogos, se refiere a la presencia y densidad de especies vegetales en una determinada área, mientras que, para los edafólogos, representa un indicador relacionado con la composición y clasificación de los tipos de suelo.

En nuestra zona de estudio del cantón Salinas, se puede identificar ecosistemas forestales que por su estado pueden ser considerados de carácter frágil, estos son los bosques secos y manglares así mismo la cobertura principal del cantón la constituyen sus áreas salinas y sus playas turísticas.

2.2.6 Degradación del Suelo

La degradación de los suelos hace referencia a la reducción o alteración negativa de una o más ofertas de bienes, servicios o funciones ecosistémicos y ambientales que tienen el suelo, es provocada por factores ya sean naturales o antrópicos que en situaciones críticas pueden originar la pérdida total del componente ambiental (Pachés, 2015).

2.2.6.1. Procesos de Degradación

2.2.6.1.1 Erosión del Suelo

La erosión del suelo provoca un incremento en la cantidad de sedimentos y una disminución de la fertilidad de este, siendo uno de los desafíos ambientales más importantes a nivel mundial.

No obstante, según Arias et al. (2023) erosión se origina y se propaga debido a agentes naturales como el viento y agua, sin embargo, la extensión y la magnitud de estos procesos dependen del clima, la vegetación y la topografía. Así mismo el agua, bien sea por la lluvia o por el flujo hídrico también es un elemento natural que influye en la erosión del suelo.

2.2.6.1.2 Compactación y Sellado del Suelo

La compactación del suelo supone que se distorsiona y densifica debido a tensiones superiores a su resistencia, las cuales son ejercidas por maquinaria, así mismo puede tener un impacto en la capa superior del suelo o en el subsuelo a profundidades >30 cm esto depende de la frecuencia e intensidad de la tensión (Alaoui y Diserens, 2018).

En un estudio realizado por Ferreira et al. (2022), sellar el suelo significa cubrir permanentemente con materiales artificiales impermeables, como el hormigón o el asfalto esto puede implicar la remoción física del suelo para crear cimientos fuertes en el subsuelo, al ser un procedimiento irreversible resulta con la pérdida de todos los servicios y funciones del suelo así mismo perjudica al patrimonio paisajístico y cultural del sector.

2.2.6.1.3 Desertificación

Los procesos físicos directos más relevantes que causan la desertificación son la salinización, la erosión eólica y la erosión hídrica, es posible que algunos factores tradicionales de la desertificación podrían haber perdido relevancia porque las tierras, sobre todo en el Sur Global, son utilizadas para la agricultura intensiva de riego y las poblaciones se desplazan a las megaciudades, convirtiéndose en un problema cada vez más centrado en las tierras marginales abandonadas, la gestión de los recursos hídricos y el control de la erosión ante el cambio climático global (Kirkby, 2021).

2.2.7 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG), es un sistema que abarca lo que es software, hardware y datos informáticos, así como personal especializado

que facilita el introducir, manipular, analizar y presentar datos, información relacionando una ubicación en la superficie terrestre (Ali, 2023).

En la actualidad la integración de sistemas de gestión proporciona a la investigación geográfica oportunidades en la actualidad, dicho sistema brinda bases teóricas y metodológicas que brindan apoyo en el cambio tecnológico desde sus inicios donde la tecnología digital tiene impacto notable en la ciencia que desean incluir dimensiones espaciales en sus estudios, siendo una evolución que genero un giro espacial (Buzai & Montes Galbán, 2020).

2.2.8 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal, es una parte fundamental del medio ambiente que contribuye a la biodiversidad para la conservación del suelo, la regulación al ciclo del agua pudiendo obtenerse desde la vegetación hasta desechos orgánicos ayudando a proporcionar un hábitat y recursos para fauna natural, contribuyendo a la disminución de erosión del suelo, influyendo al clima a nivel local como regional siendo esencial para el equilibrio y estabilidad del suelo ofreciendo beneficios a los microorganismos (Gaitán & Bran, 2021).

2.2.9 Combinación de la teledetección y los SIG

La combinación de SIG y la teledetección beneficia en varios ámbitos uno de esos es, la planificación urbana, los estudios ambientales y la gestión de recursos naturales, la expansión de estos satélites nos proporcionaran una mejor cobertura y recopilación de datos más consistentes para la aplicación en diversos sectores (Veneros et al., 2020).

2.2.10 Teledetección y uso de las imágenes satelitales para determinar los recursos suelos

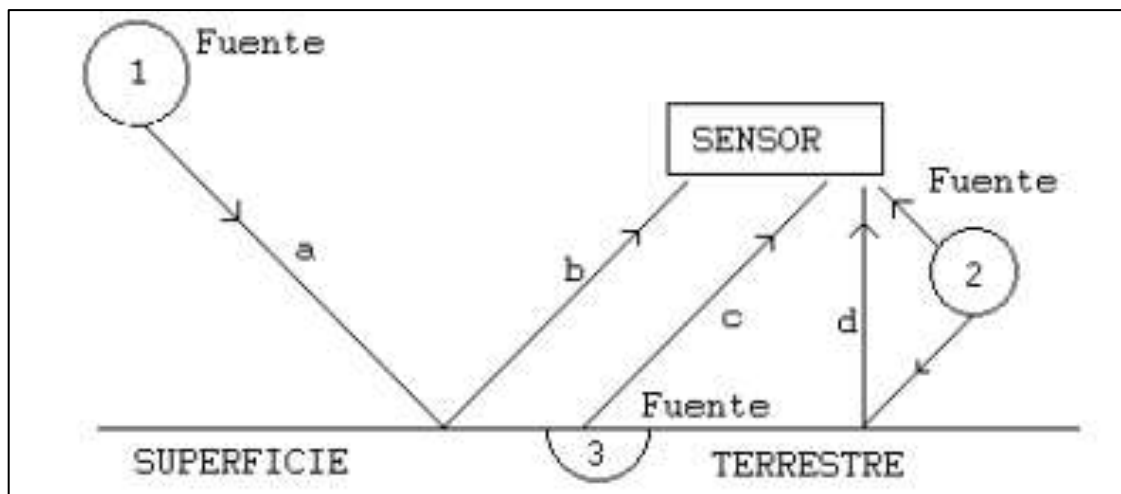
A pesar de que la teledetección tiene un alto potencial para mejorar el conocimiento sobre la naturaleza, aun no se ha logrado todo lo que se esperaba debido a que es necesario hacer perfeccionamientos en cuanto a la resolución espacial, espectral y temporal de los datos. Así mismo se requiere un mayor rigor científico en la interpretación de resultados obtenidos, evitando sacar conclusiones definitivas de investigaciones medioambientales que se han hecho a través de técnicas de teledetección, estos datos deben enfocarse en deshacerse de las consecuencias generadas por la variabilidad en las condiciones de captación, la distorsión provocada por la atmósfera, y el impacto de factores como la ubicación del sol, la pendiente, la exposición y la altitud (Sacristán, 2005).

2.2.11 Componentes básicos de la Teledetección

Un sistema de teledetección para la superficie terrestre, fundamentado en ondas electromagnéticas, se distingue por la presencia de los siguientes componentes: Fuentes, Interacción de ondas electromagnéticas con la superficie terrestre, Interacción de ondas electromagnéticas con la atmosfera y el Receptor (Ormeño, 2006).

Figura 3.

Sistema de Teledetección



Fuente: Ormeño (2006).

2.2.12 Elementos de la teledetección

La radiación incidente interactúa con los objetos de estudio y que es captada por el sensor, un claro ejemplo son los sistemas de imagen que incluyen los elementos de teledetección como la fuente de energía, la radiación, sensores de registros, los análisis y por último el uso practico para aprovechar la información obtenida de las imágenes (Fernández et al., 2020).

2.2.13 Características de las Imágenes y Tratamiento de la Información

Para obtener la medida de teledetección de una imagen en un rasgo agronómico son necesarios los enfoques empíricos, estos modelos se relacionan directo de las medidas con el rasgo en medios estadísticos de interés, así mismo las mecanicistas que envuelven en la producción de ese rasgo y por último la combinación de ambos que se basa en las propiedades espaciales y temporales entre las series de imágenes (Bergdorf et al., 2025).

2.2.14 Sensores Remotos

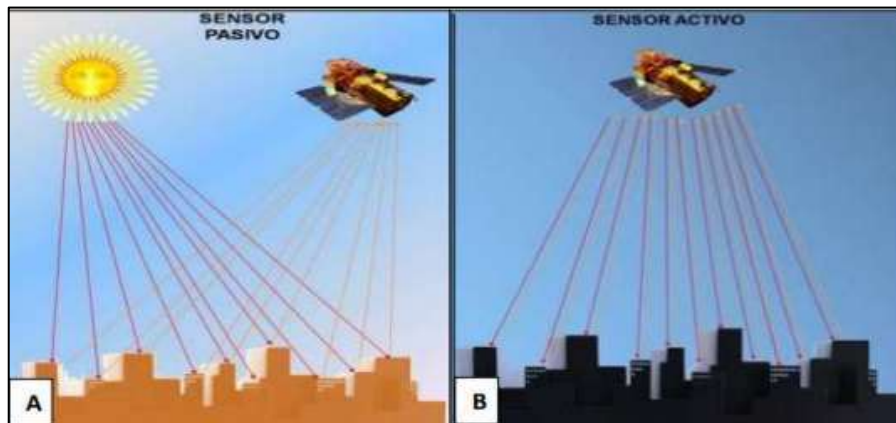
Los sensores remotos son sistemas que se utilizan para obtener de manera rápida y factible la información acerca de un objeto, fenómeno o área a distancia. Según Herrera et al. (2019) esta información se puede procesar e interpretar utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) para obtener una mejor comprensión, estos sensores han sido los más empleados en los últimos años lo cual detectan energía electromagnética que emite o refleja la superficie de un objeto a través de varias bandas del espectro electromagnético. Estos registros abarcan longitudes de onda desde las más breves hasta las más extensas.

2.2.14.1. Sensores Pasivos

La radiación electromagnética es medida por los sensores pasivos que provienen de las coberturas terrestres, ya sea reflejada por los rayos del sol o emitida mediante ondas térmicas, usando sensores hiperespectrales o multiespectrales que determinan la cantidad recibida mediante una diversidad de combinaciones de bandas. En un estudio realizado por González y Otálora (2017), indican que estos sistemas simplemente captan señales emitidas de manera natural y reflejadas por los objetos percibidos, ofreciendo información muy abundante acerca de dichos objetos, estas combinaciones se distinguen por el número de canales (dos longitudes de onda o más), encontrándose en espectros que están dentro y fuera de la visión humana.

2.2.14.2. Sensores Activos

Este sistema produce una señal autónoma, la cual es emitida y reflejada por los objetos, lo que permite medir las propiedades de la señal reflejada. Tienen la capacidad de iluminar totalmente el objeto con su propia fuente de radiación, este procedimiento induce al objeto a reflejar la radiación, y dicha radiación es captada después por el sensor y cuando estos sensores no son suficiente para iluminar el objeto de manera apropiada, se emplean los sensores activos, así mismo pueden operar a cualquier hora del día, ya que no necesitan luz solar y son en cierta medida independientes de las dispensaciones atmosféricas. (Díaz et al., 2014).

Figura 4.***Representación de un Sensor Pasivo y Activo***

Fuente: Instituto nacional de Estadística y Geografía. México, 2014.

2.2.15 Resolución de un Sensor

La resolución de un sensor de satélite está determinada por la cantidad de píxeles que tiene, es decir, es la capacidad para distinguir detalles de un tamaño específico en una imagen capturada por dicho sensor (Sanchez, 2012).

2.2.15.1. Resolución Espacial

La resolución espacial se refiere a la entidad más pequeña que puede ser identificada en la imagen, está constituida por el tamaño del píxel visible en la imagen medida en metros sobre el terreno, esto dependerá de la altura del sensor en relación con la tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneo y las propiedades ópticas del sensor (Sanchez, 2012).

2.2.15.2. Resolución Temporal

La resolución temporal señala la frecuencia de revisita del satélite, es decir, el tiempo que debe transcurrir para que este pueda captar una nueva imagen de un área específica (Sánchez, 2018).

2.2.15.3. Resolución Espectral

La resolución espectral señala cuántas bandas espectrales son registradas por un sensor y cuál es el ancho de estas, la banda es una parte del espectro electromagnético en el que un grupo de detectores del sensor satelital es sensible, y cuanto más estrechas sean dichas bandas, mayor será la resolución espectral (Pérez y García, 2013).

2.2.15.4. Resolución Radiométrica

La resolución radiométrica siendo este un campo convergente con factores de tipo electrónico, informáticos y físico, es entendida como el número de bits que emplea un sensor para cuantificar la medida física de la radiación ($W/m^2/\mu m/sr$), en cambio la caracterización radiométrica es mucho más exacta midiendo a través de la temperatura/reflectancia diferencial equivalente en ruido $NE\Delta T/NE\Delta p$ en el espectro solar/térmico implicando un cambio mínimo de reflectancia/temperatura que puede ser detectado por el sensor (Calle & Salvador, 2012).

2.2.16 Plataformas de Teledetección

Según Martínez y Solíz (2018) las plataformas se refieren a satélites (LANDSAT, METEOSAT, SPOT) o aviones que llevan los dispositivos necesarios para capturar, almacenar y transmitir a distancia las imágenes, denominadas sensores. Existen tres tipos de plataformas de acuerdo con la distancia de la superficie terrestre: áreas, satelitales y en el nivel superficial que pueden ser utilizadas en múltiples investigaciones relacionadas con la cobertura de la tierra, tipos de vegetación, agua, temperatura, etc.

2.2.16.1. Programa Landsat

La idea de emplear datos satelitales para la vigilancia terrestre, la exploración o la cartografía se consideraba una visión futurista antes de 1972, esto se hace realidad con el surgimiento del Programa Landsat, que consiste en una serie de misiones de observación de la Tierra por satélites administrados en conjunto por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), es el programa más extenso hasta la actualidad y sigue registrando las alteraciones en la superficie terrestre desde el espacio (IGAC, 2013).

Tabla 1.

Fechas de Lanzamiento de los satélites Landsat

Satélite	Lanzamiento	Condición	Sensores
Landsat 1	23 Julio 1972	Dada de baja el 06 Enero 1978	MSS/RBV
Landsat 2	22 Enero 1975	Dada de baja el 27 Julio 1983	MSS/RBV
Landsat 3	05 Marzo 1978	Dada de baja el 07 Sep 1983	MSS/RBV
Landsat 4	16 Julio 1982	Dada de baja el 15 Junio 2001	MSS/TM
Landsat 5	01 Marzo 1984	Dada de baja el 2013	MSS/TM

Landsat 6	05 Octubre 1993	No entró en órbita. Perdido	ETM
Landsat 7	15 Abril 1999	Operacional con defectos	ETM+
Landsat 8	11 Febrero 2013	Operacional	OLI/TIRS

Nota: Elaboración propia a partir de datos de Fernández y Gilbes (2013).

2.2.17 Random Forest (RF)

Las ciencias sociales han incrementado el empleo de algoritmos de aprendizaje o estadístico automático en los últimos años, uno de estos algoritmos es Random Forest que tiene un mejor rendimiento ya que es útil en la medida que puedan acceder a una implementación de ellos.

Así mismo se muestra lo que es “rforest” que es un comando de estos bosques aleatorios que fue creado por los mismos autores que se basa en la biblioteca “Weka” (Schonlau y Zou, 2020).

2.2.18 Análisis Multitemporal

El análisis multitemporal es un análisis espacial que lleva a cabo el comparar las coberturas analizadas en dos imágenes de satélites o mapas de un mismo lugar, pero en diferentes fechas, permitiendo evaluar los cambios que han ocurrido en dichas coberturas seleccionadas. Las imágenes deben tomarse con un mínimo de tres años entre ellas para así identificar los cambios del sector de estudio, así mismo las imágenes deben ser de la misma estación para garantizar una mejor interpretación y confiabilidad en los resultados (Chuvienco, 2008).

2.2.19 Procesamiento y Análisis de Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales descargadas presentan una serie de deficiencias sobre su aspecto que deben corregirse a través de varios procedimientos a fin de conseguir una mejor interpretación de la información. Estas imágenes incluyen mejoras en el ajuste del control y del color, mediante correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas teniendo un mejor contraste al aumentar la calidad de la imagen e incluyendo técnicas de expansión y comprensión de su histograma para ajustarlo al dispositivo de salida (Liu et al., 2018).

2.2.20 Índices Espectrales

2.2.20.1. NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)

NDVI se calcula mediante una relación de bandas entre el rojo visible y el infrarrojo cercano (NIR) del espectro:

Ecuación 1: Índice espectral NDVI

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - RED}{R_{NIR} + RED} \quad (1)$$

Donde:

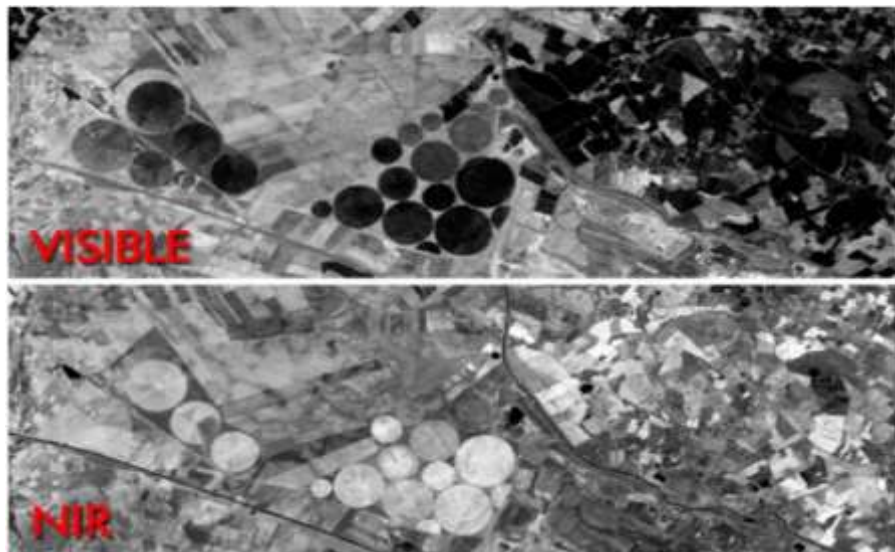
RNIR= Reflectancia de la radiación infrarroja cercana.

R = Reflectancia de la radiación roja visible.

El NDVI es un índice que se emplea para identificar la vegetación, dado que es útil para examinar y monitorear las condiciones vegetativas y su dinámica en la cobertura terrestre, este índice se obtiene a partir de la vegetación en relación con el aspecto electromagnético convirtiéndolo en una herramienta útil para analizar las coberturas vegetales, estudiar la clasificación ya dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos (Orlando y López, 2019).

Figura 5.

Comportamiento de la vegetación en el infrarrojo



Fuente: Geo innova, 2025.

2.2.20.2. NDBI (Índice de diferenciación normalizada de construcciones)

Es un índice utilizado para poder identificar y realzar las áreas urbanas o construidas, por ejemplo, edificios, carreteras u otras infraestructuras. Aprovecha las diferencias en las formas de los materiales de construcción y vegetación reflejando la luz en diferentes bandas espectrales (Medina et al., 2021).

NDBI se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2: Índice espectral NDBI

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)} \quad (2)$$

Donde:

SWIR= Banda del infrarrojo de onda corta.

NIR = Banda del infrarrojo cercano.

2.2.20.3. BSI (Índice de Suelo Desnudo)

El índice de suelo desnudo (Bare Soil Index, BSI), es un indicador cuantitativo que se utiliza en muchas investigaciones de teledetección.

BSI se lo puede calcular de la siguiente manera:

Ecuación 3: Índice espectral BSI

$$BSI = \frac{((Red + SWIR) - (NIR + Blue))}{((Red + SWIR) + (NIR + Blue))} \quad (3)$$

Donde:

SWIR= Banda del infrarrojo de onda corta.

NIR = Infrarrojo cercano.

Red y Blue = Rojo y Azul a las bandas correspondientes.

Su objetivo es combinar los espectros de las bandas azul, rojo, infrarrojo de onda corta e infrarrojo cercano para detectar alteraciones en zonas con escasa vegetación y con un suelo desnudo, así mismo los valores bajos de (BSI), indican que el terreno tiene agua o vegetación, y si los valores son altos es que existe más suelo desnudo (Gu et al., 2010).

2.2.20.4. SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo)

El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) surgió como una necesidad de reducir las variaciones del valor NDVI en aplicaciones en zonas áridas, pues un

mismo valor puede asociarse con cubiertas vigorosas, pero poco densas o a cubiertas densas, pero escasamente densas.

SAVI se lo puede calcular de la siguiente manera:

Ecuación 4: Índice espectral SAVI

$$SAVI = \frac{IR - R}{IR + R + L} (1 + L) \quad (3)$$

Donde:

IR = Reflectancia corregida que corresponde al infrarrojo cercano.

R = Reflectancia que corresponde al rojo.

L = Parámetro que varía según la densidad de la vegetación, para densidades intermedias, como en el caso de las imágenes de satélite, se toma 0,5.

Se toma de índice L= 0,5 con el fin de corregir algunos efectos externos al valor de NDVI en donde la reflectividad del suelo es elevada (Huete et al., 1985).

2.2.20.5. NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada)

Para el estudio de las masas de agua, se emplea el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), este índice emplea bandas verdes y casi infrarrojas que son obtenidas mediante imágenes de teledetección, tiene la capacidad de optimizar en la mayoría de los casos la información respecto al agua.

Así mismo es sensible a la acumulación de tierra y conduce al resultado de sobreestimación de los cuerpos de agua, estos productos se pueden emplear junto con los cambios de NDVI para evaluar las zonas con cambios visibles (Kshetri, 2018).

NDWI se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 5: Índice espectral NDWI

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (4)$$

Donde:

Green = La banda verde del espectro visible es fuertemente reflejada por el agua (por el agua limpia).

NIR = El agua absorbe la luz en la región NIR del espectro.

2.3 Marco Legal

2.3.1 Constitución de la Republica del Ecuador (2008)

Capítulo Segundo

Derechos Del Buen Vivir

Sección Segunda

Ambiente Sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay* (pág. 14).

Capítulo Séptimo

Derechos De La Naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos (pág. 35).

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (pág. 36).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptar (pág. 36).

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional (pág. 36).

Título V

Organización Territorial Del Estado

Capítulo Primero

Principios Generales

Art. 241.- La planificación garantizará el ordenamiento territorial y será obligatoria en todos los gobiernos autónomos descentralizados (pág. 124).

Art. 375.- El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual:

1. Generará la información necesaria para el diseño de estrategias y programas que comprendan las relaciones entre vivienda, servicios, espacio y transporte públicos, equipamiento y gestión del suelo urbano.
2. Mantendrá un catastro nacional integrado georreferenciado, de hábitat y vivienda.
3. Elaborará, implementará y evaluará políticas, planes y programas de hábitat y de acceso universal a la vivienda, a partir de los principios de universalidad, equidad e interculturalidad, con enfoque en la gestión de riesgos.

4. Mejorará la vivienda precaria, dotará de albergues, espacios públicos y áreas verdes, y promoverá el alquiler en régimen especial.
5. Desarrollará planes y programas de financiamiento para vivienda de interés social, a través de la banca pública y de las instituciones de finanzas populares, con énfasis para las personas de escasos recursos económicos y las mujeres jefas de hogar.
6. Garantizará la dotación ininterrumpida de los servicios públicos de agua potable y electricidad a las escuelas y hospitales públicos (pág. 176).
7. Asegurará que toda persona tenga derecho a suscribir contratos de arrendamiento a un precio justo y sin abusos.
8. Garantizará y protegerá el acceso público a las playas de mar y riberas de ríos, lagos y lagunas, y la existencia de vías perpendiculares de acceso. El Estado ejercerá la rectoría para la planificación, regulación, control, financiamiento y elaboración de políticas de hábitat y vivienda (pág. 177).

Art. 376.- Para hacer efectivo el derecho a la vivienda, al hábitat y a la conservación del ambiente, las municipalidades podrán expropiar, reservar y controlar áreas para el desarrollo futuro, de acuerdo con la ley. Se prohíbe la obtención de beneficios a partir de prácticas especulativas sobre el uso del suelo, en particular por el cambio de uso, de rústico a urbano o de público a privado (pág. 177).

Sección cuarta

Recursos naturales

Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico. Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución (pág. 191).

El Estado participará en los beneficios del aprovechamiento de estos recursos, en un monto que no será inferior a los de la empresa que los explota. El Estado garantizará que los mecanismos de producción, consumo y uso de los recursos naturales y la energía preserven y recuperen los ciclos naturales y permitan condiciones de vida con dignidad (pág. 192).

Sección quinta

Suelo

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona (pág. 192).

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria (pág. 192).

2.3.2 Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados: Recurso Suelo (2015)

4.1.1 Prevención de la contaminación del recurso suelo

4.1.1.6 De la prohibición de descargas, infiltración o inyección de efluentes en el suelo y subsuelo

Se prohíbe la descarga, infiltración o inyección en el suelo o en el subsuelo de efluentes tratados o no, que alteren la calidad del recurso. Se exceptúa de esta disposición a las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación de hidrocarburos, las cuales deberán adoptar los procedimientos ambientales señalados en la normativa ambiental hidrocarburífera vigente en el país (pág. 14).

4.1.2 De las actividades que degradan la calidad del suelo

4.1.2.1 Las organizaciones públicas o privadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroelectricidad, exploración y explotación hidrocarburífera, minera, y agrícola, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos (pág. 14).

2.3.3 Código Orgánico del Ambiente (2018)

Capítulo VI

Restauración Ecológica, Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales

Art. 118.- Restauración ecológica. En las actividades de restauración ecológica de suelos o ecosistemas se priorizará la regeneración natural cuando esta sea posible técnica, económica y socialmente. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados, en el marco de sus competencias, darán atención prioritaria a los suelos degradados o en proceso de desertificación, bajo lineamientos de la Autoridad Ambiental Nacional (pág. 40).

Capítulo V

Calidad de los Componentes Abióticos y Estado de los Componentes Bióticos

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (pág. 55).

Art. 197.- Actividades que afecten la calidad del suelo. Las actividades que afecten la calidad o estabilidad del suelo, o que puedan provocar su erosión, serán reguladas, y en caso de ser necesario, restringidas. Se priorizará la conservación de los ecosistemas ubicados en zonas con altas pendientes y bordes de cuerpos hídricos, entre otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional (pág. 56).

2.3.4 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomías y Descentralización (COOTAD) (2010)

Título I

Principios Generales

Art. 3 en su literal c y h.- Principios. - El ejercicio de la autoridad y las potestades públicas de los gobiernos autónomos descentralizados se regirán por los siguientes principios:

c) Coordinación y corresponsabilidad. - Todos los niveles de gobierno tienen responsabilidad compartida con el ejercicio y disfrute de los derechos de la ciudadanía, el buen vivir y el desarrollo de las diferentes circunscripciones territoriales, en el marco de las competencias exclusivas y concurrentes de cada uno de ellos. Para el cumplimiento de este principio se incentivará a que todos los niveles de gobierno trabajen de manera articulada y complementaria para la generación y aplicación de normativas concurrentes, gestión de competencias, ejercicio de atribuciones. En este sentido, se podrán acordar mecanismos de cooperación voluntaria para la gestión de sus competencias y el uso eficiente de los recursos (pág. 7).

h) Sustentabilidad del desarrollo. - Los gobiernos autónomos descentralizados priorizarán las potencialidades, capacidades y vocaciones de sus circunscripciones territoriales para impulsar el desarrollo y mejorar el bienestar de la población, e impulsarán el desarrollo territorial centrado en sus habitantes, su identidad cultural y valores comunitarios. La aplicación de este principio conlleva asumir una visión integral, asegurando los aspectos sociales, económicos, ambientales, culturales e institucionales, armonizados con el territorio y aportarán al desarrollo justo y equitativo de todo el país (pág. 7).

2.3.5 Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS) (2016)

Título I

Principios y Reglas Generales

Capítulo II

Principios Rectores y Derechos Orientadores del Ordenamiento Territorial y Planeamiento del Uso y Gestión del Suelo

Art. 5.- Principios rectores. Son principios para el ordenamiento territorial, uso y la gestión del suelo los siguientes:

6. El derecho a la ciudad. Comprende los siguientes elementos:

a) El ejercicio pleno de la ciudadanía que asegure la dignidad y el bienestar colectivo de los habitantes de la ciudad en condiciones de igualdad y justicia.

b) La gestión democrática de las ciudades mediante formas directas y representativas de participación democrática en la planificación y gestión de las ciudades, así como mecanismos de información pública, transparencia y rendición de cuentas.

c) La función social y ambiental de la propiedad que anteponga el interés general al particular y garantice el derecho a un hábitat seguro y saludable. Este principio contempla la prohibición de toda forma de confiscación.

7. La función pública del urbanismo. Todas las decisiones relativas a la planificación y gestión del suelo se adoptarán sobre la base del interés público, ponderando las necesidades de la población y garantizando el derecho de los ciudadanos a una vivienda adecuada y digna, a un hábitat seguro y saludable, a un espacio público de calidad y al disfrute del patrimonio natural y cultural.

8. La distribución equitativa de las cargas y los beneficios. Se garantizará el justo reparto de las cargas y beneficios entre los diferentes actores implicados en los procesos urbanísticos, conforme con lo establecido en el planeamiento y en las normas que lo desarrollen (pág. 6).

Título II

Ordenamiento Territorial

Capítulo I

Definición y Objeto

Art. 9.- Ordenamiento territorial. - El ordenamiento territorial es el proceso y resultado de organizar espacial y funcionalmente las actividades y recursos en el territorio, para viabilizar la aplicación y concreción de políticas públicas democráticas y participativas y facilitar el logro de los objetivos de desarrollo. La planificación del ordenamiento territorial constará en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. La planificación para el ordenamiento territorial es obligatoria para todos los niveles de gobierno. La rectoría nacional del ordenamiento territorial será ejercida por el ente rector de la planificación nacional en su calidad de entidad estratégica (pág. 7).

Art. 10.- Objeto. - El ordenamiento territorial tiene por objeto: La utilización racional y sostenible de los recursos del territorio. La protección del patrimonio natural y cultural del territorio. La regulación de las intervenciones en el territorio proponiendo e implementando normas que orienten la formulación y ejecución de políticas públicas (pág. 7).

Capítulo II

Instrumentos de Ordenamiento Territorial

Art. 15.- Naturaleza jurídica de los instrumentos de ordenamiento territorial. Los planes de desarrollo y ordenamiento territorial vinculan a la administración pública y son orientativos para los demás sectores, salvo los planes de uso y gestión de suelo y sus planes complementarios, que serán vinculantes y de obligatorio cumplimiento para las personas naturales o jurídicas públicas, privadas o mixtas (pág. 8).

Capítulo II

Planeamiento

Sección I

Plan de Uso y Gestión del Suelo

Art. 27.- Plan de uso y gestión de suelo (PUGS). Además de lo establecido en el Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos contendrán un plan de uso y gestión de suelo que incorporará los componentes estructurante y urbanístico (pág. 10).

Art. 28.- Componente estructurante del plan de uso y gestión de suelo. Estará constituido por los contenidos de largo plazo que respondan a los objetivos de desarrollo y al modelo territorial deseado según lo establecido en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial municipal o metropolitano, y las disposiciones correspondientes a otras escalas del ordenamiento territorial, asegurando la mejor utilización de las potencialidades del territorio en función de un desarrollo armónico, sustentable y sostenible, a partir de la determinación de la estructura urbano-rural y de la clasificación del suelo (pág.10).

Art 29.- Componente urbanístico del plan de uso y gestión de suelo. Establecido el componente estructurante, los planes de uso y gestión deberán determinar el uso y edificabilidad de acuerdo con la clasificación del suelo, así como los instrumentos de gestión a ser empleados según los requerimientos específicos (pág. 10).

Art. 30.- Vigencia del plan de uso y gestión de suelo. El plan de uso y gestión de suelo estará vigente durante un período de doce años, y podrá actualizarse al principio de cada período de gestión.

En todo caso y cualquiera que haya sido su causa, la actualización del plan de uso y gestión de suelo debe preservar su completa coherencia con el plan de desarrollo y ordenamiento territorial vigente en ese nivel de gobierno, de manera articulada con el Plan Nacional de Desarrollo vigente (pág. 10).

2.3.6 Reglamento Ley de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo (2019)

Título II

Del Ordenamiento Territorial

Capítulo I

Lineamientos para la Planificación del Ordenamiento Territorial

Art. 8.- Actualización de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.- Los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) podrán ser actualizados cuando el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) lo considere necesario y esté debidamente justificado, a partir de la evaluación del PDOT anterior para definir el alcance de la misma sin alterar su contenido estratégico y el componente estructurante que lo articula al Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS), en el caso de los municipios o distritos metropolitanos. Sin embargo, en las siguientes circunstancias, la actualización es obligatoria:

- a) Al inicio de gestión de las autoridades locales.
- b) Cuando un Proyecto Nacional de Carácter Estratégico se implanta en la jurisdicción del GAD y debe adecuar su PDOT a los lineamientos derivados de la respectiva Planificación Especial.
- c) Por fuerza mayor, como la ocurrencia de un desastre (pág. 6).

Capítulo II

Del Planeamiento del Uso y Gestión del Suelo

Sección I

Del Plan de Uso y Gestión del Suelo

Art. 10.- Planes de Uso y Gestión del Suelo, PUGS. - Los Planes de Uso y Gestión del Suelo, PUGS, son instrumentos de planificación y gestión que tienen como objetivos establecer los modelos de gestión del suelo y financiación para el desarrollo.

Los Planes de Uso y Gestión del Suelo podrán ser ampliados o aclarados mediante los planes complementarios como planes maestros sectoriales, parciales y otros instrumentos de planeamiento establecidos por el gobierno autónomo descentralizado municipal y metropolitano (pág. 6).

En los Planes de Uso y Gestión del Suelo, los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos deberán reconocer las características locales particulares para la definición del alcance de los planes parciales en relación con la adscripción o adjudicación de cargas generales y locales, los estándares urbanísticos relacionados con cesiones de suelo y densidades establecidas en los aprovechamientos para cada uno de los tratamientos, para efectos de establecer e implementar los sistemas de reparto equitativo de cargas y beneficios en cada tratamiento.

Los Planes de Uso y Gestión del Suelo mantendrán siempre una relación directa con los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial a nivel cantonal y apoyarán las definiciones establecidas a nivel provincial y parroquial (pág. 7).

Art. 11.- Procedimiento de aprobación del Plan de Uso y Gestión del Suelo. – El Plan de Uso y Gestión del Suelo será aprobado mediante la misma ordenanza municipal o Metropolitana que contiene el Plan de Desarrollo y Ordenamiento

Territorial Cantonal, y mediante los mismos procedimientos participativos y técnicos previstos en la ley y definidos por el ente rector correspondiente (pág. 7).

Art. 12.- Modificación de los componentes estructurantes del Plan de Uso y Gestión de Suelo.- Una vez cumplidos los 12 años del plazo de vigencia del componente estructurante del Plan de Uso y Gestión del Suelo y en concordancia con el plazo de actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, se podrá actualizar, modificar o elaborar un Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y un Plan de Uso y Gestión del Suelo mediante los procedimientos participativos y técnicos correspondientes.

En caso de que sea necesaria la modificación del componente estructurante, deberá estar técnicamente justificada y en coherencia con el plan de desarrollo y ordenamiento territorial, así como con el artículo 8 de este Reglamento; para ello, se seguirán los procedimientos participativos y técnicos establecidos en la ley y por la entidad rectora correspondiente (pág. 7).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la Investigación

La presente investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo, con una perspectiva espacio - tiempo que permitió examinar la evolución de la calidad del suelo en el cantón Salinas, ubicado en la provincia de Santa Elena. Para ello, se empleó técnicas de teledetección (imágenes Landsat) herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Random Forest, las cuales facilitaron la identificación, comparación y modelado de los patrones de cambios de usos del suelo y su degradación mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales.

El estudio integró información geoespacial con métodos de clasificación supervisada, así como el uso de índices espectrales como el NDVI, NDBI, NDWI, BSI, SAVI. Esta metodología permitió evaluar tanto el grado como la distribución espacial del cambio uso del suelo, y delimitando las áreas más afectadas que requirieron acciones prioritarias.

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

3.1.1.1. Investigación Aplicada

La investigación aplicada se enfocó principalmente en utilizar datos científicos y metodología existentes para así resolver el problema que es sobre la evaluación del recurso suelo. Este proyecto generó resultados prácticos y aplicables para la toma de decisiones, la planificación territorial o la gestión ambiental en el Cantón Salinas de la provincia de Santa Elena.

3.1.1.2. Investigación Documental

La investigación documental se enfocó en analizar la información sobre las afectaciones del recurso suelo, estableciendo una línea temporal de cómo ha cambiado el paisaje debido a la expansión urbana utilizando datos históricos, registros espaciales y análisis temporal de imágenes satelitales (Landsat) para cuantificar los cambios espaciales. Este enfoque ayudó a identificar tipos y relaciones causales que sustentaron el desarrollo de futuras soluciones.

Así mismo su alcance es Descriptivo enfocándose en describir el estado actual y los cambios del recurso suelo, esto se logró mediante la recolección y análisis de información espacial y multitemporal, con el fin de determinar los cambios en la cobertura y el uso del suelo que han influido en la pérdida de calidad de este.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño adoptado de la investigación es no experimental, dado que no se interviene ni se manipularon las variables de estudio, simplemente se observó y analizó tal como se presentan en su contexto natural. El estudio se basa en el análisis de datos obtenidos a través de imágenes satelitales, lo que permite examinar el cambio del uso del suelo con el paso del tiempo en el cantón Salinas, sin alterar los fenómenos observados.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente.

- Tiempo (Años)

3.2.1.2. Variable dependiente.

- Cambios en el recurso suelo
- Cobertura del uso de suelo

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 2.

Matriz de la Variable Dependiente

Variable Dependiente			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Cambios en el recurso suelo	Cuantitativa	Nominal	>3 años
Cobertura del uso de suelo	Cualitativa	Ordinal	>3 años

Elaborado por: La Autora, 2025.

Tabla 3.

Matriz de la Variable Independiente

Variable Independiente			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Tiempo	Cuantitativo	Nominal	>3 años

Elaborado por: La Autora, 2025.

3.2.3 Tratamientos

La investigación no es dependiente del uso de tratamientos debido a que es una investigación de carácter no experimental. Su objetivo principal es analizar y

evaluar la condición del cambio del recurso suelo sin alterar o manipular alguna variable.

3.2.4 Diseño Experimental

La presente investigación no incluye ningún tipo de diseño experimental, ya que no se modificará ninguna variable, solo se observará su relación de las variables.

3.2.5 Recolección de datos.

3.2.5.1. Recursos.

En el desarrollo de la investigación se utilizará los siguientes recursos:

3.2.5.1.1 Recursos Bibliográficos.

- Artículos científicos.
- Tesis e informes técnicos.
- Páginas web.
- Documentos gubernamentales y normativas.

3.2.5.1.2 Recursos Tecnológicos.

- Windows.
- Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Imágenes satelitales.
- Random Forest.
- Información cartográfica y topográfica histórica.

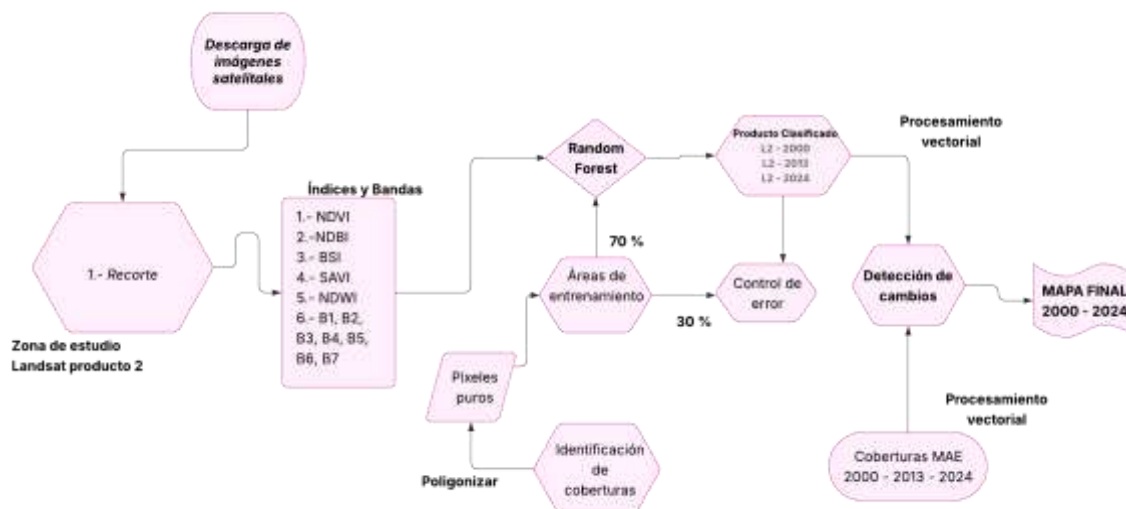
3.2.5.1.3 Materiales de Campo.

- Carpeta.
- Cuaderno de apuntes.
- Laptop.
- Impresora.

3.2.5.2. Métodos y técnicas

La metodología que se utilizó fue un método integral para examinar el cambio de la cobertura de uso de suelo en la zona de estudio, empleando una mezcla de procesamiento ráster y una identificación de cambios, este se resume en el siguiente diagrama de flujo:

Figura 6.

Etapas del desarrollo metodológico

Elaborado por: La Autora, 2025.

3.2.5.2.1 Realizar la búsqueda de imágenes satelitales, su preprocesamiento y el diagnóstico inicial de las coberturas y usos de suelo en el cantón Salinas, empleando información secundaria proveniente de instituciones públicas.

Para llevar a cabo la selección y análisis de imágenes satelitales correspondientes a los años de interés en la investigación que fue durante los periodos (2000, 2013, 2024) en cuestión, se utilizó como fuente principal la plataforma GLOVIS del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), este repositorio fue elegido debido a su reputación como uno de los portales oficiales más completos para acceder a catálogos históricos y contemporáneos, ofreciendo continuidad espacial y temporal como requisito, para que nuestro análisis multitemporal sobre el cambio de la cobertura y uso del suelo sea eficiente. Se seleccionaron imágenes con mínimas diferencias en las fechas para garantizar condiciones atmosféricas similares entre los tres periodos.

La resolución espacial y radiométrica de las imágenes descargadas permitieron evaluar la capacidad del sensor para identificar las distintas coberturas que existen en nuestra área de estudio, para este análisis se utilizaron imágenes obtenidas del programa Landsat 7 y 8 con una resolución de 30 metros, las bandas multiespectrales de los tres periodos incluyen el infrarrojo cercano, infrarrojo de

onda corta y las bandas térmicas, lo que resultó fundamental para entender las diferencias en calidad y precisión de los datos utilizados durante cada periodo.

Se priorizó la descarga de imágenes en formato Level-2 Surface Reflectance (L2SR), debido a que este nivel ofrece datos ya corregidos atmosféricamente y que están listos para un análisis comparativo multitemporal, una vez recopiladas las escenas necesarias, se procedió a realizar un polígono de la zona de estudio en Qgis usando la herramienta de georreferenciación para lograr mayor exactitud del lugar de estudio. Posterior a esto, se realizó un preprocesamiento y recorte con la herramienta de corte de los shapefiles para optimizar el flujo de trabajo.

Por último se incluyó el análisis satelital de una información secundaria, que proviene del geoportal del Ministerio de Ambiente y Energía (MAE), en particular sobre las coberturas de uso del suelo que creara una base oficial para la validación y referencia de la investigación, la incorporación de la cartografía del MAE fue fundamental, no solo para comparar la clasificación que provienen de las imágenes Landsat si no para categorizar los criterios respecto a las coberturas que estuvieron presente en la zona de estudio como vegetación, áreas agrícolas, zonas urbanas, zonas de agua, de esta forma se aseguró la sustentación en la combinación de fuentes satelitales históricas y actuales, junto con la cartografía oficial del lugar analizado, en donde se lo representa de la siguiente manera:

Tabla 4.

Leyenda temática coberturas de uso de suelo del cantón Salinas

COLOR	LEYENDA
	Cuerpo de Agua
	Otras Tierras
	Tierra Agropecuaria
	Vegetación Arbustiva y Herbácea
	Zona Antrópica

Elaborado por: La Autora, 2026.

3.2.5.2.2 Aplicar índices espectrales (NDVI, NDBI, BSI, SAVI, NDWI) para detectar áreas con signos de degradación, impermeabilización y pérdida de vegetación natural y cuerpos hídricos.

Se eligió bandas espectrales específicas de imágenes satelitales Landsat que hicieron posible crear indicadores que responden a la cobertura vegetal, a la presencia de humedad, la presencia de suelo desnudo, su expansión de superficies artificiales entre otros. Cada uno de estos índices que se utilizaron correspondieron a combinaciones particulares de bandas, cuya interpretación fue fundamental para diferenciar los patrones de cobertura del suelo en los tres periodos.

Para esto se realizó el cálculo de los índices, mediante la Calculadora ráster, luego se seleccionaron las bandas ráster para cada índice de los tres distintos periodos.

Índice NDVI: Tiene como finalidad distinguir el vigor y densidad de la vegetación, elaborando una base en la diferencia entre el infrarrojo cercano y el rojo, en este caso se usó Landsat 5 y 7 con las bandas 4 y 3 mediante la siguiente ecuación que se detalla a continuación esto se aplicó en la calculadora ráster del programa QGIS:

Ecuación 6: Bandas Landsat 5 y 7 (NDVI)

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)} \quad (5)$$

Mientras Landsat 8 hace uso de las bandas 5 y 4, que va a identificar los patrones de pérdida o continuidad de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

Ecuación 7: Bandas Landsat 8 (NDVI)

$$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)} \quad (6)$$

El rango de NDVI va desde -1 a 1, los valores que están más cercanos a 1 es cuando más intenso es el verde y en donde existió más vegetación y tuvo una cubierta vegetal entre 0.33 y 0.66 la vegetación estuvo medianamente sana y entre 0.66 a 1 existió una vegetación muy sana, por ultimo los valores que están -1 suelen ser asociados a zonas de agua, o que la vegetación ya es inanimada.

Índice NDBI: Tiene como objetivo detectar superficies impermeabilizadas y zonas urbanas, combinando la información del infrarrojo cercano y del SWIR, en Landsat 5 y 7 se obtendrán de las bandas 4 y 5.

Ecuación 8: Bandas Landsat 5 y 7 (NDBI)

$$NDBI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)} \quad (7)$$

Mientras que en Landsat 8 se usaron las bandas 5 y 6. Este índice se vuelve un indicador crucial para señalar la expansión urbana en perjuicio de los ecosistemas naturales, así mismo se usó la siguiente ecuación que se detalla a continuación:

Ecuación 9: Bandas Landsat 8 (NDBI)

$$NDBI = \frac{(B6 - B5)}{(B6 + B5)} \quad (8)$$

Índice BSI: Este índice fue creado para mostrar los suelos desnudos y zonas degradadas, basándose en la combinación entre el SWIR, rojo, azul y el NIR, permitiendo resaltar los contrastes entre las áreas que están expuestas frente a coberturas vegetales. Así mismo se usaron las bandas 5,3,4,1 para Landsat 5 y 7.

Ecuación 10: Bandas Landsat 5 y 7 (BSI)

$$BSI = \frac{(B5 + B3) - (B4 + B1)}{(B5 + B3) + (B4 + B1)} \quad (9)$$

Para Landsat 8 se usarán las bandas 6, 4, 5, 2, la ecuación se detalla a continuación:

Ecuación 11: Bandas Landsat 8 (BSI)

$$BSI = \frac{(B6 + B4) - (B5 + B2)}{(B6 + B4) + (B5 + B2)} \quad (10)$$

Índice SAVI: Al igual que el NDVI, también mide la cobertura vegetal, pero busca reducir el efecto del fondo del suelo, se realizó con las mismas bandas que el NDVI en cada sensor, lo que facilitó la identificación de zonas con vegetación

dispersa o en ambientes semiáridos como ocurre en algunos lugares de la zona de estudio, a continuación, se detalla la ecuación a realizar:

Ecuación 12: Bandas Landsat 5 y 7 (SAVI)

$$SAVI = \frac{((B4 - B3))}{(B4 + B3 + 0.5))} * (1.5) \quad (11)$$

Se calcula como una relación entre los valores R y NIR utilizando un factor de corrección para la luminosidad del suelo (L) que se establece en 0.5 con el fin de adaptarse a la mayor parte de los tipos de cobertura del suelo y 1.5 es el valor de la expresión $(1 + L)$ donde L es 0.5 que sirve como factor de ajuste.

Ecuación 13: Bandas Landsat 8 (SAVI)

$$SAVI = \frac{((B5 - B4))}{(B5 + B4 + 0.5))} * (1.5) \quad (12)$$

Índice NDWI: Este índice se calculó a través del infrarrojo cercano y el SWIR, que se usó para resaltar la humedad del suelo y la presencia de cuerpos de agua, las bandas 2 y 4 se emplearon en Landsat 5 y 7.

Ecuación 14: Bandas Landsat 5 y 7 (NDWI)

$$NDWI = \frac{(B2 - B4)}{(B2 + B4)} \quad (13)$$

Para Landsat 8 se emplearon las bandas 3 y 5 haciendo más fácil el detectar las alteraciones asociados a la reducción de humedad superficial o a la pérdida de cuerpos hídricos, a continuación, se detalla la ecuación:

Ecuación 15: Bandas Landsat 8 (NDWI)

$$NDWI = \frac{(B3 - B5)}{(B3 + B5)} \quad (14)$$

3.2.5.2.3 Clasificar las coberturas del suelo para los años 2000, 2012 y 2024 mediante imágenes Landsat e índices espectrales, aplicando algoritmos de clasificación supervisada como Random Forest y análisis espacial para cuantificar los cambios en el territorio.

Se utilizó una metodología que se basa en algoritmos de clasificación supervisada, concretamente Random Forest el cuál ha evidenciado una gran solidez en el análisis de imágenes multiespectrales, el primer paso fue escoger las áreas de entrenamiento, que visualice la ilustración con precisión de cada una de las categorías establecidas en la leyenda de coberturas, estas áreas fueron obtenidas mediante interpretación visual de las imágenes Landsat apoyándose también en la información cartográfica oficial del geo portal del MAE, con la finalidad de respaldar la variabilidad espectral real de la zona de estudio.

La base de datos de muestras se dividió en dos subconjuntos: un 70% fue destinado para entrenar el modelo de clasificación y el 30% restante se utilizó para la validación independiente lo que permitió evaluar de forma objetiva a la precisión del procedimiento aplicado.

Una vez determinada las muestras, se utilizó el algoritmo de Random Forest, que es una mezcla de predictores de árboles de modo que cada árbol dependerá de los valores de un vector aleatorio muestreado de manera independiente y con la misma distribución para todos los árboles del bosque, a medida que el número de árboles en un bosque aumenta, el error de generalización para los bosques tiende a estabilizarse (Breiman, 2001).

Posteriormente, se evaluó la calidad de la clasificación mediante el cálculo de la matriz de confusión, que posibilita el comparar los valores por el modelo con las muestras de validación. Así mismo se procedió a calcular la tasa de cambio neto y la tasa de cambio relativo para poder cuantificar las variaciones temporales y espaciales en la cobertura del suelo usando los mapas temáticos adquiridos durante los tres periodos, la primera de los dos calculó el área total ganada o perdida por cada cobertura entre dos espacios temporales lo cual se expresó en hectáreas.

El autor Meshesha et al. (2016), propone la expresión matemática para calcular la tasa de cambio, la cual se detalla a continuación:

Ecuación 16: Cálculo de tasa de cambio

$$R\Delta = \frac{Z - X}{W} \quad (15)$$

Donde:

RΔ: Tasa de cambio en Ha/año.

Z: Cobertura vegetal o uso de suelo en el tiempo final Ha.

X: Cobertura vegetal o uso de suelo en el tiempo inicial Ha.

W: Intervalo de tiempo entre Z y X en años.

La segunda mide dicha variación en términos porcentuales en relación con el área inicial de la clase, lo que permitirá comparar las coberturas de distintos tamaños. El autor Hernández et al. (2023), propone la expresión matemática para calcular el cambio relativo porcentual para los periodos establecidos lo cual se detalla a continuación:

Ecuación 17: Cálculo de cambio relativo porcentual

$$\Delta A = \frac{At2 - At1}{At1} * 100 \quad (16)$$

Donde:

ΔA: Cambio relativo porcentual en %

At2: Cobertura vegetal o uso de suelo en el tiempo final Ha.

At1: Cobertura vegetal o uso de suelo en el tiempo inicial Ha.

Por último, se elaboraron matrices de tabulación cruzada que posibilitaron la identificación de las transiciones entre coberturas, es decir, qué porcentaje de una clase en un año determinado pasó a integrar otra en el año posterior, este análisis de cambio mostró las áreas de vegetación que se convirtieron en áreas urbanas o que fueron ocupadas por construcciones o asentamientos con el transcurso del tiempo, permitiendo interpretar con solidez los procesos de degradación, urbanización y cambio ambiental que tuvieron lugar durante el tiempo analizado en nuestra zona de estudio.

Los estadísticos por utilizar para validar la clasificación se muestran a continuación:

- **Accuracy:** Posibilita la evaluación del desempeño del modelo en relación con los datos de entrada.

Fórmula matemática:

Ecuación 18: Fórmula de Accuracy

$$Accuracy = \frac{TN + TP}{TN + FP + TP + FN} \quad (17)$$

Donde:

TN: True Negative

TP: True Positive

FP: False Positive

FN: True Negatives

- **Precision:** También se lo conoce como predictor de valores positivos, donde el valor cercano a 1 significa una buena clasificación.

Fórmula matemática:

Ecuación 19: Fórmula de Precision

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (18)$$

Donde:

TP: True Positive

FP: False Positive

- **Recall:** También se lo conoce como sensibilidad, cuando el valor cercano a 1 indica que la clasificación es buena.

Fórmula matemática:

Ecuación 20: Fórmula de Recall

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (19)$$

Donde:

TN: True Negative

TP: True Positive

- **F1 score:** Media armónica entre Recall y Precision, es una métrica útil para conjuntos de datos desequilibrados.

Fórmula matemática:

Ecuación 21: Fórmula de F1 score

$$F1 = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (20)$$

3.2.5.2.4 Proponer áreas prioritarias para la gestión y planificación territorial sostenible, a partir del análisis multitemporal de cambios en el uso del suelo y videncias de degradación ambiental.

En base a estos resultados, la identificación de áreas prioritarias no responderán únicamente en la medición de áreas modificadas, sino también en la incorporación de criterios sustentables que tienen en cuenta la disponibilidad de recursos naturales, la vulnerabilidad del medio ambiente y la presión demográfica, por lo tanto las áreas con mayor relevancia para la planificación se definieron como aquellas que muestran una acelerada transformación del uso del suelo, contemplando también los espacios donde las tendencias de degradación puedan volverse más severas en el futuro si no se aplican medidas de gestión adecuada.

Este proceso concluye con la elaboración de propuestas para una gestión más sostenible del territorio, que incluyan delimitación de áreas de conservación, la recuperación de zonas degradadas, el fomento de prácticas productivas sostenibles y la regulación del crecimiento urbano en función de la capacidad de carga ambiental.

3.2.6 Análisis estadístico

El tipo de análisis estadístico que se empleó en la presente investigación es de carácter descriptivo centrándose en el análisis de datos multitemporales mediante implementación de técnicas de teledetección, para mostrar las variables claves relacionadas a la cobertura del uso de suelo a causa de la expansión urbana, vegetación natural entre otros.

Así mismo se relacionó sus características físicas como la salinidad, erosión, compactación, siendo, que las variables se cuantificarán para cada período de tiempo estudiado en el cantón Salinas de la provincia de Santa Elena.

A su vez, el algoritmo como Random Forest arrojará una matriz de validación cruzada que permitirá evaluar el rendimiento clasificado para cada año.

4. RESULTADOS

4.1 Búsqueda de imágenes satelitales, su preprocesamiento y el diagnóstico inicial de las coberturas y usos de suelo en el cantón Salinas, empleando información secundaria proveniente de instituciones públicas.

Tras identificar las imágenes mediante su descarga se importaron al software QGIS asegurando que el sistema de referencia de coordenadas sea el WGS 84 UTM Zona 17S.

En QGIS, primero en la barra se buscó la opción Ráster, luego Miscellaneous en donde se realizó la combinación de capas mediante los archivos ya descargados, luego se hizo la combinación de bandas para cada año; en el 2000 se usaron las bandas B1, B2, B3, B4, B5 ya que se usó Landsat 7 y para los años posteriores 2013 y 2024 se usó las bandas, B2, B3, B4, B5, B6, B7 para Landsat 8, a continuación, se muestra las fechas de descarga de imágenes:

Tabla 5.

Fecha de descarga de imágenes satelitales

Satélite	Fecha de Descarga	Fuente
L7 ETM+	31/05/2000	USGS
L8 OLI-TIRS	21/12/2013	USGS
L8 OLI-TIRS	07/04/2024	USGS

Elaborado por: La Autora, 2026.

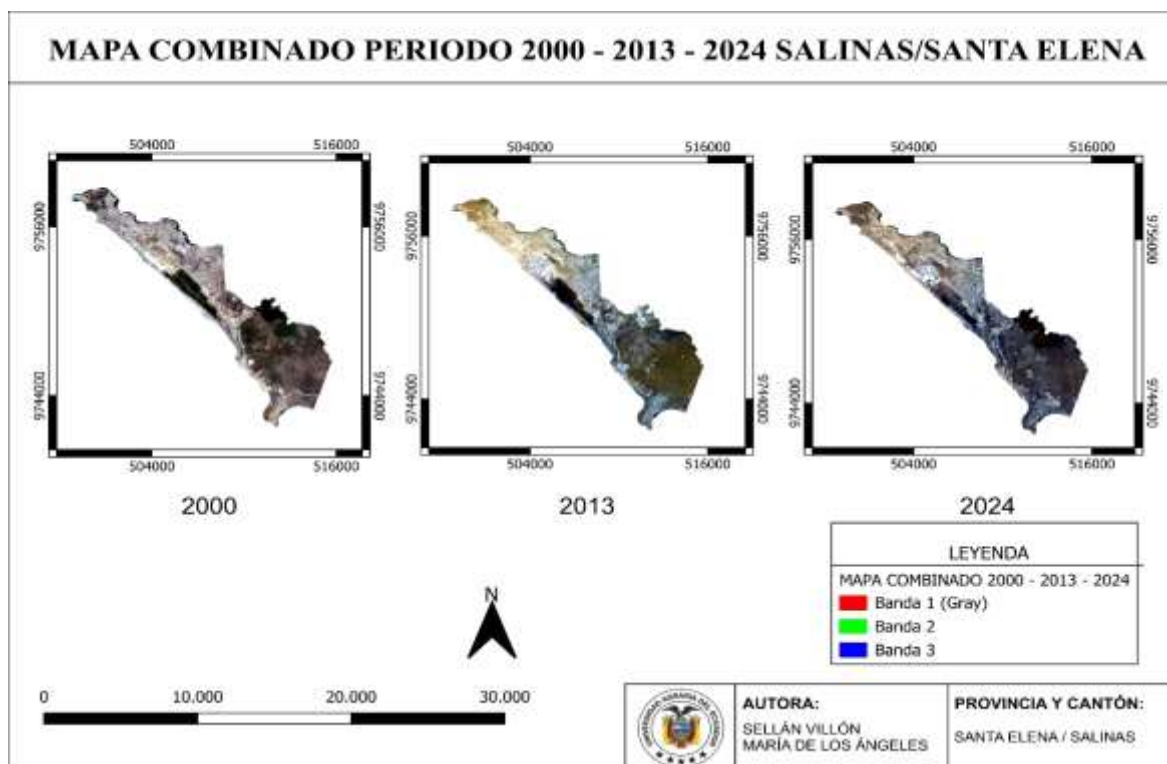
Para la representación de las bandas se seleccionó Simbología en donde la Banda roja representa 3, Banda verde representa 2 y Banda azul representa 1, se continuó exportando la capa ráster en donde se debió verificar su formato "GeoTIFF", y que las coordenadas se encontraran constantes, todo este procedimiento se guardó en una carpeta para cada imagen procesada.

Después de obtener la imagen combinada y previamente su recorte, nuevamente se seleccionó la barra Ráster continuando con la opción de Extracción y en la ventana Cortar ráster por capa se seleccionó la imagen combinada mediante la capa de entrada luego capa de máscara y se finalizó asignando 0, esto se realizó en las 3 imágenes preprocesadas.

La figura 7, es la representación final por los 3 años de estudios 2000, 2013 y 2024 de cómo se realizó el preprocesamiento de la imagen combinada y su recorte final.

Figura 7.

Mapa Combinado 2000 - 2013 - 2024



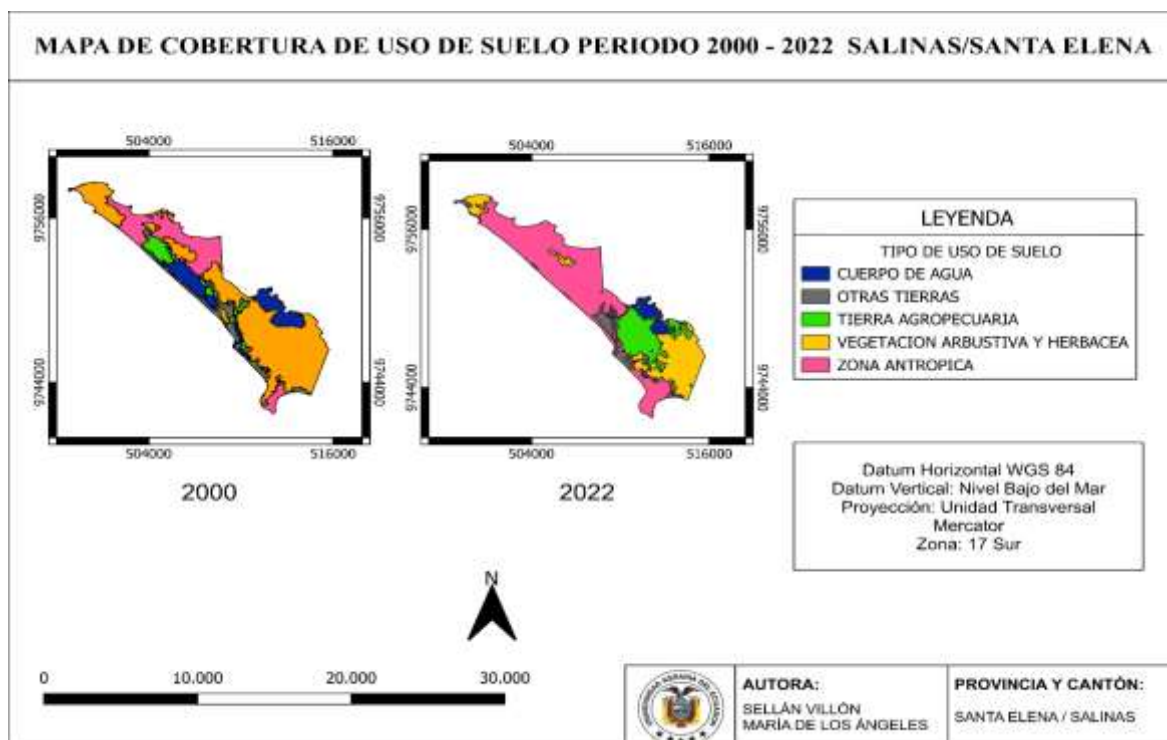
Elaborado por: La Autora, 2026.

En la figura 8 se realizó con datos secundarios del geo portal MAE la identificación de las coberturas del uso del suelo para los años posteriores 2000 y 2022 siendo fundamental no solamente para el análisis de clasificación que se obtienen mediante las imágenes satelitales, si no también sirvió para comparar los criterios respectivamente a las coberturas que están presente en la zona de estudio.

Principalmente se evidenció que para el año 2000 en el cantón Salinas predominaba la zona de vegetación arbustiva y herbácea que se caracteriza por el crecimiento de vegetación en diferentes sustratos y pisos altitudinales aunque su origen pudo ser antropogénico, actualmente es de uso marginal esto es acompañado de una sutil expansión urbana llamado zonas antrópicas, esto sugiere una etapa inicial para el proceso de crecimiento urbano en comparación para el año 2022 donde se evidenció a gran escala la expansión de zonas antrópicas.

Figura 8.

Mapa de cobertura de uso de suelo período 2000 - 2022



Elaborado por: La Autora, 2026.

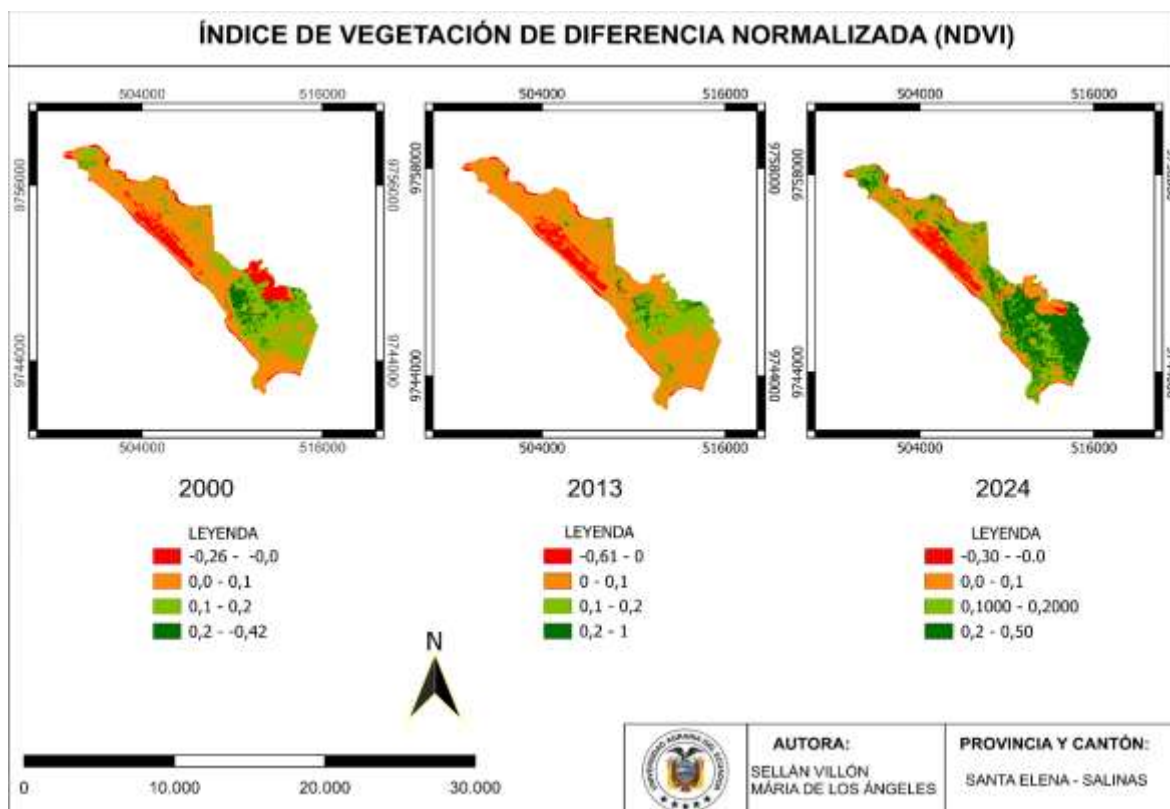
4.2 Índices espectrales (NDVI, NDBI, BSI, SAVI, NDWI) para detectar áreas con signos de degradación, impermeabilización y pérdida de vegetación natural y cuerpos hídricos.

En la figura 9, el mapa representa una distribución espacial del índice vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 2000, 2013, 2024 en el cantón Salinas donde los valores negativos o cercanos a 0 nos indican que son cuerpos de agua, zonas urbanas etc., valores bajo 0 y 0,1 indica vegetación escasa y valores que superaron 0,2 representa una mejor vegetación. Para el año 2000 se observó valores entre 0 y 0,2 expandidos por toda la zona reflejando una vegetación moderada que caracteriza al cantón, los valores que superaron los 0,2 indican mayor crecimiento de vegetación. Para el año 2013 se observó una disminución de los valores mayores a 0,2 y un aumento de valores 0 y 0,1 evidenciando la reducción de cobertura vegetal esto puede asociarse por el crecimiento urbano y turístico del cantón. Por último, en el año 2024 se observó una mejoría en la cobertura vegetal a comparación del año 2013 donde predominan sus tonalidades

verdes, este comportamiento posiblemente esté relacionado a regeneración natural.

Figura 9.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)



Elaborado por: La Autora, 2026.

Luego, se empleó el índice NDVI para obtener el promedio mínimo y máximo de cada cobertura vegetal de los periodos a evaluar 2000, 2013 y 2024. Estos valores se obtuvieron mediante la herramienta estadística de zona y posterior la herramienta estadística por categorías en Qgis como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.

Rangos de cobertura NDVI

Coberturas	Rangos NDVI					
	2000		2013		2024	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Vegetación Arbustiva y Herbácea	-0,06	0,36	-0,03	0,31	-0,04	0,44
Tierra Agropecuaria	-0,61	0,29	0,05	0,41	-0,02	0,50

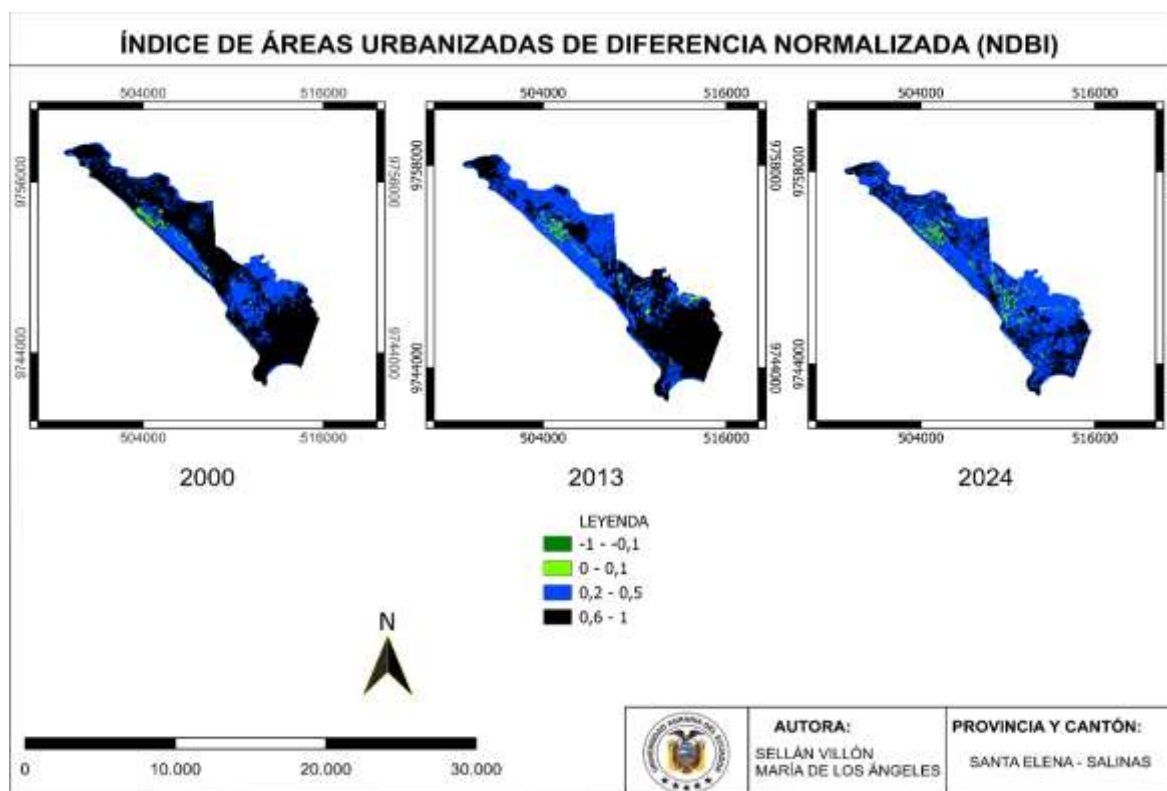
Cuerpo de Agua	-0,17	0,32	-0,17	0,40	-0,02	0,45
Zonas Antrópica	-0,15	0,27	-0,22	0,33	-0,28	0,42
Otras Tierras	-0,54	0,21	-0,26	0,42	-0,13	0,47

Elaborado por: La Autora, 2026.

En la figura 10, el mapa presenta una distribución espacial del índice de áreas urbanizadas de diferencia normalizada para los años 2000, 2013 y 2024 en el cantón Salinas, identificando los cambios que fueron ocasionados por las infraestructuras urbanas, para el año 2000 predominaban los valores entre 0.6 y 1 que reflejaba la presencia de superficies urbanas ya consolidadas en zonas con mayor desarrollo turístico y residencial, para el año 2013 se observó que estos valores se redistribuían aumentando su expansión en sectores urbanísticos del centro del cantón y finalmente para el año 2024 se sigue manteniendo una continuidad de la expansión de superficies urbanizadas indicando una consolidación del proceso de territorio urbano y turístico.

Figura 10.

Índice de Áreas Urbanizadas de Diferencia Normalizada (NDBI)



Elaborado por: La Autora, 2026.

Luego, se empleó el índice NDBI para obtener el promedio mínimo y máximo de cada cobertura vegetal de los periodos a evaluar 2000, 2013 y 2024. Estos valores se obtuvieron mediante la herramienta estadística de zona y posterior la herramienta estadística por categorías en Qgis como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7.

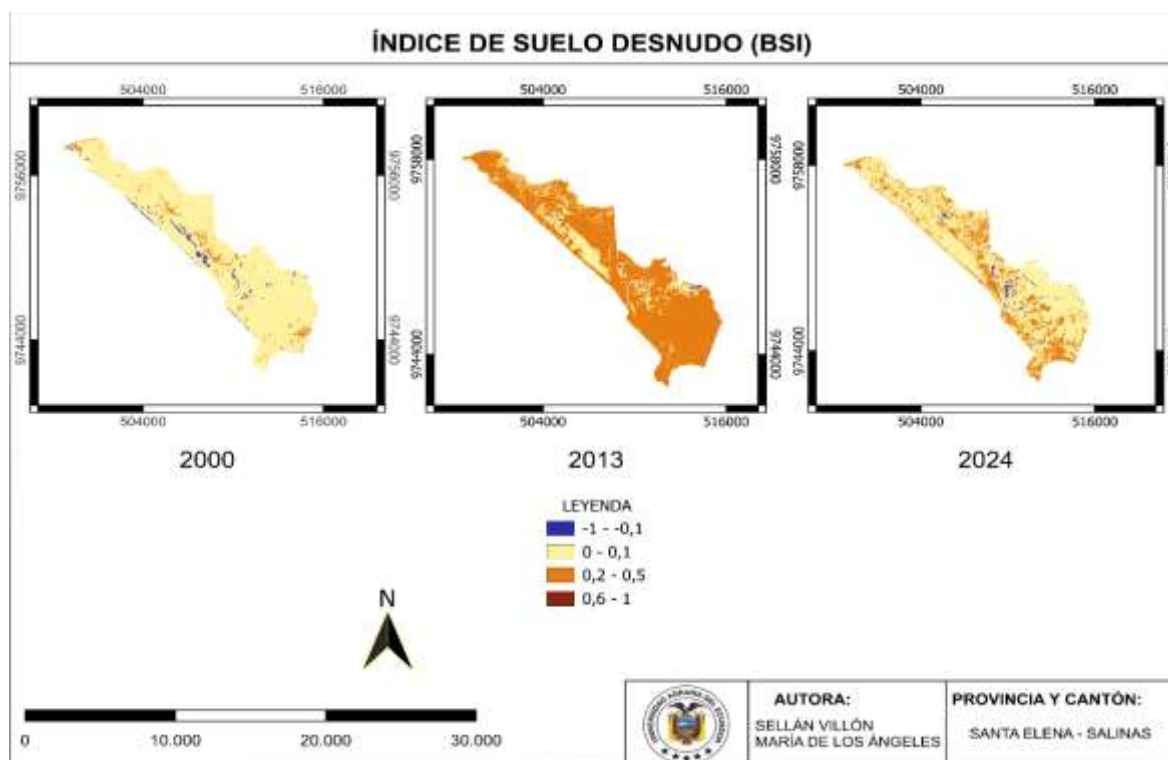
Rangos de cobertura NDBI

Coberturas	Rango NDBI					
	2000		2013		2024	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Vegetación Arbustiva y Herbácea	-0,25	0,19	-0,16	0,18	-0,31	0,11
Tierra Agropecuaria	-0,49	0,13	-0,23	0,16	-0,31	0,09
Cuerpo de Agua	-0,35	0,13	-0,28	0,17	-0,32	0,04
Zonas Antrópica	-0,35	0,13	-0,33	0,17	-0,45	0,10
Otras Tierras	-0,44	0,15	-0,38	0,17	-0,41	0,11

Elaborado por: La Autora, 2026.

En la figura 11 el mapa representa una distribución espacial del índice de suelo desnudo para los años 2000, 2013, 2024, sabiendo que con el índice BSI se pueda identificar superficies con poca cobertura vegetal, para el año 2000 el área presenta un predominio con valores de 0 y 0,1 evidenciando una cobertura estable donde sus zonas parcialmente estaba protegido por vegetación, los valores entre 0,2 y 0,5 aparecieron de forma dispersa y sus valores negativos indicaron concentraciones de cuerpo de agua. Para el año 2013 existió un cambio muy significativo con referente a la distribución del índice donde sus valores 0,2 y 0,5 ocupan parte de la zona de estudio indicando un gran incremento de suelos desnudos asociado a la expansión urbana y a su vez una intensificación por actividades turísticas y urbanas del cantón, disminuyendo la cobertura vegetal natural. Para el año 2024 se mostró una reducción de superficies clasificadas de suelos desnudos a comparación del periodo 2013 esto pudo ser a causa de la recuperación de la cobertura vegetal en zonas específicas, no obstante, aún se evidencian que continúan existiendo sectores susceptibles y la degradación de suelo.

Figura 11.

Índice de Suelo Desnudo (BSI)

Elaborado por: La Autora, 2026.

Luego, se empleó el índice BSI para obtener el promedio mínimo y máximo de cada cobertura vegetal de cada periodo a evaluar 2000, 2013 y 2024. Estos valores se obtuvieron mediante la herramienta estadística de zona y posterior la herramienta estadística por categorías en Qgis como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Rangos de cobertura BSI

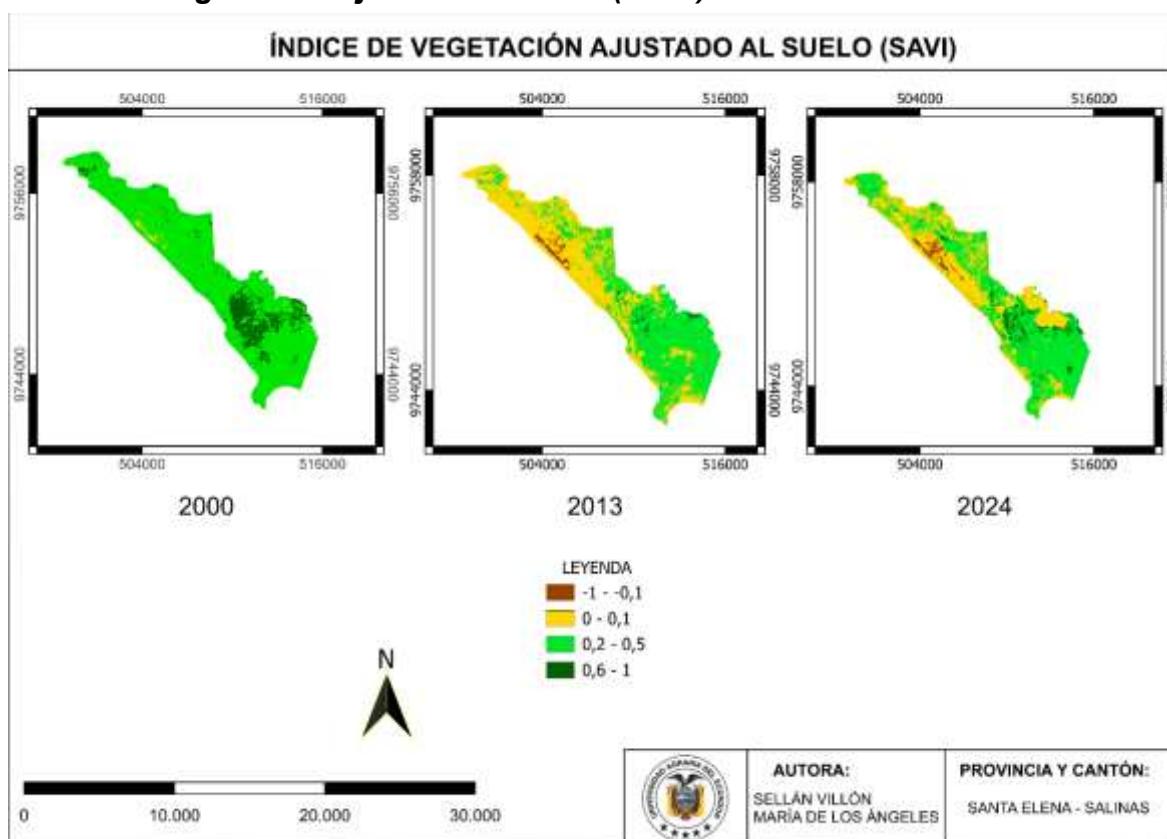
Coberturas	Rango BSI					
	2000		2013		2024	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Vegetación Arbustiva y Herbácea	-0,15	0,15	-0,08	0,13	-0,20	0,09
Tierra Agropecuaria	-0,10	0,40	-0,13	0,13	-0,26	0,10
Cuerpo de Agua	-0,11	0,11	-0,12	0,15	-0,20	0,06
Zonas Antrópica	-0,06	0,12	-0,08	0,13	-0,18	0,12
Otras Tierras	-0,06	0,32	-0,18	0,13	-0,24	0,11

Elaborado por: La Autora, 2026.

En la figura 12 el mapa representa una distribución espacial del índice de vegetación ajustado al suelo para los periodos 2000, 2013, 2024 permitiendo evaluar con más precisión la cobertura vegetal de la zona de estudio. Para el año 2000 se observó un gran predominio en los valores 0,2 a 1 evidenciándose una vegetación homogénea y de alto vigor, por otro lado los valores negativos indican una limitada presencia de suelos descubiertos a escasas, en el año 2013 se evidencia un cambio significativo reflejando una disminución de cobertura vegetal y mayor exposición a suelos desnudos relacionado a procesos de expansión urbana, y para el año 2024 se observó una recuperación parcial del sector presentándose en mejor estado esta cobertura con valores entre 0,6 a 1 pero aun así se sigue manteniendo en menor grado en comparación al año 2000.

Figura 12.

Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)



Elaborado por: La Autora, 2026.

Luego, se empleó el índice SAVI para obtener el promedio mínimo y máximo de cada cobertura vegetal de cada periodo a evaluar 2000, 2013 y 2024. Estos valores se obtuvieron mediante la herramienta estadística de zona y posterior la herramienta estadística por categorías en Qgis como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

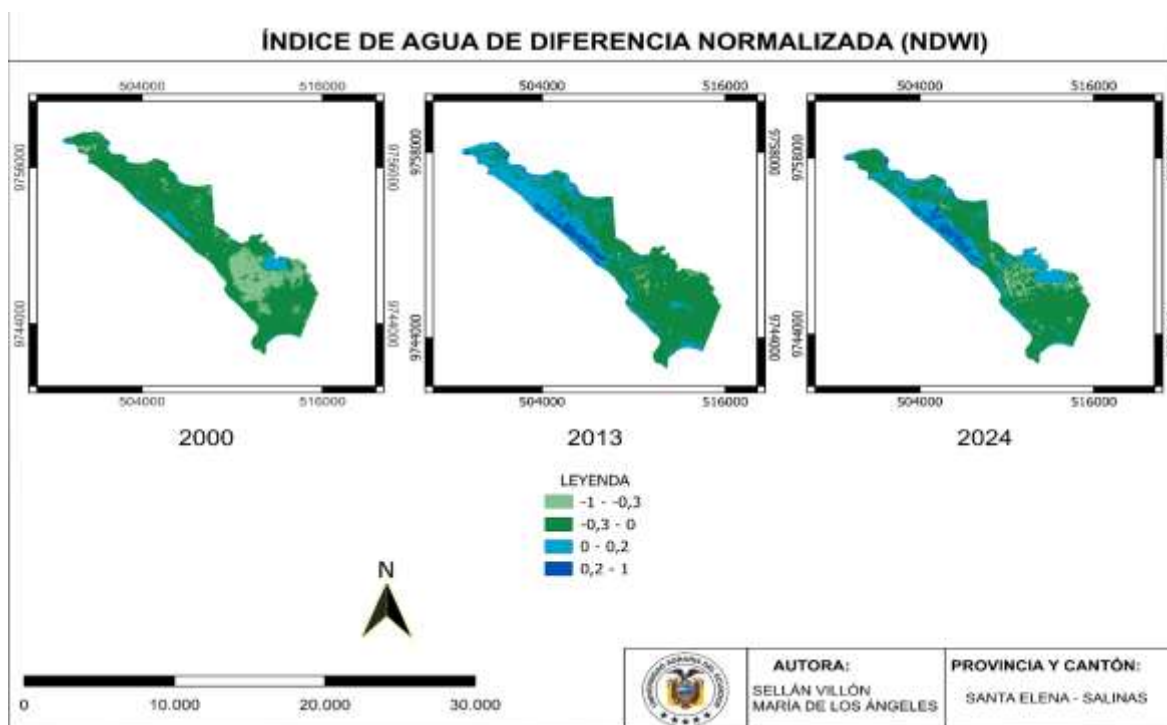
Rangos de cobertura SAVI

Coberturas	Rangos SAVI					
	2000		2013		2024	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Vegetación Arbustiva y Herbácea	-0,09	0,52	-0,05	0,46	-0,06	0,67
Tierra Agropecuaria	-0,91	0,44	0,07	0,62	-0,03	0,75
Cuerpo de Agua	-0,25	0,48	-0,25	0,60	-0,02	0,67
Zonas Antrópica	-0,22	0,41	-0,32	0,50	-0,42	0,63
Otras Tierras	-0,81	0,32	-0,38	0,63	-0,20	0,70

Elaborado por: La Autora, 2026.

En la figura 13, el mapa representa una distribución espacial del índice de agua de diferencia normalizada para los años 2000, 2013, 2024 en el cantón Salinas donde los valores positivos 0 a 1 indican cuerpos de agua con mayor contenido de humedad en cambio sus valores negativos -1 a 0 indican escasa humedad a causa de suelos desnudos y zonas urbanas. Para el año 2000 se presentaron valores entre -0,3 a 0 que se encontraron distribuidos por toda la zona indicando condiciones de humedad moderada siendo parte del ecosistema semiárido del cantón, los valores positivos evidenciaron mayor afluencia de agua, y por último los valores negativos -1 y -0,3 fueron asociados a menor concentración de humedad y mayor exposición a suelos desnudos. Para el año 2013 se observó un incremento de humedad superficial a causa de los cambios climáticos favorables para la zona costera, sin embargo, aún predominaba en gran parte del territorio valores entre -0,3 y 0 esto a causa por las mismas características del ecosistema seco del cantón. Por último, para el año 2024 mantuvo sus valores positivos en la franja costera similares a los del 2013, para la zona sur se evidenció una gran expansión de valores negativos -1 a -0,3 indicando una baja humedad superficial en sectores específicos a causa de la expansión urbana.

Figura 13.

Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)

Elaborado por: La Autora, 2026.

Luego, se empleó el índice NDWI para obtener el promedio mínimo y máximo de cada cobertura vegetal de cada periodo a evaluar 2000, 2013 y 2024. Estos valores se obtuvieron mediante la herramienta estadística de zona y posterior la herramienta estadística por categorías en Qgis como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

Rango de coberturas NDWI

Coberturas	Rango NDWI					
	2000		2013		2024	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Vegetación Arbustiva y Herbácea	-0,33	0,10	-0,28	0,002	-0,40	0,02
Tierra Agropecuaria	-0,28	0,48	-0,38	-0,06	-0,45	0,02
Cuerpo de Agua	-0,29	0,16	-0,36	0,15	-0,41	0,03
Zonas Antrópica	-0,28	0,14	-0,31	0,15	-0,37	0,24
Otras Tierras	-0,22	0,51	-0,39	0,19	-0,41	0,09

Elaborado por: La Autora, 2026.

4.2.1 Píxeles Puros

Separadas las coberturas por cada año, se extrajeron los píxeles puros del mapa ya poligonizado de la imagen 2000, 2013 y 2024 con el objetivo de saber que coberturas caen directamente dentro de cada píxel y así evitar errores entre coberturas.

Cuando se obtuvo el total de píxeles puros por los tres periodos, se trabajo con una parte de aquellos, mediante el método de muestreo estratificado donde sus resultados se muestran a continuación en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 11.

Selección de píxeles puros 2000

Píxeles Periodo 2000					
Coberturas	Píxeles Puros totales	Porcentaje seleccionado %	Píxeles Puros muestreo	Píxeles de Entrenamiento 70%	Píxeles de Control 30%
Zonas Antrópica	4000	99.6	3984	2789	1243
Otras Tierras	3341	100.1	3343	2340	1000
Tierra Agropecuaria	2339	100.3	2347	1643	690
Vegetación					
Arbustiva y Herbácea	4000	99.4	3977	2784	1143
Cuerpo de Agua	4000	100.7	4029	2820	1228
TOTAL	17680		17680	12376	5304

Elaborado por: La Autora, 2026.

Tabla 12.

Selección de píxeles puros 2013

Píxeles Periodo 2013					
Coberturas	Píxeles Puros totales	Porcentaje seleccionado %	Píxeles Puros muestreo	Píxeles de Entrenamiento 70%	Píxeles de Control 30%
Zonas Antrópica	4000	98.2	3928	2750	1146
Otras Tierras	4000	101.6	4062	2844	1197
Tierra Agropecuaria	4000	99.6	3984	2789	1203
Vegetación					
Arbustiva y Herbácea	4000	100.9	4035	2825	1181
Cuerpo de Agua	4000	99.8	3991	2794	1273
TOTAL	20000		20000	14002	6000

Elaborado por: La Autora, 2026.

Tabla 13.

Selección de píxeles puros 2024

Píxeles Periodo 2024					
Coberturas	Píxeles Puros totales	Porcentaje seleccionado %	Píxeles Puros muestreo	Píxeles de Entrenamiento 70%	Píxeles de Control 30%
Zonas Antrópica	4000	100.6	4024	2817	1193
Otras Tierras	2887	101.1	2919	2043	874

Tierra	4000	98.6	3943	2760	1172
Agropecuaria					
Vegetación					
Arbustiva y	4000	100.2	4007	2805	1202
Herbácea					
Cuerpo de	2219	99.7	2213	1549	690
Agua					
TOTAL	17106		17106	11974	5131

Elaborado por: La Autora, 2026.

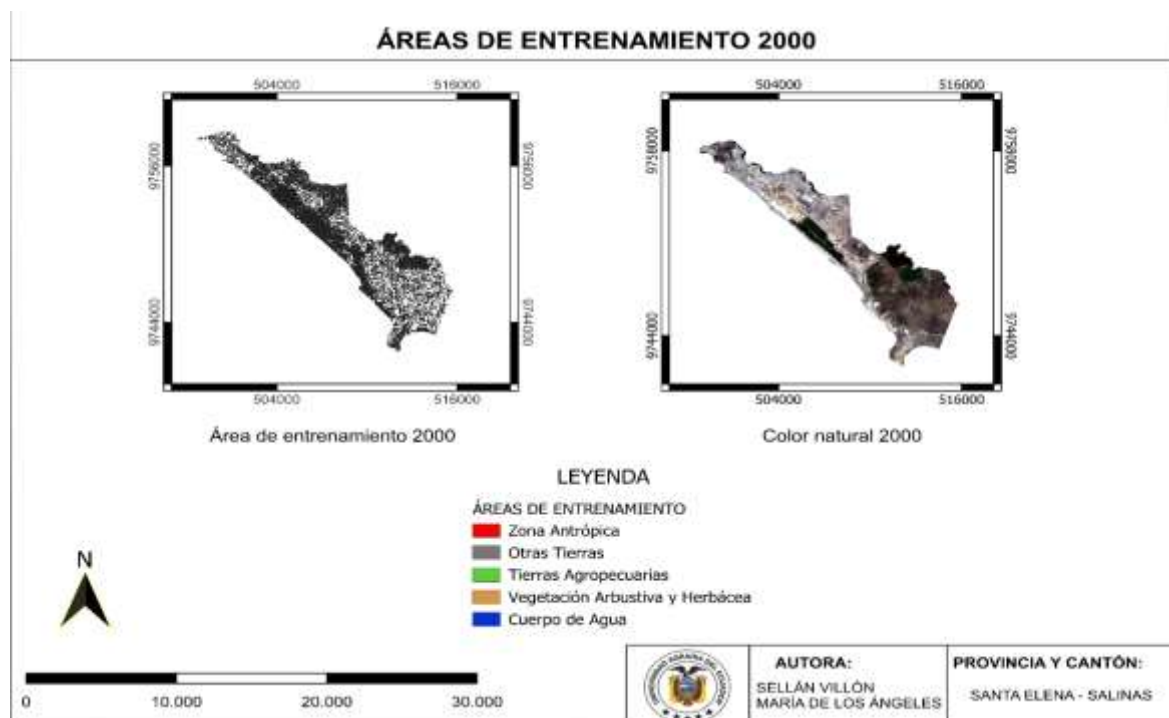
Se observa que para los tres periodos se tomó el 100% en termino general, no obstante, existió variaciones de decimales superiores a 100 esto es debido a que los datos se dividieron, utilizando las agrupaciones de los polígonos completos de cada cobertura, el número de muestras no afectara significativamente los resultados garantizando que los datos sean más rigurosos y precisos.

4.2.2 Áreas de Entrenamiento

Obteniendo los pixeles puros de muestreo de cada cobertura por los tres periodos, el 70% se usó como entrenamiento para la clasificación, se realizó este procedimiento por separado ya que da mejores resultados y concuerda con la metodología de clasificación supervisada. De acuerdo con Veneros y García (2020) la clasificación supervisada requiere áreas de entrenamiento para crear una identificación numérica comparando cada píxel de la imagen ayudando al análisis del nivel de error y de discriminación.

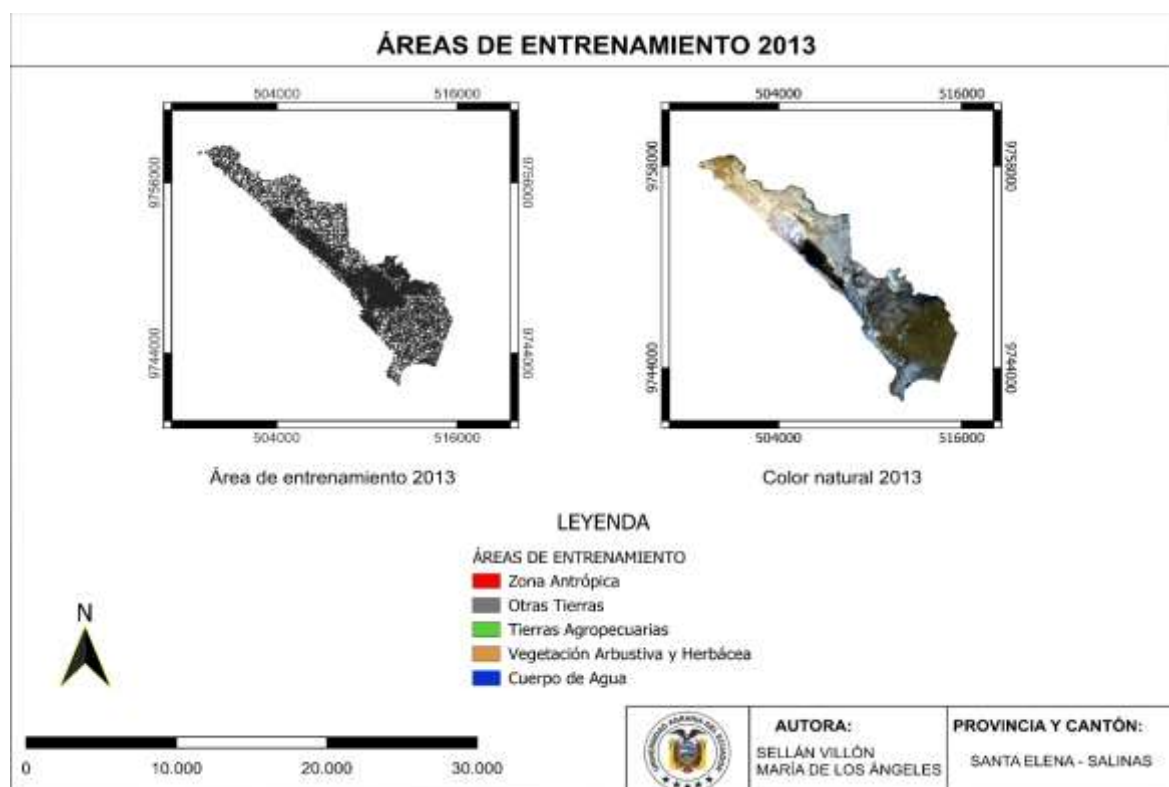
Los resultados de la selección aleatoria se muestran a continuación en la Figura 14, Figura 15 y Figura 16.

Figura 14.

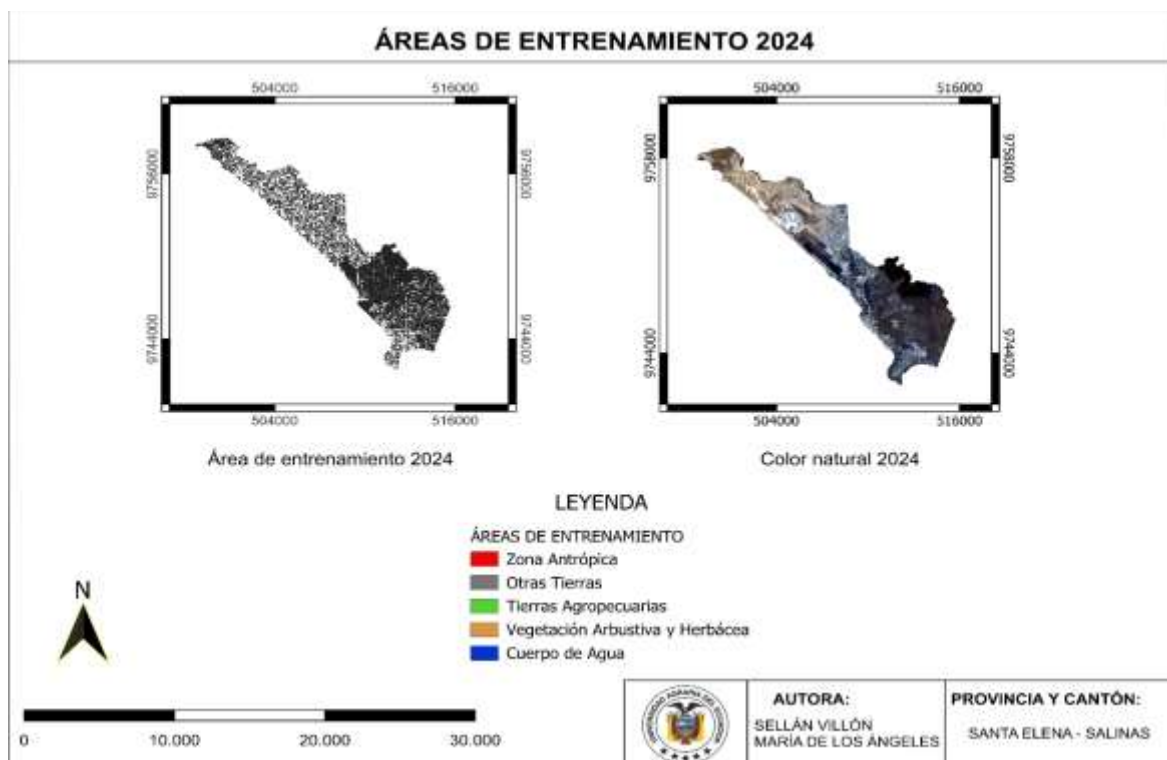
Áreas de entrenamiento 2000

Elaborado por: La Autora, 2026.

Figura 15.

Áreas de entrenamiento 2013

Elaborado por: La Autora, 2026.

Figura 16.**Áreas de entrenamiento 2024**

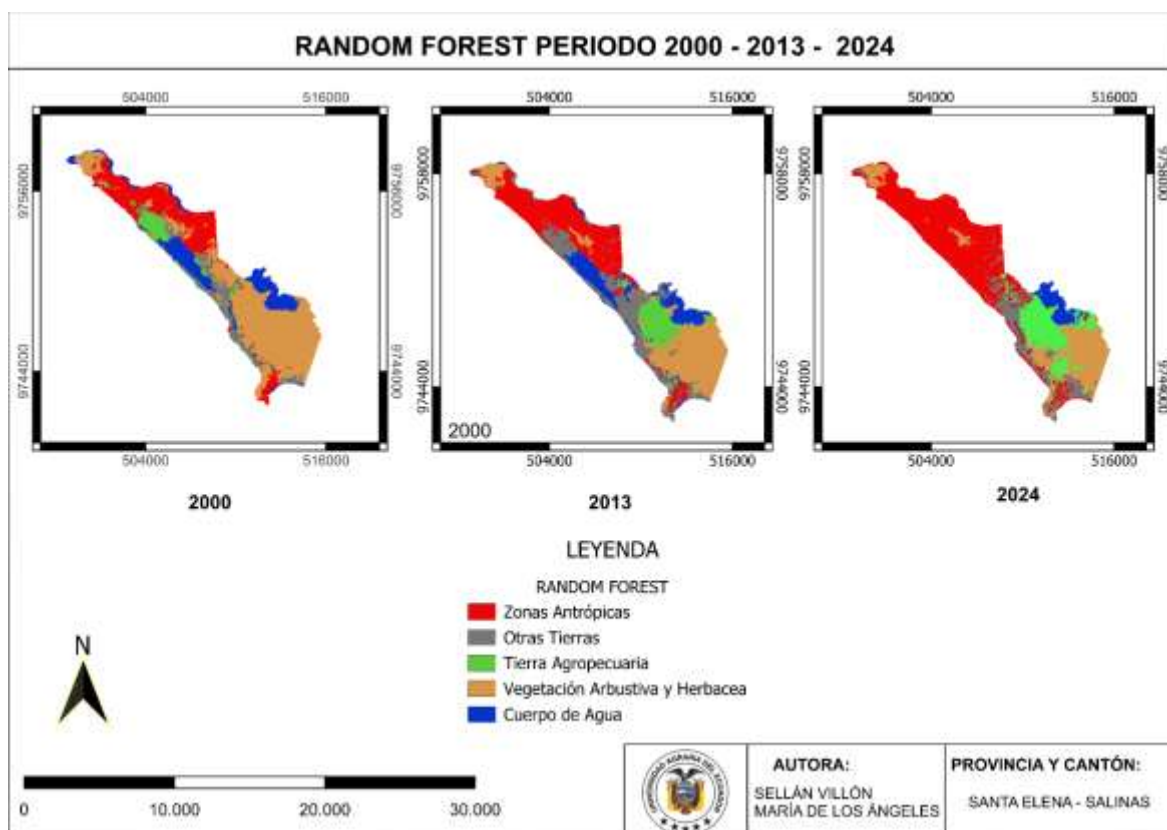
Elaborado por: La Autora, 2026.

4.3 Coberturas del suelo para los años 2000, 2013 y 2024 mediante imágenes Landsat e índices espectrales, aplicando algoritmos de clasificación supervisada como Random Forest y análisis espacial para cuantificar los cambios en el territorio.

4.3.1 Random Forest

A partir de la clasificación supervisada con el algoritmo DZetsaka Classifier de Random Forest en Qgis, se aplicó la simplificación de las imágenes ráster para eliminar píxeles aislados que generan ruido y homogeneizar la zona de estudio, como producto final se obtuvo la clasificación supervisada para los años 2000, 2013 y 2024 como se muestra a continuación en la Figura 17.

Figura 17.

Random Forest periodo 2000 - 2013 - 2024

Elaborado por: La Autora, 2026.

4.3.2 Control de Error

El control de error se obtuvo mediante el cálculo de matriz de confusión que arrojó Random Forest, mediante los píxeles puros de control elegidos aleatoriamente de cada cobertura para los distintos años, dicho estadístico se encuentra con más detalle en la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16.

El rendimiento que se originó del algoritmo Random Forest mediante la matriz de confusión para el año 2000 demuestra una gran aceptación de separabilidad espectral para cada cobertura, destacándose cuerpos de agua y zonas antrópicas con 1366 y 1150 píxeles de forma correcta al clasificarse. Por otro lado se observaron tasas de confusión en donde 99 píxeles de vegetación arbustiva y herbácea se clasificaron erróneamente como zonas antrópicas esto puede suceder ser ya que la zona de estudio es un suelo semiárido en donde la reflectancia de vegetación puede confundirlo con áreas de construcción o turísticos, así mismo existieron 22 píxeles de tierras agropecuarias que fueron confundidos con vegetación arbustiva y herbácea y 21 píxeles con otras tierras, se puede

interpretar de que el satélite perciba estas tierras agropecuarias de una manera idéntica con otras tierras ya que pierden su verde natural y sea confundida con otras coberturas.

Tabla 14.

Matriz de confusión 2000

Clasificación 2000	Verdad del Terreno				
Coberturas	Zona Antrópica	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Cuerpo de Agua
Zona Antrópica	1150	9	15	16	1
Otras Tierras	10	893	21	14	11
Tierra Agropecuaria	8	21	603	12	22
Vegetación Arbustiva y Herbácea	99	24	4	1112	12
Cuerpo de Agua	5	20	9	29	1366

Elaborado por: La Autora, 2026

Para el año 2013, la matriz de confusión sigue manteniendo una gran aceptación de separabilidad espectral para cada cobertura, en donde los mayores aciertos caen en vegetación arbustiva y herbácea con 980 píxeles y tierras agropecuarias con 960 píxeles, sin embargo el análisis presenta un grado de confusión entre las zonas antrópicas y otras tierras donde 171 píxeles de otras tierras caen en zonas antrópicas y esto suele deberse a que el suelo del sector son zonas salinas indicando un nivel de reflectancia muy alto confundiendo esta similitud entre tierra seca o desnudos con infraestructuras urbanas. En cambio 91 píxeles de otras tierras fueron erróneamente colocados en cuerpos de agua, esto por la presencia de superficies de gran humedad que fue capturado en la toma de imagen confundiéndolo por cuerpos de agua.

Tabla 15.

Matriz de confusión 2013

Clasificación 2013	Verdad del Terreno				
Coberturas	Zona Antrópica	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Cuerpo de Agua
Zona Antrópica	804	171	16	36	9
Otras Tierras	62	925	24	29	25
Tierra Agropecuaria	1	12	960	59	3
Vegetación Arbustiva y Herbácea	47	11	42	980	11
Cuerpo de Agua	12	91	11	25	884

Elaborado por: La Autora, 2026.

Para el año 2024, la matriz de confusión analiza una consolidación en las zonas antrópicas con 898 píxeles esto indica un cambio en las expansión de la superficie en la zona de estudio, donde se presenta mayor concentración de validez es en las coberturas de tierras agropecuarias con 924 píxeles y vegetación arbustiva y herbácea con 912 píxeles, no obstante se observó una confusión de 98 píxeles de vegetación arbustiva cae en tierra agropecuaria y 64 píxeles en el sentido contrario siendo la representación más importante para este periodo por la presencia de cultivos abandonados o zonas de matorrales que comparten parcelas agrícolas dificultando al algoritmo asigne un valor correcto para ambas coberturas. Asimismo 128 píxeles que eran de otras tierras fueron asignados a zonas antrópicas, aunque su valor disminuyó en comparación del año 2013 este se mantiene notable ya que los asentamientos informales o tierras sin pavimentar la reflectancia los confunde con suelos desnudos del área de estudio.

Tabla 16.**Matriz de confusión 2024**

Clasificación 2024	Verdad del Terreno				
Coberturas	Zona Antrópica	Otras Tierras	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Cuerpo de Agua
Zona Antrópica	898	128	16	24	2
Otras Tierras	55	615	16	27	38
Tierra Agropecuaria	20	28	924	64	37
Vegetación Arbustiva y Herbácea	14	43	98	912	4
Cuerpo de Agua	0	7	9	6	578

Elaborado por: La Autora, 2026.

También es importante indicar que para el año 2000 obtuvo una precisión en general del 93,4% y un F1_Score muy significativo del 93,1% esto indica que la clasificación tuvo un excelente rendimiento. Para el año 2013 obtuvo una precisión en general de 86,7% y un F1_Score de 86,8% indicando que la clasificación fue un buen rendimiento y para el año 2024 tuvo una precisión general y un F1_Score de 86,1% también teniendo un buen rendimiento asegurando que para cada periodo las coberturas clasificadas si corresponden al área de estudio, esto se puede observar a continuación en las Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19 de las matrices de rendimiento por cada cobertura del suelo.

Tabla 17.**Matriz de rendimiento 2000**

2000			
Cobertura del suelo	Precision	Recall	F1-Score
Zona Antrópica	0.904088	0.965575	0.933821

Otras Tierras	0.923475	0.940991	0.932150
Tierra Agropecuaria	0.924847	0.905405	0.915023
Vegetación Arbustiva y Herbácea	0.939983	0.888889	0.913722
Cuerpo de Agua	0.967422	0.955913	0.961633

Elaborado por: La Autora, 2026.

Tabla 18.

Matriz de rendimiento 2013

2013			
Cobertura del suelo	Precision	Recall	F1-Score
Zona Antrópica	0.868251	0.776062	0.819572
Otras Tierras	0.764463	0.868545	0.813187
Tierra Agropecuaria	0.911681	0.927536	0.919540
Vegetación Arbustiva y Herbácea	0.868025	0.898258	0.882883
Cuerpo de Agua	0.948498	0.864125	0.904348

Elaborado por: La Autora, 2026.

Tabla 19.

Matriz de rendimiento 2024

2024			
Cobertura del suelo	Precision	Recall	F1-Score
Zona Antrópica	0.909828	0.840824	0.873966
Otras Tierras	0.749086	0.818908	0.782443
Tierra Agropecuaria	0.869238	0.861137	0.865169
Vegetación Arbustiva y Herbácea	0.882865	0.851541	0.866920
Cuerpo de Agua	0.877086	0.963333	0.918189

Elaborado por: La Autora, 2026.

4.3.3 Detección de cambios

Para concluir con respecto al tratamiento de los ráster de cobertura de uso del suelo se logró identificar y comparar el cambio neto y relativo para los periodos 2000 – 2013, 2013 – 2024 y 2000 - 2024 para distinguir que áreas aumentaron o redujeron con el paso del tiempo, evidenciándose en la Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22.

Durante el periodo 2000 y 2013, el cantón Salinas obtuvo un cambio acelerado a causa de las expansiones urbanas y turísticas a costa de las coberturas naturales en este tiempo, zonas antrópicas registró un aumento en su cobertura de 1.1400,06 ha, representando un 37% para el año 2013 siendo un crecimiento promedio de 87,70 ha/año por otro lado vegetación arbustiva y herbácea sufrió perdida severa en dicho periodo del 43,58% a causa de la degradación masiva del suelo.

Para el siguiente periodo a estudiar 2013 y 2024 existió un cambio relevante en la disminución de cuerpos de agua de 786,13 ha para el año 2013 a 297,97 ha para el año 2024 siendo vinculada a procesos de construcción de piscinas para el uso pesquero o de lagunas costeras, por otro lado las tierras agropecuarias se registró un aumento del 83,72% a causa de construcciones agrícolas locales, asimismo zonas antrópicas integrando 980,16 ha superado el umbral del territorio con el 50% de la cobertura total.

Indica que existieron variaciones a lo largo del tiempo en el período analizado, los cambios que más predominaron fue en las zonas antrópicas presentando un aumento considerable de 2120.22 ha que equivale más del 156% del cambio relativo para el año 2022 a causa de la expansión urbana, en vegetación arbustiva y herbácea se registró una gran pérdida para el año 2022 de 2057.05 ha que equivale el 57% de su extensión inicial a causa de transformaciones para usos urbanos o agropecuarios, las tierras agropecuarias reflejaron un incremento de 619.07 ha por expansiones agropecuarias, por otro lado para el año 2022 se redujo un 64% para los cuerpo de agua de su estado inicial esto puede estar asociado a cambios hidrológicos y finalmente se tuvo la categoría de otras tierras que presentó una variación mínima de cambio al disminuir 1371.45 ha representado un 22% de su estado inicial.

Tabla 20.

Matriz de cobertura de uso del suelo año 2000 al 2013

COBERTURA DE USO DEL SUELO	AÑO 2000 (Ha)	AÑO 2013 (Ha)	CAMBIO 2000 - 2013 (Ha)	Tasa de Cambio Neto (Ha/Año)	Cambio Relativo Porcentual (%)
Otras tierras	574,39	893,81	319,42	24,57	55,61
Cuerpo de agua	844,47	786,13	-58,34	-4,49	-6,91
Zona Antrópica	1358,52	2498,58	1140,06	87,70	83,92
Vegetación					
Arbustiva y Herbácea	3609,54	2036,37	-1573,17	-121,01	-43,58
Tierra Agropecuaria	365,42	535,39	169,96	13,07	46,51
TOTAL	6752,34	6750,27			

Elaborado por: La Autora, 2026.

Tabla 21.

Matriz de cobertura de uso del suelo año 2013 al 2024

COBERTURA DE USO DEL SUELO	AÑO 2013 (Ha)	AÑO 2024 (Ha)	CAMBIO 2013 - 2024 (Ha)	Tasa de Cambio Neto (Ha/Año)	Cambio Relativo Porcentual (%)
Otras Tierras	893,81	447,66	-446,15	-40,56	-49,92
Cuerpo de Agua	786,13	297,97	-488,16	-44,38	-62,10
Zona Antrópica	2498,58	3478,73	980,16	89,11	39,23
Vegetación					
Arbustiva y Herbácea	2036,37	1544,34	-492,03	-44,73	-24,16
Tierra Agropecuaria	535,39	983,64	448,25	40,75	83,72

TOTAL	6750,27	6752,34
--------------	----------------	----------------

Elaborado por: La Autora, 2026.

Tabla 22.

Matriz de cobertura de uso del suelo año 2000 al 2024

COBERTURA DE USO DEL SUELO	AÑO 2000 (Ha)	AÑO 2024 (Ha)	CAMBIO 2000 - 2024 (Ha)	Tasa de Cambio Neto (Ha/Año)	Cambio Relativo Porcentual (%)
Otras Tierras	574,39	447,66	-126,73	-11,52	-22,06
Cuerpo de Agua	844,47	297,97	-546,50	-49,68	-64,71
Zona Antrópica	1358,52	3478,73	2120,22	192,75	156,07
Vegetación					
Arbustiva y	3609,54	1544,34	-2065,21	-187,75	-57,22
Herbácea					
Tierra					
Agropecuaria	365,42	983,64	618,22	56,20	169,18
TOTAL	6752,34	6752,34			

Elaborado por: La Autora, 2026.

4.4 Soluciones para áreas prioritarias en la gestión y planificación territorial sostenible, a partir del análisis multitemporal de cambios en el uso del suelo y videncias de degradación ambiental.

En base al análisis de las coberturas de uso del suelo para los 3 periodos, se lograron identificar niveles de transformación territorial y de deterioro en el cantón Salinas, los resultados muestran un incremento de sus superficies urbanas, y una reducción de cobertura vegetal a causa de estas. En este contexto se busca soluciones que prioricen la planificación territorial en las zonas donde existe mayor pérdida de cobertura vegetal a causa de fragmentaciones del paisaje y deterioro del recurso suelo.

Se busca fortalecer la conservación de los ecosistemas del área de estudio, debido a su importancia ecológica de igual manera a las áreas de alto valor como

el índice de suelo desnudo mediante programas de restauración, con especies que sean nativas del sector con el propósito de recuperar la función de su suelo.

Con respecto al crecimiento urbano que fueron obtenidos mediante los resultados del NDBI se evidencia una expansión significativa con el transcurso del tiempo por lo que se considera necesario regular el desarrollo urbano en zonas que sean aptas para ocupar, medidas que deberían articularse en el PDOT del cantón Salinas para promover un modelo más sostenible con respecto a la ocupación territorial.

Por último, se propone un sistema de constante monitoreo ambiental en base a imágenes satelitales y SIG permitiendo evaluar periódicamente el constante cambio que vaya existiendo en la cobertura y uso de suelo con el fin de proporcionar información oficial a las autoridades locales para guiar tácticas de conservación y restauración sostenible en el cantón Salinas.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que el cantón Salinas experimentó una gran pérdida de cobertura vegetal y el uso del suelo entre los años 2000 y 2024 estos cambios fueron asociados a factores antropogénicos y turísticos, validando así la información expuesta por Luna (2022) donde menciona que las presiones como deforestación, urbanización etc. son los que afectan al cambio climático a largo plazo.

Dentro de sus índices para el año 2000, la vegetación arbustiva y herbácea predominaba entre sus paisajes con más de 3597.43 ha, con el pasar del tiempo para los años 2013 en adelante sufrió una drástica pérdida del -57.18% más de 2057.05 ha esto coincide con lo planteado por Yagual (2020), que indica que estas zonas experimentaron alteraciones desde principios del siglo XX a causa de perforaciones petroleras siendo una problemática ambiental hasta la actualidad.

Por otro lado, la degradación tuvo presión en tierras agropecuarias aumentando un 169.42% de su cobertura original pasando de 365.4 ha a 984.47 ha dicho incremento responde a la parte alimenticia y subsistencia local autores como Ramírez (2020) y Echeverri & Cotler (2020) mencionan que las actividades que tienen los trabajadores agropecuarios benefician al ser humano pero provocan un impacto ambiental negativo mediante el uso de fertilizantes o insecticidas que degradan paulatinamente los suelos agropecuarios.

El integrar los índices espectrales demostró como estrategia clave para tener mayor veracidad sobre una degradación superficial en las costas de la provincia de Santa Elena, en el análisis del NDVI se obtuvieron rangos máximos de vegetación arbustiva entre 0.38 para el año 2000 y una baja de 0.31 para el 2013, en cambio existió un aumento del 0.44 para el 2024 dicho comportamiento es analizado en conjunto con el índice SAVI donde los valores máximos llegaron a 0.52 para el año 2000, 0.46 para el 2013 y 0.67 para el año 2024. Se sabe que el índice posee mayor sensibilidad en lugares semiáridos como lo es las costas de Salinas sin embargo se observó una mejoría para el año 2024 respondiendo a procesos de regeneración natural, aunque aun visiblemente se observa parcelas fragmentadas.

Los comportamientos del NDBI y del BSI aseguran la consolidación urbana y de suelos desnudos, dentro de las zonas antrópicas existieron valores que alcanzaron hasta el 0.33 para el año 2013 lo que establece con precisión el sellado de superficies artificiales, el índice BSI mostro valores consistentes entre 0.12 y

0.13 para zonas antrópicas y de transición revelando la susceptibilidad a la erosión eólica e hídrica.

Finalmente se encuentra el índice NDWI que cuenta con un criterio fundamental sobre la pérdida de humedales, en zonas antrópicas el índice disminuyó drásticamente de -0.28 (2000) al -0.37 (2024) indicando un avance en las superficies impermeables alterando el balance hídrico para la zona costera, y concuerda con el análisis de Baldassini & Paruelo (2020) que en Argentina en los suelos semiáridos de Chaco existió un punto crítico de deforestación a causa de distintas prácticas antropogénicas mostrando cambios negativos ambientales.

El adoptar algoritmos de Machine Learning como Random Forest proporciona una precisión cartográfica superior a métodos estadísticos tradicionales, como lo menciona los autores Veneros & García (2020) que exista una separación de píxeles puros usando un 70% para entrenar y un 30% para el control de error este análisis estadísticamente procesa cartográficamente contrastando los píxeles de sobreajuste.

Como indican los autores Bozzer & Cisneros (2024), el usar este algoritmo logra predecir el grupo de árboles teniendo una información espectral y topográfica siendo potencial para el monitoreo de cambio en la cobertura del suelo, así como la aplicación de políticas públicas y planificación territorial.

En base al desempeño de las matrices de rendimiento se revela que para el año 2000 tuvo una excelente precisión global del 93.4%, para el 2013 y 2024 una precisión buena de 86.8% y 86.1% respectivamente, a pesar de contar con excelentes rendimientos el reporte de control de error identificó riesgos específicos que son por la misma naturaleza semiárida del cantón Salinas.

Desde una perspectiva de gestión ambiental y territorial, el cambio descontrolado de suelos semiáridos ubicados en la zona de estudios es una prioridad ante el interés público, en un estudio reciente por Jarrín (2026) menciona que las actividades turísticas son el principal factor para la contaminación y degradación de recursos naturales ya que el aumento de visitas turísticas a lo largo del año incrementa con la generación de residuos afectando la calidad de agua y suelo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el análisis espacial se pudo evidenciar una alteración en el recurso suelo de la zona de estudio, indicando una predominación de la cobertura de vegetación arbustiva y herbácea para el año 2000, sin embargo, en los años posteriores 2013 y 2024 se incrementó el acelerado proceso de expansión urbana y turística provocando pérdidas significantes en la cobertura natural.

La integración de los cinco índices resultó eficiente el poder evaluar para identificar las condiciones biofísicas del sector, los índices NDVI y SAVI buscaron con precisión la gran degradación entre los periodos 2000 y 2013, no obstante, para el año 2024 hubo zonas donde existió regeneración natural. El índice NDBI indicó un gran crecimiento de expansión urbano con el transcurso del tiempo por superficies ya construidas, mientras que BSI presentó una alta incrementación de suelos desnudos y NDWI una pérdida de humedales superficiales para el último periodo 2024 confirmando una vez más la susceptibilidad de la degradación del suelo por efectos antrópicos.

El algoritmo de Random Forest demostró ser un análisis para saber la confusión espectral mediante la segmentación de áreas de entrenamiento y control de error que otorgar validez estadística a los mapas temáticos con la finalidad de saber que áreas son más susceptibles con el paso del tiempo.

Estos hallazgos demuestran una alta presión demográfica y turística ocasionando un desorden territorial a causa de los asentamientos urbanos, necesitando así una intervención urgente de parte de las autoridades locales para mayor control en el área de estudio.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda que las autoridades locales como el GAD Municipal de Salinas incluya en su PDOT estos mapas de cobertura y transición ya analizados permitiendo así establecer restricciones urbanas en base a la carga del ecosistema de la zona costera de la provincia de Santa Elena.

Implementar programas de restauración del suelo junto con la comunidad de especies nativas de la zona de estudio en áreas de alta crítica a causa de las expansiones urbanas y turísticas.

Incluir en la dirección ambiental del GAD Municipal monitoreos a base de estos procedimientos como Random Forest para calcular periódicamente los índices afectados que fueron analizados en este estudio con la finalidad de conservar los suelos del territorio.

Establecer normativas locales para futuras construcciones urbanas y turísticas en la que se priorice las áreas verdes y se minimice el deterioro del suelo resguardando este recurso costero.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alaoui, A., & Diserens, E. (2018). Mapping soil compaction – A review. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 5). <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.05.003>
- Ali, E. (2023). Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components. *Department of Geography*, 1–3.
- Álvarez, R. (2014). Estratificación socioeconómica de la población urbana de la provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 2(2). <https://doi.org/10.26423/rctu.v2i2.41>
- Andrade, C. (2012). Composición e importancia del suelo. *Municipio de Carmona*.
- Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. (2015). *Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*. <https://www.cip.org.ec>
- Arias, P., Saz, M., & Escolano, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (79). <https://doi.org/10.14198/ingeo.22390>
- Baldassini, P., & Paruelo, J. (2020). Deforestation and current management practices reduce soil organic carbon in the semi-arid Chaco, Argentina. *Agricultural Systems*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102749>
- Balseca, G. (2021). *Desertificación de los suelos de Manglaralto. Uso de compost como alternativa nutricional para la extension de UPSE en Manglaralto- Santa Elena*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6317>
- Benavides, M., & Gallego, S. (2023). *El suelo: un recurso natural fundamental para la vida*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/227812>.
- Bergdorf, W., Arcos, M., & Ovan, F. (2025). *Análisis multitemporal del cambio de las unidades de vegetación y otras coberturas del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, periodo 2000-2025*. <http://hdl.handle.net/10757/685850>
- Bindraban, P., Ye, L., & Materechera, S. (2012). Assessing the impact of soil degradation on food production. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 478–488. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2012.09.015>
- Borràs, J., & Delegido, J. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes sentinel-2. *Revista de Teledeteccion*, 2017, 55–66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>

- Bozzer, C., & Cisneros, J. M. (2024). Temporal and spatial evolution of land use change in a semi-arid environment of the Argentine Pampas applying random forest. *Idesia*, 42, 27–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292024000300027>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1). <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Bui, E. N., & Searle, R. D. (2020). Soil surveyor knowledge in digital soil mapping and assessment in Australia. *Geoderma Regional*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00299>
- Buzai, G. D., & Montes Galbán, E. (2020). *Estadística espacial: fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. <https://ri.unlu.edu.ar/items/4a0e7f73-396b-434c-adfa-8c9c37a8940e>.
- Calle, A., & Salvador, P. (2012). Revisando el concepto de resolución en teledetección. *Revista de Teledetección*, (37).
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. In *Entorno Geográfico* (Vol. 3).
- Código Orgánico de Organización Territorial, A. y D. (COOTAD). (2010). *Ley 0 Registro Oficial Suplemento 303*. <https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>
- Código Orgánico del Ambiente (COA). (2018). *Ley 0. Registro Oficial Suplemento No.983*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Comber, A. (2005). You know what land cover is but does anyone else?... An investigation into semantic and ontological confusion. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 223–228. <https://doi.org/10.1080/0143116042000274032>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Number 20). <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-06/CONSTITUCION%202008.pdf>
- De Noni, T. (1986). *La erosión actual y potencial en Ecuador: localización, manifestaciones y causas- fdi:23659- Horizon*. Quito: CEDIG, 1986, p. 5-14 (Documentos de Investigación; 6). <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:23659>

- Denny, D., & Cerri, C. (2024). Nature-Based Solutions: Sustainable Development of Latin America. *Green and Low-Carbon Economy*. <https://doi.org/10.47852/bonviewglce4202888>
- Díaz, F., Quintero, S., Triana, J., & Morón, D. (2014). *Aproximacion sistemas de percepción remota en satélites pequeños*. <http://hdl.handle.net/11232/545>
- Etchevers, J., & Cotler, H. (2020). Salir de la invisibilidad: nuevos retos para la ciencia del suelo. *Revista Tierra Latinoamerica*, 38(4). <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.867>
- FAO & ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nation and Intergovernmental echnical Panel on Soils, Rome, Italy. In *Status of the World's Soil Resources*.
- Fernández, A., Rosero, C., Beltrán, A., & Echeverría, M. (2020). Caracterización y dinámica de la cobertura de suelo mediante Teledetección: caso de estudio volcán Tungurahua, Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*, 6(2).
- Ferreira, C., Seifollahi, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., & Kalantari, Z. (2022). Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. In *Science of the Total Environment* (Vol. 805). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>
- Gaitán, J. J., & Bran, D. (2021). Temporal variations on NDVI predict temporal changes in vegetation cover across Patagonian drylands (Argentina). *Ecosistemas*, 30. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2229>
- González, A., & Otálora, P. (2017). Uso de sensores remotos y tecnología de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para apoyar la identificación de la salinización del suelo en San Miguel de Sema, Boyacá, Colombia. *Universidad De Ciencias Aplicadas Y Ambientales (U.D.C.a.) Facultad De Ingenierías Programa De Ingeniería Geográfica Y Ambiental Bogotá*.
- Gu, L., Ren, R., & Wang, H. (2010). MODIS imagery geometric precision correction based on longitude and latitude information. *Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 17(SUPPL. 1). [https://doi.org/10.1016/S1005-8885\(09\)60603-8](https://doi.org/10.1016/S1005-8885(09)60603-8)
- Hernández, M., Sandoval, R., Molina, V., & Alanís, E. (2023). Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en el municipio de Linares, Nuevo León.

- Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2).
<https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3743>
- Herrera, M., Porras, L., & Estrella, C. (2019). Propuesta de declaración del espectro electromagnético para Ecuador proposal of electromagnetic spectrum declaration for. *Revista Geoespacial*.
- Huera, T., & Labrador, J. (2020). A framework to incorporate biological soil quality indicators into assessing the sustainability of territories in the ecuadorian amazon. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7).
<https://doi.org/10.3390/su12073007>
- Huete, A., Jackson, R., & Post, D. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, 17(1).
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90111-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90111-7)
- IGAC. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). *Centro de Investigación y Desarrollo En Información Geográfica Del IGAC -CIAF*.
- INEC. (2022). *Ecuador - VIII Censo de Población y VII de Vivienda 2022 - variable -* V281.
<https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/1085/datafile/F6/V281>
- Jarrín Sornoza, M. F. (2026). *Estudio del factor medioambiental resultante de la actividad turística en el cantón Salinas*.
<https://Repositorio.Upse.Edu.Ec/Items/1bc0ecce-4f6c-4ff6-8a01-B39b681f0bcb>.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1).
<https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Kapur, S., & Akça, E. (2020). Soil Degradation: Global Assessment. In *Landscape and Land Capacity* (pp. 199–210). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9780429445552-30>
- Kirkby, M. (2021). Desertification and development: Some broader contexts. *Journal of Arid Environments*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104575>
- Kshetri, T. (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7 and 8. *GeoWorld*, (September 2018).
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, U. y G. de S. (LOOTUGS). (2016). *Oficio No. SAN-2016-1196*. <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp->

content/uploads/2020/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Uso-y-Gestion-de-Suelo1.pdf

- Liu, H., Zhang, Y., & Zhang, X. (2018). Monitoring vegetation coverage in tongren from 2000 to 2016 based on landsat7 etm+ and landsat8. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 90(3). <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170737>
- Luna, E., Cantú, I., & Bejar, S. (2022). Efectos del cambio climático en la gestión sostenible del recurso suelo. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 16(3). <https://doi.org/10.54167/tch.v16i3.1097>
- Martínez, B., & Solíz, G. (2018). Caracterización Espectral y Detección de Flecha Seca en Palma Africana en Puntarenas, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(61). <https://doi.org/10.15359/rgac.61-2.13>
- Medina, F., Gaspari, F., & Perdomo, S. (2021). Análisis territorial y de expansión urbana aplicando índices de construcción. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 13, 1–17. <http://www.revistageosig.wixsite.com/>
- Meshesha, T., Tripathi, S., & Khare, D. (2016). Analyses of land use and land cover change dynamics using GIS and remote sensing during 1984 and 2015 in the Beressa Watershed Northern Central Highland of Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(4). <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0233-4>
- Meza, G., & Torres, C. (2022). Spatial Analysis of Environmentally Sensitive Areas to Soil Degradation Using MEDALUS Model and GIS in Amazonas (Peru): An Alternative for Ecological Restoration. *Sustainability (Switzerland)*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142214866>
- Montoya, S. (2019). *Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y Sistemas de Información Geográfica (SIG) del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Segovia, Antioquia, en los años 2003-2018*. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/3704>
- Murillo, A. (2022). *Una alternativa sostenible para la Parroquia Anconcito*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8264>
- Newton, A., & Icely, J. (2020). Contribution of remote sensing technologies to a holistic coastal and marine environmental management framework: A review. *Remote Sensing*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/rs12142313>

- Oñate, F., & Díaz, R. (2024). Soil degradation in andean watersheds: a case study using remote sensing. *Frontiers in Earth Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1325189>
- Orlando, B., & López, M. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *UNED Research Journal*, 11(2). <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>
- Ormeño, S. (2006). *Teledetección Fundamental*.
- Pacheco, H. (2019). Soil erosion risk zoning in the Ecuadorian coastal region using geo-technological tools. *Earth Sciences Research Journal*, 23(4), 293–302. <https://doi.org/10.15446/esrj.v23n4.71706>
- Pachés, G. (2015). Degradación de suelos. *Pachés, Giner*. <http://www.siac.gov.co/erosion#:~:text=La degradación de los suelos,pérdida o la destrucción total>
- Peréz, C., & Muñoz, A. (2006). Teledetección: nociones y aplicaciones. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 378. https://books.google.com/books/about/Teledeteccion_Nociones_y_Aplicaciones.html?hl=es&id=SfrGxbO1DT0C
- Pérez, M., & García, M. (2013). Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (61). <https://doi.org/10.21138/bage.1545>
- Pesantes, K. (2024). Una severa erosión se “come” el suelo de Salinas, Bahía, Muisne, Machala y Galápagos. *Revista Primicias*. <https://www.primicias.ec/ciencia-tecnologia/severa-erosion-comesuelo-salinas-bahia-muisne-machala-y-galapagos-78244/>
- Piedra, J., Vásquez, J., & Arriola, G. (2021). Evaluación de la estabilización de un suelo expansivo utilizando ceniza de cáscara de arroz, distrito de Jaén, Cajamarca, Perú. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 8(2). <https://doi.org/10.26495/icti.v8i2.1914>
- Ramírez, E. (2020). *Manejo integrado de agroecosistemas en América Latina: Una opción para maximizar la producción resguardando la biodiversidad*. 23, 01–11. https://www.academia.edu/download/64826780/4472_14545_1_PB.pdf
- Reglamento Ley de Ordenamiento Territorial, U. y G. de S. (2019). *Registro Oficial Suplemento* 460. <https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20LEY%20DE%20O>

RDENAMIENTO%20TERRITORIAL,%20USO%20Y%20GESTION%20DE%20SUELO.pdf

- Rodríguez, M., Hernández, G., & Busa, P. (2023). Perspectivas en Biorremediación para la recuperación de suelos salinos”ectivas en Biorremediación para la recuperación de suelos salinos. *REVISTA GUARRACUCO SOSTENIBLE*, 1(1). <https://doi.org/10.52043/gs.v1i1.463>
- Romero, D. (2017). *Evaluación del estado actual de degradación del suelo en agroecosistemas de cacao y pasto en la granja Santa Inés*. <https://Repositorio.Utmachala.Edu.Ec/Handle/48000/11705?>
- Ruge, J., Molina, F., & Pinto da Cunha, R. (2021). Comparación experimental entre la sensibilidad y la cementación en el comportamiento no drenado de suelos arcillosos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(1). <https://doi.org/10.4067/s0718-33052021000100109>
- Sacristán, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Sánchez, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica*, 3(33). <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>
- Sanchez, J. (2012). La Teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales. In *Universidad de CUENCA*.
- Scalenghe, R., & Marsan, F. A. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 90, Numbers 1–2). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>
- Schonlau, M., & Zou, R. (2020). The random forest algorithm for statistical learning. *Stata Journal*, 20(1), 3–29. <https://doi.org/10.1177/1536867X20909688>
- Sierra, R. (2013). Patrones y Factores de Deforestación en el Ecuador Continental, 1990-2010. Y un Acercamiento a los Proximos 10 Años. *Conservacionn Internacional Ecuador y Forest Trends*.
- Stivers, L. (2023). Introducción a los suelo: La calidad de los suelos. *PennState Extension*. <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos#:~:text=La arcilla y el limo,las partículas de la arena.>
- Valeriano, F. M. (2022). *Efectos de la Utilización de Residuos de Construcción en las Propiedades del Suelo para Subrasante*. <https://Repositorio.Upla.Edu.Pe/Handle/20.500.12848/4946>.

- Veneros, J., & García, L. (2020). Application of remote sensors for the analysis of vegetation cover and water bodies. *Idesia*, 38, 99–107. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua Application of remote sensors for the analysis of vegetation cover and water bodies. *Idesia (Arica)*, 38.
- Villagra, K., Masís, F., Quesada, J., García, C., & Horn, R. (2021). Physicochemical changes in loam soils amended with bamboo biochar and their influence in tomato production yield. *Agronomy*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy11102052>
- Yagual, k. (2020). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos en el cantón Salinas* [UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias de la Ingeniería]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5345>
- Yate, S. (2022). Incidencia de la erosión en el suelo. *Do-Ciencia*, 6, 47–53.
- Yuan, Q. (2020). Deep learning in environmental remote sensing: Achievements and challenges. *Remote Sensing of Environment*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111716>
- Zenteno, M. (2022). Recursos naturales: protejamos los suelos agrícolas. *ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana*, 2(9). <https://doi.org/10.36331/revista.v9i2.143>
- Žížala, D., Zádorová, T., & Kapička, J. (2017). Assessment of soil degradation by erosion based on analysis of soil properties using aerial hyperspectral images and ancillary data, Czech Republic. *Remote Sensing*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/rs9010028>

8. ANEXOS

Figura 18.

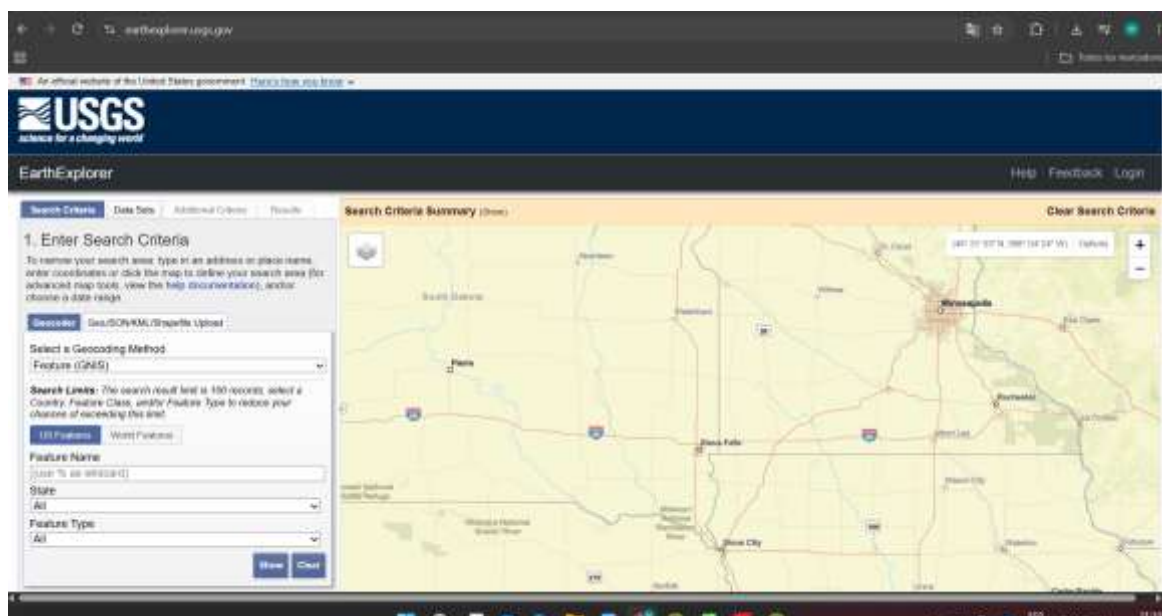
Página oficial MAE



Elaborado por: La Autora, 2026.

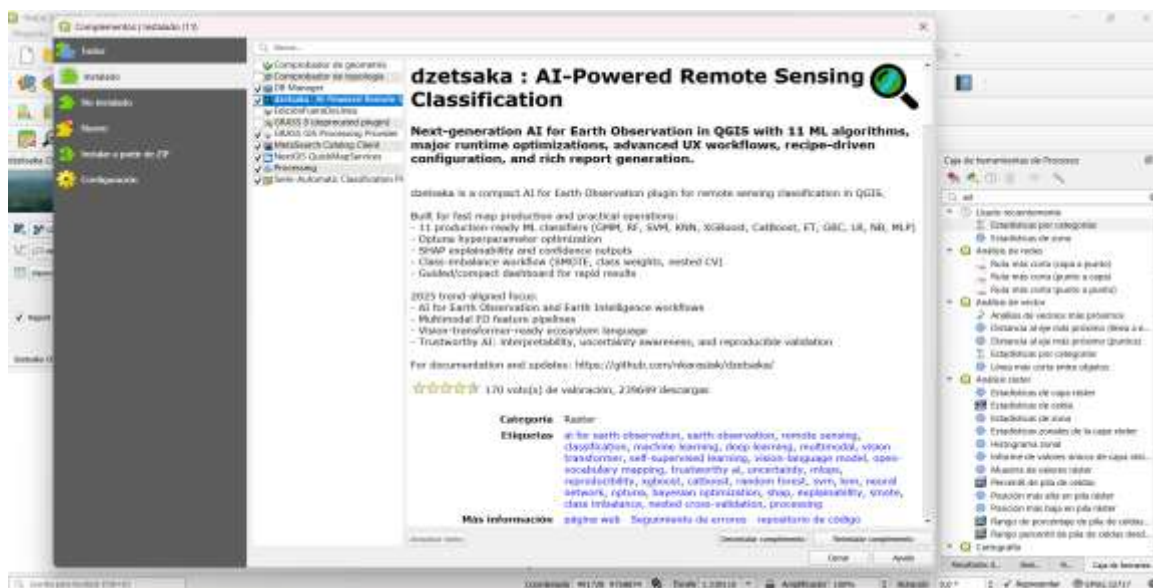
Figura 19.

Página oficial USGS



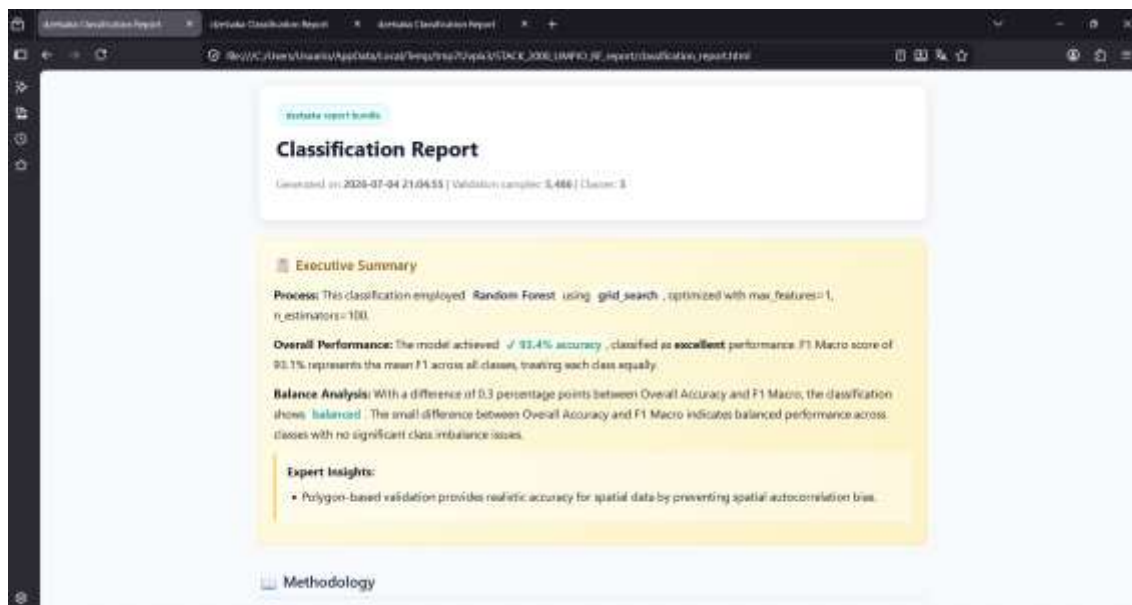
Elaborado por: La Autora, 2026.

Figura 20.

Complemento de QGIS de clasificación Random Forest

Elaborado por: La Autora, 2026.

Figura 21.

Reporte de clasificación en página web

Elaborado por: La Autora, 2026.