



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y TURISMO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE LICENCIATURA EN TURISMO**

**“ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DEL IMPACTO TURÍSTICO MEDIANTE
IMÁGENES SATELITALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL. CASO PARQUE
NACIONAL MACHALILLA.”**

AUTOR:

Giler Alvia Roberth Ignacio

TUTOR:

Argenis Montilla Pacheco. PhD.

Manta – Manabí – Ecuador

CERTIFICO

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Educación y Turismo de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante GILER ALVIA ROBERTH IGNACIO, legalmente matriculado en la carrera de TURISMO, período académico 2026-2027(1), cumpliendo el total de **384 horas**, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es *"ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL IMPACTO TURÍSTICO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL. CASO PARQUE NACIONAL MACHALILLA."*

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, Lunes, 27 de julio de 2026.

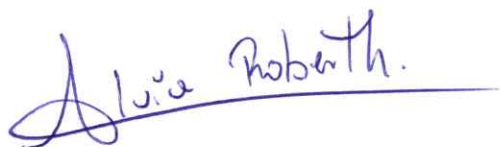
Lo certifico,



MONTILLA PACHECO ARGENIS DE JESUS
Docente Tutor

AUTORÍA

El actual trabajo de investigación se realiza como requisito previo a la obtención del título de Licenciada en Turismo en la Universidad Laica Alfaro de Manabí. El contenido expuesto en este proyecto pertenece exclusivamente a Roberth Ignacio Giler Alvia en calidad de autora de la tesis **“Análisis espaciotemporal del impacto turístico mediante imágenes satelitales e inteligencia artificial. Caso Parque Nacional Machalilla.”**, en caso de utilizar este documento, se debe otorgar los respectivos créditos.

A handwritten signature in blue ink that reads "Alvia Roberth." The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

Roberth Ignacio Giler Alvia

131529690-3

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

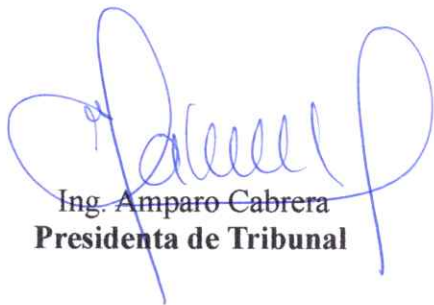
El tribunal evaluador certifica:

Que, el trabajo de carrera, titulado "Análisis espaciotemporal del impacto turístico mediante imágenes satelitales e inteligencia artificial. Caso Parque Nacional Machalilla.", ha sido realizado y concluido por Giler Alvia Roberth Ignacio; el mismo que ha sido controlado y supervisado por los miembros del tribunal.

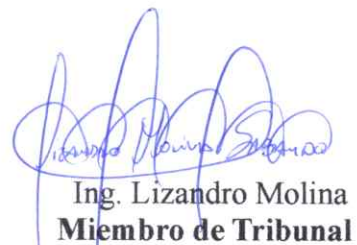
El trabajo de fin de carrera reúne todos los requisitos pertinentes en lo referente a la investigación y diseño que ha sido continuamente revisada por este tribunal en las reuniones llevadas a cabo.

Para dar testimonio y autenticidad,

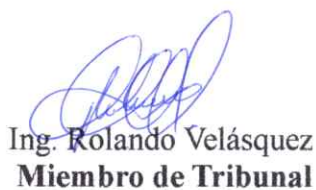
Firmamos:



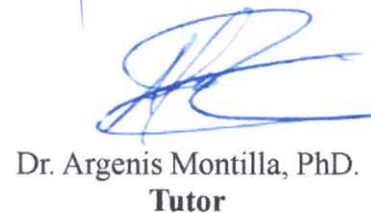
Ing. Amparo Cabrera
Presidenta de Tribunal



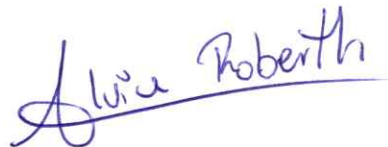
Ing. Lizandro Molina
Miembro de Tribunal



Ing. Rolando Velásquez
Miembro de Tribunal



Dr. Argenis Montilla, PhD.
Tutor



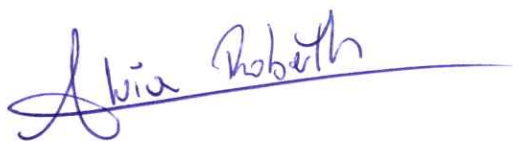
Roberth Ignacio Giler Alvia
Graduado

CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

ROBERTH IGNACIO GILER ALVIA, portadora de la C. I. # 1315296903, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del proyecto de investigación o Examen de Fin de Carrera con Carácter Complexivo **“ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DEL IMPACTO TURÍSTICO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL. CASO PARQUE NACIONAL MACHALILLA.”**, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad, e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva, para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo, autorizo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Manta, 27 de julio de 2026.



Roberth Ignacio Giler Alvia
Autor

DEDICATORIA

A Dios, en primer lugar, por darme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para seguir adelante y culminar este importante camino estudiantil.

A mi familia, por su amor incondicional, su apoyo, esfuerzo y sacrificio. De manera especial, a mi mamá, Katty Alvia, por inculcar en mí el deseo de superación, por creer siempre en mis capacidades y por acompañarme en cada dificultad, brindándome su apoyo y motivación para nunca rendirme.

Y, de manera muy especial, a mi abuelo Luis Alvia, quien, aunque ya no esté físicamente conmigo, permanece presente en mi corazón y en cada momento de mi vida. Su recuerdo, sus enseñanzas y el amor que me brindó seguirán siendo siempre una fuente de inspiración para mí.

Giler Alvia Roberth Ignacio

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso de este camino, por darme sabiduría, paciencia y fuerzas para nunca rendirme. Gracias por estar siempre conmigo.

A mi familia, mi mayor tesoro, gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudé, por sus oraciones, abrazos y sacrificios. Ustedes son mi motivo, mi fuerza y mi mayor inspiración. En especial a mi mamá, Katty Alvia, mi heroína y mi ejemplo de amor, entrega y valentía.

A Manuel García, por ser más que una guía, por ser un padre en el alma. Gracias por su apoyo, sus consejos y por estar presente.

A mis hermanos, Sheryl y José Manuel, por su cariño, su compañía y por cada palabra que me impulsa a seguir adelante. Gracias por hacer mi vida más bonita.

A mi tutor, Argenis Montilla Pacheco, PhD, gracias por su paciencia, dedicación y por creer en mí y en este trabajo. Su guía fue clave para alcanzar este logro.

Giler Alvia Roberth Ignacio

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL TRABAJO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación o definición del problema.....	4
1.3 Objeto de investigación.....	5
1.4 Campo de acción.....	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Variables.....	5
1.6.1 Variable dependiente.....	5
1.6.2 Variable independiente.....	5
1.7 Justificación.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO I.....	7
3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 Marco referencial.....	7
3.1.1 Turismo en áreas protegidas, oportunidades y amenazas.....	7
3.1.2 Estudios previos sobre el Parque Nacional Machalilla.....	8
3.1.3 Aplicación de SIG, teledetección e inteligencia artificial en el análisis territorial.....	8
3.2 Marco conceptual.....	10
3.3 Marco legal.....	12
CAPÍTULO II.....	14
4. METODOLOGÍA.....	14
4.1 Enfoque metodológico.....	14
4.2 Área de estudio.....	14
4.3 Diseño metodológico.....	16
4.4 Recolección de información satelital.....	19
4.5 Preprocesamiento de imágenes satelitales.....	21
4.5.1 Corrección radiométrica y atmosférica.....	21
4.6 Clasificación supervisada.....	22
4.6.1 Definición de clases temáticas.....	22
4.6.2 Selección de muestras de entrenamiento.....	22

4.6.3 Validación de la clasificación.....	23
4.7 Detección de cambios multitemporales.....	24
4.8 Análisis espacial y elaboración cartográfica.....	24
4.9 Interpretación de resultados.....	25
CAPÍTULO III.....	26
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5.1 Resultados.....	26
5.1.1 Análisis espacial de cobertura y uso del suelo para el año 2000...	26
5.1.2 Análisis espacial de cobertura y uso del suelo para el año 2015...	28
5.1.3 Dinámica de cambio entre 2000 y 2015.....	30
5.1.4 Análisis espacial de cobertura y uso del suelo para el año 2025...	31
5.1.5 Análisis comparativo multitemporal (2000-2015-2025).....	35
5.1.6 Balance del cambio neto de superficie.....	38
5.1.7 Interpretación general de los resultados.....	39
5.1.8 Contraste temporal entre la dinámica turística y los cambios de cobertura.....	41
5.2 Discusión.....	42
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Nacional Machalilla	15
Figura 2. Cobertura y uso del suelo del Parque Nacional Machalilla para el año 2000	26
Figura 3. Cobertura y uso del suelo del Parque Nacional Machalilla para el año 2015	28
Figura 4. Cobertura y uso del suelo del Parque Nacional Machalilla para el año 2025	32
Figura 5. Evolución temporal de coberturas del suelo entre los años 2000 y 2025 ..	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Información técnica de las imágenes satelitales utilizadas.....	20
Tabla 2. Distribución de cobertura y uso del suelo - Machalilla (2000).....	27
Tabla 3. Distribución de cobertura y uso del suelo - Machalilla (2015).....	30
Tabla 4. Balance de transiciones del paisaje (2000-2015).....	31
Tabla 5. Distribución de cobertura y uso del suelo - Machalilla (2025).....	32
Tabla 6. Balance de transiciones del paisaje (2015-2025).....	34
Tabla 7. Balance del cambio neto de superficie (Hectáreas).....	39
Tabla 8. Contraste temporal entre afluencia turística y cambio de coberturas antrópicas.....	41

RESUMEN

Este estudio analiza los cambios de cobertura y uso del suelo ocasionados por la actividad turística en el Parque Nacional Machalilla entre los años 2000, 2015 y 2025, con el fin de establecer la relación entre la afluencia de visitantes y la transformación del paisaje. Se utilizó un enfoque cuantitativo, descriptivo y comparativo, fundamentado en imágenes satelitales de Landsat procesadas en ArcGIS mediante clasificación supervisada por máxima verosimilitud, además de una comparación post-clasificación para identificar cambios multitemporales. Los hallazgos indican una disminución continua de la vegetación forestal y de arbustos ante el aumento de zonas agrícolas, urbanas y modificadas, especialmente en las áreas adyacentes a Puerto López y en las zonas de amortiguamiento del área protegida. La confrontación entre períodos muestra que la velocidad de reducción de la cobertura natural se intensificó entre 2015 y 2025, coincidiendo con la expansión de la infraestructura turística y vial en la zona. Estos descubrimientos corroboran que el turismo, aunque representa una fuente significativa de financiación para las comunidades locales, impone una presión creciente sobre los ecosistemas del parque, especialmente en el bosque seco tropical y en las áreas costeras. Se determina que el monitoreo satelital apoyado en técnicas de clasificación automatizada de inteligencia artificial, particularmente el algoritmo de Máxima Verosimilitud constituye una herramienta efectiva para el seguimiento espaciotemporal de áreas protegidas, y que su incorporación a los instrumentos de planificación territorial es esencial para dirigir un desarrollo turístico que respete la conservación de los recursos naturales de Machalilla.

Palabras clave: inteligencia artificial, Machalilla, sistemas de información geográfica, teledetección, turismo sostenible

ABSTRACT

This study analyzes the changes in land cover and use caused by tourist activity in Machalilla National Park between 2000, 2015 and 2025, in order to establish the relationship between the influx of visitors and the transformation of the landscape. A quantitative, descriptive, and comparative approach was used, based on Landsat satellite imagery processed in ArcGIS through supervised classification by maximum likelihood, in addition to a post-classification comparison to identify multitemporal changes. The findings indicate a continuous decrease in forest and shrub vegetation in the face of the increase in agricultural, urban and modified areas, especially in the areas adjacent to Puerto López and in the buffer zones of the protected area. The comparison between periods shows that the speed of reduction of natural cover intensified between 2015 and 2025, coinciding with the expansion of tourism and road infrastructure in the area. These findings corroborate that tourism, while representing a significant source of funding for local communities, imposes increasing pressure on the park's ecosystems, especially in the tropical dry forest and coastal areas. It is determined that satellite monitoring supported by automated classification techniques based on artificial intelligence, specifically the Maximum Likelihood algorithm, is an effective tool for the spatiotemporal monitoring of protected areas, and that its incorporation into territorial planning instruments is essential to direct a tourism development that respects the conservation of Machalilla's natural resources.

Keywords: artificial intelligence, geographic information systems, Machalilla, remote sensing, sustainable tourism

1. INTRODUCCIÓN

El turismo en zonas naturales resguardadas ofrece una oportunidad clave para el desarrollo sostenible, aunque igualmente presenta retos complicados en lo que respecta a la conservación del medio ambiente y la planificación del territorio. El Parque Nacional Machalilla, situado en la costa sur de Manabí, Ecuador, representa esta dualidad: por un lado, contiene ecosistemas singulares como bosques secos tropicales, playas prístinas y lugares arqueológicos de gran interés cultural, por otro, ha vivido un rápido crecimiento turístico que ha modificado su entorno y dinámica socioambiental (Alberto, 2020).

Tradicionalmente, los estudios sobre el impacto turístico se han basado en encuestas, observaciones de campo y análisis económicos (Castillo et al., 2018). Sin embargo, estas metodologías presentan limitaciones para capturar cambios físicos en el territorio a través del tiempo. En este contexto, el uso de imágenes satelitales y algoritmos de inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta poderosa para realizar análisis espaciotemporales precisos, permitiendo identificar patrones de transformación territorial, pérdida de cobertura vegetal, expansión urbana y presión sobre ecosistemas sensibles (Solís, 2023).

Este trabajo propone un enfoque interdisciplinario que combina técnicas de teledetección, procesamiento digital de imágenes y análisis geoespacial con fundamentos del turismo sostenible. Se seleccionan tres cortes temporales estratégicos (años 2000, 2015 y 2025) para evaluar la evolución del impacto turístico en Machalilla, considerando variables ambientales y sociales.

El propósito es generar conocimiento aplicable a la gestión del territorio, la formulación de políticas públicas y la promoción de un turismo responsable que

armonice con la conservación.

Este trabajo se estructura en tres capítulos que articulan el marco conceptual, el enfoque metodológico y el análisis geoespacial, todo centrado en el estudio del cambio de paisaje en el Parque Nacional Machalilla como resultado de la actividad turística.

En el capítulo I se presentan las definiciones clave y los fundamentos conceptuales necesarios para comprender el fenómeno del impacto turístico en áreas protegidas. Se abordan temas como turismo sostenible, análisis espaciotemporal, teledetección satelital, inteligencia artificial y sistemas de información geográfica (SIG), con énfasis en el uso de ArcGIS como herramienta principal de análisis.

En el capítulo II se describe el enfoque de investigación, que es de tipo descriptivo, no experimental- La metodología se basa en el análisis de imágenes satelitales multitemporales (años 2000, 2015 y 2025), procesadas en ArcGIS para detectar el cambio de paisaje. Se emplea una investigación documental y geoespacial, utilizando fuentes académicas, datos abiertos y algoritmos de clasificación supervisada.

El capítulo III presenta los resultados logrados a partir del procesamiento digital de imágenes, abarcando mapas temáticos y análisis del uso del suelo. Se analiza la alteración del paisaje en función de la actividad turística, identificando áreas de mayor modificación y examinando sus consecuencias ambientales y territoriales. Además, se enfoca en la exposición de recomendaciones para alcanzar una administración turística sostenible en el Parque Nacional Machalilla, centrada en el monitoreo remoto, la planificación territorial fundamentada en evidencia geoespacial y el uso de tecnologías como ArcGIS para la toma de decisiones. Se presentan sugerencias para autoridades locales, comunidades y responsables del turismo.

1.1 Planteamiento del problema

El Parque Nacional Machalilla ha sido objeto de una creciente actividad turística en las últimas décadas, especialmente en sectores como Puerto López, Los Frailes y Agua Blanca (Alvarado-Ramos, 2022). Este fenómeno ha traído consigo beneficios económicos y sociales para las comunidades locales, pero también ha generado impactos negativos sobre el entorno natural como la deforestación, fragmentación del hábitat, contaminación, y alteración de paisajes costeros.

La magnitud de este fenómeno se evidencia en cifras oficiales, mientras que en 1998 el Parque Nacional Machalilla registró apenas 10.349 visitantes cifra afectada por el fenómeno de El Niño de ese año, para 2014 el Ministerio del Ambiente reportó un total de 225.000 visitas anuales (MAE, 2014, citado en Alvarado-Ramos et al., 2022), lo que representa un crecimiento sostenido de la afluencia turística en poco más de una década y media.

Esta presión se concentra de forma desigual en el territorio de la comuna de Agua Blanca, con apenas 259 habitantes, recibe alrededor de 9.500 visitantes al año que acuden a conocer los vestigios de la cultura Manteña (Ruiz & Solís, 2007), lo cual ilustra la desproporción entre capacidad de carga comunitaria y volumen turístico en algunos sectores del parque.

Más recientemente, el incremento de la inseguridad en la provincia de Manabí a partir de 2024 ha generado una contracción en la llegada de visitantes a cantones como Puerto López (Primicias, 2024), lo que confirma que la dinámica turística del parque no ha sido lineal, sino sujeta a fluctuaciones que justifican precisamente un análisis espaciotemporal capaz de capturar estos cambios entre 2000, 2015 y 2025.

A pesar de la existencia de estudios puntuales sobre estos impactos, no se cuenta

con una evaluación sistemática y espaciotemporal que ayuda a visualizar cómo ha cambiado el territorio a lo largo del tiempo en relación con el turismo. Además, las herramientas tradicionales de monitoreo ambiental no detectan con precisión las transformaciones territoriales ni anticipar escenarios futuros.

En este contexto, surge la necesidad de aplicar tecnologías emergentes como la teledetección satelital y la inteligencia artificial, la cual analiza grandes volúmenes de datos geoespaciales, identificar patrones de cambio y generar modelos predictivos. Estas herramientas pueden ser valiosas para responder preguntas como:

- ¿Qué zonas del parque han sido más afectadas por el turismo entre 2000 y 2025?
- ¿Qué tipo de cambios del paisaje se han producido (urbanización, pérdida de vegetación, alteración de cuerpos de agua, otros)?
- ¿Cómo se relacionan estos cambios con la afluencia turística y las políticas de gestión?

Este problema es técnico, ético y político, ya que involucra decisiones sobre el uso del territorio, la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades locales. Por ello, se requiere un enfoque integral que combine análisis espacial, interpretación social y propuestas de gestión sostenible.

1.2 . Formulación o definición del problema

¿Cuáles son los cambios del paisaje en el Parque Nacional Machalilla entre los años 2000, 2015 y 2025, y qué patrones espaciales y temporales pueden identificarse mediante el uso de imágenes satelitales e inteligencia artificial?

1.3 . Objeto de investigación

Objeto de estudio directo: El territorio del Parque Nacional Machalilla.

Objeto de estudio indirecto: La actividad turística y sus efectos sobre el paisaje, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

1.4 . Campo de acción

La investigación se enmarca en el campo del turismo sostenible, la teledetección ambiental y la aplicación de inteligencia artificial en el análisis geoespacial. Se articula con disciplinas como la geografía, la ecología y la planificación territorial.

1.5 . Hipótesis

El territorio del Parque Nacional Machalilla ha experimentado cambios significativos en su cobertura y uso del suelo entre los años 2000 y 2025, los cuales podrían estar asociados con las dinámicas turísticas y antrópicas registradas en las zonas de mayor afluencia de visitantes.

1.6 . Variables

1.6.1 *Variable dependiente*

- Cambios del paisaje

1.6.2 *Variable independiente*

- Actividades turísticas

1.7 Justificación

Este estudio es relevante porque propone una metodología para evaluar el impacto turístico en áreas protegidas, combinando tecnología satelital e inteligencia artificial. Además, contribuye al fortalecimiento de la gestión ambiental y turística en Ecuador, ofreciendo datos objetivos para la toma de decisiones. El Parque Nacional Machalilla, por su riqueza ecológica y cultural, es un escenario ideal para aplicar este enfoque.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar los cambios espaciotemporales del paisaje en el Parque Nacional Machalilla entre los años 2000, 2015 y 2025 mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), imágenes satelitales e inteligencia artificial, e identificar su posible asociación con las dinámicas turísticas y antrópicas del área.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales tipos de cobertura o uso del suelo y su comportamiento temporal y espacial en el Parque Nacional Machalilla entre los años 2000, 2015 y 2025.
- Aplicar herramientas de sistemas de información geográfica y clasificación supervisada basada en inteligencia artificial (algoritmo de Máxima Verosimilitud) para detectar cambios del paisaje en el Parque Nacional Machalilla entre los años 2000, 2015 y 2025.
- Contrastar los cambios de cobertura y uso del suelo identificados con las dinámicas turísticas y antrópicas reportadas en la literatura y en los registros disponibles para el Parque Nacional Machalilla, con el fin de establecer posibles asociaciones entre ambos procesos.
- Proponer recomendaciones para gestionar de forma sostenible el turismo en el Parque Nacional Machalilla.

CAPÍTULO I

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco referencial

Este apartado contextualiza teóricamente el fenómeno del impacto turístico en áreas protegidas, con énfasis en el Parque Nacional Machalilla, en el cual se abordarán tres dimensiones clave, el turismo en áreas naturales protegidas, los estudios específicos sobre Machalilla y la aplicación de tecnologías geoespaciales e inteligencia artificial en el análisis territorial.

3.1.1 Turismo en áreas protegidas, oportunidades y amenazas

El turismo en áreas naturales protegidas ha sido promovido como una estrategia para el desarrollo sostenible, al generar ingresos económicos y fomentar la conservación. Sin embargo, también puede provocar impactos negativos como la fragmentación del hábitat, contaminación y presión sobre los ecosistemas sensibles (Eagles, 2002).

En América Latina, investigaciones como la de Cifuentes (1999) han mostrado cómo la carencia de planificación turística puede dañar los valores naturales que inicialmente impulsaron la conservación de la zona. El Ministerio del Ambiente de Ecuador (2013) ha señalado que el turismo mal administrado constituye un peligro para la biodiversidad, sobre todo en áreas costeras y de gran fragilidad ecológica.

La literatura reciente enfatiza la necesidad de adoptar enfoques interdisciplinarios que integren variables ecológicas, sociales y tecnológicas para comprender la complejidad del turismo en ANP. Buckley (2012) complementa esta visión al señalar que la brecha entre la teoría del turismo sostenible y su aplicación práctica sigue siendo un desafío global.

3.1.2 Estudios previos sobre el Parque Nacional Machalilla

El Parque Nacional Machalilla ha sido objeto de investigaciones que destacan su biodiversidad, riqueza cultural y vulnerabilidad frente al turismo. En ese sentido, Alvarado-Ramos (2022) identificó que sectores como Los Frailes y Agua Blanca presentan signos de presión turística, incluyendo pérdida de cobertura vegetal y alteración del paisaje costero.

Alberto (2020) analizó la evolución del uso del suelo en Machalilla, señalando que entre 2000 y 2020 se ha incrementado la urbanización en zonas cercanas a Puerto López, lo que coincide con el auge del turismo comunitario y de naturaleza.

Bravo y García (2019) estudiaron el turismo comunitario en Agua Blanca, destacando su potencial para fortalecer la conservación cultural y ambiental, aunque también señalaron riesgos de sobrecarga turística. Herrera (2021) analizó la presión turística en Los Frailes, evidenciando impactos en la calidad ambiental de las playas y la necesidad de regulación más estricta.

Otros trabajos como el de Villacís (2020) sobre la gestión turística en Puerto López y el de Zambrano (2018) sobre conservación marina en Machalilla, complementan la visión de los impactos y retos de la actividad turística en el área.

3.1.3 Aplicación de SIG, teledetección e inteligencia artificial en el análisis territorial

El uso de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG) ha revolucionado el análisis ambiental, permitiendo detectar cambios en la cobertura del suelo, monitorear deforestación y modelar escenarios futuros (Chuvieco, 2016). Así mismo, la inteligencia artificial (IA), especialmente mediante algoritmos de clasificación supervisada, ha mejorado la precisión en la interpretación de datos

geoespaciales (Zhu et al., 2017).

En este estudio, el componente de inteligencia artificial se circunscribe específicamente al algoritmo de clasificación supervisada por Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Classifier), implementado en el software ArcGIS Pro. Este algoritmo pertenece a la familia de clasificadores estadísticos basados en aprendizaje supervisado, a partir de las firmas espectrales de las muestras de entrenamiento digitalizadas para cada clase temática, estima la probabilidad de pertenencia de cada píxel a las distintas categorías de cobertura y le asigna la clase de mayor probabilidad estadística.

Se trata de un método consolidado dentro de la teledetección, ampliamente documentado como una de las técnicas fundacionales de clasificación automatizada de imágenes (Rojas & Medina, 2020), aunque de menor complejidad computacional que los algoritmos de aprendizaje profundo referidos por otros autores en este mismo apartado. Su elección respondió a la disponibilidad de herramientas de procesamiento y a la robustez que ofrece cuando existe conocimiento previo consolidado del territorio, tal como se detalla en el apartado de metodología.

En el contexto turístico, estudios como el de Solís (2023) han demostrado que la combinación de SIG e IA permite identificar patrones de transformación territorial asociados a la afluencia de visitantes, facilitando una gestión basada en evidencia. Además, Longley et al. (2015) destacan que los SIG son herramientas fundamentales para integrar datos espaciales y apoyar la planificación territorial. Otros trabajos recientes han mostrado cómo el aprendizaje profundo aplicado a imágenes satelitales permite detectar patrones complejos de urbanización y pérdida de cobertura vegetal.

3.2 Marco conceptual

- **Turismo sostenible**

Es aquel que satisface las necesidades de los turistas actuales y de las regiones receptoras, al tiempo que protege y mejora las oportunidades para el futuro-(OMT, 2005). Implica equilibrio entre desarrollo económico, conservación ambiental y bienestar social.

- **Análisis espaciotemporal**

Es el estudio de fenómenos geográficos considerando su distribución en el espacio y su evolución en el tiempo. Permite identificar patrones, tendencias y relaciones entre variables ambientales y sociales.

- **Teledetección**

Es la obtención de información sobre la superficie terrestre sin contacto directo, mediante sensores instalados en satélites o aeronaves. Se utiliza para monitorear cambios en el uso del suelo, cobertura vegetal, cuerpos de agua, entre otros (Chuvieco, 2016).

- **Inteligencia Artificial (IA)**

Conjunto de técnicas computacionales que permiten a las máquinas aprender, razonar y tomar decisiones. En geografía, se aplica para clasificar imágenes, detectar patrones y generar modelos predictivos (Zhu, 2017). En este estudio, dicho componente se materializa concretamente en el algoritmo de clasificación supervisada por Máxima Verosimilitud, empleado para asignar automáticamente cada píxel de las imágenes Landsat a una clase temática de cobertura del suelo.

- **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Revisión sistemática que demuestra cómo los SIG se aplican en la evaluación de la infraestructura verde urbana. Estas herramientas integran datos espaciales y

temporales para analizar la calidad y distribución de áreas verdes, aportando a la sostenibilidad y la planificación territorial. ArcGIS se reconoce como una de las plataformas más utilizadas, consolidándose como referente en estudios ambientales y urbanos (Wu, 2025).

- **Ecosistemas**

Es el concepto que pretende establecer una relación armónica entre la humanidad y el entorno natural, al tiempo que busca conciliar la preservación y progreso, se ha difundido ampliamente no por su exactitud conceptual, sino por su carácter indefinido. Tal cual ha sido formulada y aplicada, admite diversas lecturas, lo que ha limitado su utilidad como instrumento para diseñar estrategias de gestión capaces de enfrentar la crisis ambiental generada por el sistema económico global vigente.

Según Naredo (1996), esta idea funciona más en forma de un recurso discursivo que como una propuesta efectiva, ya que permite esquivar el problema ecológico de fondo y las implicaciones éticas asociadas al crecimiento económico.

- **Usos del suelo**

El uso del suelo es entendido como las distintas formas de aprovechamiento de los ecosistemas terrestres, constituye un factor central del cambio global, junto con las variaciones climáticas y las modificaciones en la atmósfera. Sus impactos no se limitan al ámbito local o regional, sino que generan consecuencias de alcance mundial (Cuero, 2024).

- **Cobertura de la tierra**

La cobertura terrestre corresponde a los materiales biofísicos que conforman la superficie del planeta y reflejan la distribución real de una zona mediante categorías temáticas (Di Gregorio, 2005; ESA, 2017). Para identificar las variaciones en la cubierta del suelo dentro del marco de la NDT, es imprescindible recurrir a mapas de

referencia y de los años de análisis.

- **Teledetección**

La teledetección actual aplica altimetría satelital para monitorear fenómenos extremos en zonas costeras. El uso de datos de altura significativa de ola (SWH) mejora la predicción de impactos ambientales y fortalece la planificación territorial y la gestión de riesgos (Turki et al., 2025).

- **Sistemas de información geográfica**

Los SIG son tecnologías que representan una innovación tecnológica y conceptual que ha transformado el análisis y la gestión del territorio (Bunge, 2018). Estandarizan métodos para comprender la organización espacial, facilitan la planificación y proporcionan una base empírica que permite interpretar la realidad y las actividades humanas sobre el planeta.

3.3 Marco legal

El marco normativo que regula el turismo y la conservación en Ecuador incluye leyes, políticas y acuerdos internacionales que respaldan esta investigación, en ese sentido, la Constitución de la República del Ecuador (2008), establece en su artículo 71 el derecho de la naturaleza a ser restaurada, y en el artículo 395 la obligación del Estado de prevenir la contaminación y conservar los ecosistemas. Además, el artículo 284 reconoce el turismo como actividad estratégica

Del mismo modo, la Ley Orgánica de Turismo (2002) regula la actividad turística en el país, promoviendo su desarrollo sostenible y la participación de comunidades locales. Establece lineamientos para el uso adecuado de recursos naturales en destinos turísticos.

Por su parte, la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre

(2004) regula la protección de los recursos forestales y de las áreas naturales del país. Por ejemplo, el artículo 1 declara patrimonio del Estado las tierras forestales, bosques naturales, flora, fauna silvestre y manglares, incluso en propiedades privadas, los cuales están fuera del comercio y solo pueden aprovecharse mediante concesión legal (Registro Oficial Suplemento 418, 2004).

También cabe mencionar el Plan Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT 2021–2025) y el Plan Nacional de Turismo. El primero promueve el uso de tecnologías para la gestión ambiental; mientras que el segundo establece directrices para el aprovechamiento turístico.

En cuanto a convenios internacionales, el país igualmente forma parte de acuerdos globales que fortalecen la conservación ambiental y el turismo sostenible. Entre ellos destacan el Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992) y el Programa Hombre y Biosfera de la UNESCO (1971), orientados a la protección de ecosistemas y al equilibrio entre sociedad y naturaleza. La Convención Ramsar (1971) asegura la preservación de humedales de importancia internacional (Arias & Gómez, 2015), mientras que la Convención de Patrimonio Mundial de la UNESCO (1972) protege sitios naturales y culturales de valor universal (Carreño, 2016). De manera más reciente, el Acuerdo de París (2015) compromete al país en la lucha contra el cambio climático y la gestión de ecosistemas vulnerables (Fernández-Reyes, 2015). Estos instrumentos consolidan un marco internacional que guía la planificación territorial y el desarrollo turístico sostenible.

CAPÍTULO II

4. METODOLOGÍA

4.1 Enfoque metodológico

El trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y comparativo, orientado al análisis multitemporal de los cambios de uso y cobertura del suelo en el Parque Nacional Machalilla durante los años 2000, 2015 y 2025. El estudio se fundamenta en técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica (SIG), utilizando imágenes satelitales Landsat y procedimientos de clasificación supervisada para identificar las transformaciones del paisaje.

La teledetección constituye una herramienta eficiente para el monitoreo de coberturas terrestres y cambios ambientales, especialmente en análisis multitemporales de mediana resolución espacial (Zhu & Woodcock, 2014; Dannenberg et al., 2016). Así también, las imágenes Landsat han demostrado gran utilidad para estudios históricos de cambio de cobertura debido a su continuidad temporal, acceso gratuito y resolución espacial de 30 m (Wulder et al., 2022).

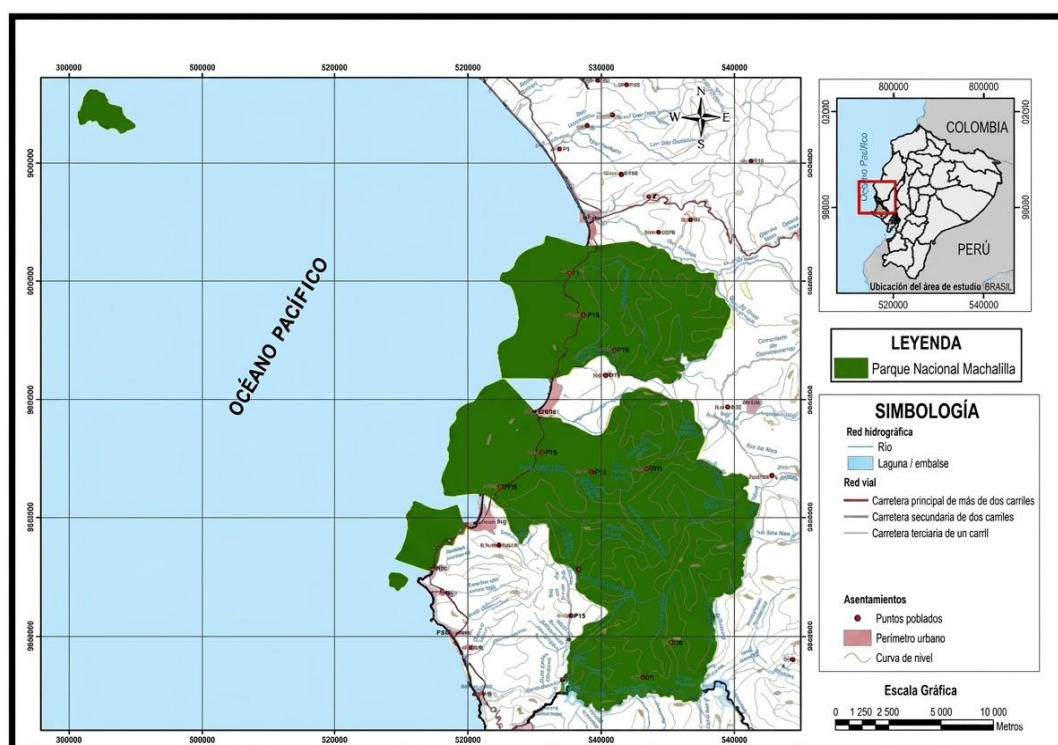
4.2 Área de estudio

El área de estudio corresponde al Parque Nacional Machalilla, localizado en la provincia de Manabí, en el litoral del Ecuador (Figura 1), es una de las áreas protegidas más emblemáticas de la costa ecuatoriana continental con una superficie total de 56,184 hectáreas, la cual se distribuye estratégicamente entre 41,754 hectáreas de zona terrestre y 14,430 hectáreas de franja marina, incluyendo la Isla de la Plata e Isla Salango.

Es importante precisar que el análisis multitemporal de cobertura y uso del suelo desarrollado en esta investigación se circunscribe exclusivamente al componente

terrestre del parque (41,754 hectáreas), dado que la clasificación supervisada se aplicó sobre imágenes ópticas Landsat, las cuales no permiten caracterizar coberturas o usos submarinos. En consecuencia, los resultados, mapas e interpretaciones presentados en los capítulos siguientes deben entenderse referidos a esta superficie terrestre, y no a la extensión total del área protegida (56,184 hectáreas, incluyendo su componente marino de 14,430 hectáreas)

Figura 1. *Ubicación geográfica del parque nacional Machalilla.*



Este parque constituye una de las áreas protegidas más importantes del país debido a su biodiversidad y a la presencia de ecosistemas terrestres y marino-costeros.

En términos climáticos, la reserva está fuertemente influenciada por la interacción de las corrientes marinas de Humboldt y de El Niño, lo que genera un clima predominantemente de tipo árido a semiárido en las zonas bajas y costeras, con temperaturas promedio anuales que oscilan entre los 22°C y 24°C.

Este régimen se caracteriza por una marcada estacionalidad, donde las escasas precipitaciones anuales dan paso a ecosistemas únicos de bosque seco tropical, aunque en las partes más altas de la cordillera de Chongón-Colonche el clima se torna notablemente más húmedo debido a la constante condensación de la garúa, propiciando la existencia de bosques de neblina. Para el análisis espacial se trabajó con el límite oficial del parque en formato vectorial (shapefile), empleado como máscara para el recorte de las imágenes satelitales.

4.3 Diseño metodológico

La metodología de esta investigación se llevó a cabo de forma secuencial y estructurada en cuatro fases fundamentales, que facilitaron el análisis de las transformaciones en el uso y la cobertura del suelo en el Parque Nacional Machalilla durante los años 2000, 2015 y 2025 a través de imágenes satelitales Landsat y herramientas de sistemas de información geográfica. Cada etapa de estas fue elaborada para asegurar la consecución de resultados fidedignos y homologables en el análisis multitemporal del entorno.

La fase inicial consistió en la obtención y elección de imágenes satelitales. En esta fase se localizaron y obtuvieron imágenes de Landsat adecuadas para cada año de investigación desde plataformas oficiales de acceso gratuito, dando prioridad a las que presentaban baja cobertura de nubes, buena calidad radiométrica y fechas similares entre los períodos para garantizar la comparabilidad temporal.

Igualmente, se tuvo en cuenta la existencia de bandas espectrales requeridas para diferenciar coberturas del suelo y evaluar la vegetación. Esta etapa representó un avance crucial, dado que la calidad de las imágenes afecta de manera directa la exactitud de los resultados logrados.

La segunda etapa implicó el preprocesamiento digital de las imágenes de satélite. Este proceso tuvo como objetivo ajustar y normalizar la información espectral previo a llevar a cabo la clasificación temática.

En esta fase se llevaron a cabo correcciones radiométricas y atmosféricas, composición de bandas, delimitación del área de estudio y creación de índices espectrales para facilitar la identificación de la cobertura vegetal.

Además, las imágenes fueron homogenizadas espacialmente para reducir posibles errores derivados de diferencias entre sensores o condiciones atmosféricas. Todo el procesamiento se desarrolló en el software ArcGIS.

La tercera fase correspondió a la clasificación supervisada de uso y cobertura del suelo. Para ello se definieron previamente las categorías temáticas representativas del área de estudio, tales como bosque natural, vegetación arbustiva, áreas agrícolas, suelo desnudo, áreas intervenidas o degradadas y cuerpos de agua. Posteriormente, se seleccionaron muestras de entrenamiento mediante interpretación visual y apoyo de imágenes de alta resolución. Estas muestras permitieron entrenar el algoritmo de clasificación supervisada, específicamente el método de Máxima Verosimilitud, el cual asignó cada píxel a la clase con mayor probabilidad estadística según su respuesta espectral. Esta fase permitió generar mapas temáticos para cada año analizado.

La cuarta fase comprendió la detección y análisis de cambios multitemporales. En esta etapa se compararon los mapas de cobertura correspondientes a los años 2000, 2015 y 2025 mediante técnicas de comparación post-clasificación, con el objetivo de determinar las transformaciones ocurridas en el paisaje del Parque Nacional Machalilla a lo largo del tiempo, así como identificar procesos de expansión agrícola, reducción de áreas naturales o aumento de áreas intervenidas o degradadas. Asimismo, se elaboró el balance neto de cambios por clase y productos cartográficos

que facilitaron la interpretación espacial de los cambios detectados y la comprensión de las dinámicas territoriales presentes en el área protegida. Cabe precisar que este balance cuantifica la superficie ganada o perdida por cada categoría entre periodos, sin identificar de manera específica hacia o desde qué clase se produjo cada transición (por ejemplo, bosque → agrícola) la elaboración de una matriz de transición origen-destino no formó parte del alcance metodológico de este estudio.

La quinta fase correspondió a la recopilación y sistematización de información sobre la dinámica turística del área de estudio, con el fin de contrastarla con los cambios de cobertura detectados y dar respuesta al objetivo específico orientado a establecer posibles asociaciones entre ambos procesos. Para ello se recurrió a fuentes secundarias oficiales, entre las que se incluyen los registros del Ministerio del Ambiente (MAE/MAATE) sobre número de visitantes al Parque Nacional Machalilla, las estadísticas del GAD Municipal de Puerto López y estudios previos disponibles sobre afluencia turística en los sectores de Puerto López, Los Frailes y Agua Blanca, procurando priorizar datos correspondientes o cercanos a los años de corte del análisis multitemporal (2000, 2015 y 2025).

El contraste entre ambas dimensiones se realizó mediante un análisis temporal comparativo de carácter descriptivo, en el que se contrastó la tendencia de crecimiento de la afluencia de visitantes reportada en las fuentes consultadas con la tendencia de cambio en las coberturas antrópicas (áreas pobladas, agrícolas e intervenidas) identificadas para los mismos periodos.

Es importante precisar que, dada la escasez y discontinuidad de los registros oficiales de visitantes disponibles para años específicos, no fue posible aplicar un análisis de correlación estadística (v. gr. coeficiente de Pearson o Spearman) entre series

temporales pareadas de afluencia turística y superficie de cambio. En consecuencia, la asociación entre dinámica turística y transformación del paisaje planteada en la hipótesis debe entenderse como una asociación temporal de carácter descriptivo, y no como una relación estadísticamente demostrada, lo cual constituye una limitación metodológica que se retoma en el apartado de discusión y en las recomendaciones para estudios futuros.

4.4 Recolección de información satelital

Se utilizaron imágenes satelitales de la serie Landsat correspondientes a los años 2000, 2015 y 2025, las cuales fueron descargadas desde la plataforma oficial del USGS Earth Explorer.

La selección de estas imágenes respondió a la necesidad de realizar un análisis multitemporal que permitiera identificar y evaluar los cambios de uso y cobertura del suelo ocurridos en el Parque Nacional Machalilla durante un período de veinticinco años.

Con respecto a los sensores empleados, para el año 2000 se trabajó con imágenes del satélite Landsat 5 TM, mientras que para el año 2015 se utilizaron imágenes del sensor Landsat 8 OLI/TIRS; y para el año 2025 se consideraron imágenes provenientes de Landsat 8 OLI/TIRS o Landsat 9 OLI-2, dependiendo de la disponibilidad y calidad de las escenas al momento de la descarga.

La utilización de diferentes generaciones de satélites Landsat permitió disponer de información histórica continua y homogénea para el análisis espacial del paisaje. La selección de las imágenes se realizó bajo criterios técnicos específicos con el fin de garantizar la confiabilidad y comparabilidad de los resultados. En primer lugar, se

priorizaron escenas con una cobertura nubosa inferior al 10 %, debido a que la presencia excesiva de nubes puede afectar significativamente la interpretación y clasificación de las coberturas terrestres.

Igualmente, se procuró que las imágenes correspondieran a épocas similares del año, con el objetivo de reducir variaciones estacionales en la vegetación y asegurar una comparación temporal más precisa. Así mismo, se verificó la disponibilidad completa de las bandas espectrales necesarias para la generación de composiciones multiespectrales e índices de vegetación, así como una adecuada calidad radiométrica de las imágenes selección.

Tabla 1. *Información técnica de las imágenes satelitales utilizadas.*

Año	Satélite / Sensor	ID de escena (Path/Row)	Fecha de adquisición	Resolución espacial	Nubosidad (%)
2000	Landsat 5 TM	011/061	20/03/2026	30 m	<10 %
2015	Landsat 8	011/061	20/03/2026	30 m	<10 %
2025	Landsat 9	011/061	20/03/2026	30 m	<10 %

La resolución espacial empleada fue de 30 metros, característica estándar de los sensores Landsat, la cual resulta apropiada para estudios regionales de uso y cobertura del suelo y para el análisis de dinámicas del paisaje a escala territorial. Esta

resolución permite identificar patrones espaciales relevantes y evaluar procesos de transformación ambiental en áreas protegidas y ecosistemas de gran extensión.

Numerosos estudios científicos destacan la importancia y utilidad de la serie Landsat en investigaciones multitemporales relacionadas con cambios de cobertura terrestre, debido principalmente a su continuidad histórica, estabilidad radiométrica y disponibilidad gratuita de datos satelitales.

En este sentido, Zhong et al. (2014) señalan que las imágenes Landsat representan una herramienta eficiente para el monitoreo temporal de coberturas agrícolas y vegetales, mientras que Santos et al. (2018) resaltan su aplicabilidad en el seguimiento de dinámicas forestales y cambios ambientales a largo plazo.

4.5 Preprocesamiento de imágenes satelitales

El preprocesamiento se realizó en el software ArcGIS Pro, con el objetivo de garantizar la homogeneidad espacial y espectral de las imágenes. Las etapas desarrolladas fueron las siguientes:

4.5.1 Corrección radiométrica y atmosférica

Se aplicó corrección atmosférica con el fin de reducir los efectos de dispersión y absorción de la atmósfera sobre la reflectancia de la superficie terrestre. Para ello se utilizaron imágenes *Landsat Collection 2 Level-2*, las cuales cuentan con correcciones atmosféricas previamente procesadas por el USGS.

Este procedimiento mejoró la calidad y comparabilidad de las imágenes multitemporales empleadas en el estudio, aspecto fundamental en análisis de cambios de cobertura del suelo (Sousa y Small, 2016).

4.6 . Clasificación supervisada

La clasificación de uso y cobertura del suelo se realizó mediante el método de clasificación supervisada, debido a su capacidad para asignar clases temáticas a partir de muestras previamente definidas por el investigador.

De acuerdo con Rojas y Medina (2020), este tipo de clasificación facilita la obtención de resultados confiables cuando existe conocimiento previo del territorio y adecuada selección de muestras de entrenamiento. El algoritmo específico empleado fue el clasificador de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood), disponible en el módulo de clasificación de ArcGIS Pro. Este constituye el componente de inteligencia artificial aplicado en la presente investigación: un modelo estadístico de aprendizaje supervisado que, entrenado con las firmas espectrales descritas en el documento, calcula la probabilidad de pertenencia de cada píxel a cada clase temática y le asigna la de mayor probabilidad.

No se emplearon algoritmos adicionales de aprendizaje automático, por tanto, las referencias a inteligencia artificial a lo largo del documento deben entenderse en este sentido específico.

4.6.1 Definición de clases temáticas

Las clases de cobertura definidas para el estudio fueron, vegetación boscosa, vegetación arbustiva/herbácea, áreas agrícolas, áreas intervenidas o degradadas, áreas poblacionales, y cuerpos de agua. Estas categorías fueron seleccionadas considerando las características ecológicas del parque y la capacidad de discriminación espectral de las imágenes Landsat.

Es importante precisar que la clase "áreas intervenidas o degradadas" agrupa, bajo

un mismo criterio espectral, tanto superficies sin cobertura vegetal de origen natural, como playas y zonas áridas propias del bosque seco tropical, como sectores efectivamente alterados por actividad humana, tales como suelos desnudos por remoción de vegetación, superficies erosionadas y áreas intervenidas por infraestructura.

La resolución espectral de las imágenes Landsat no permite diferenciar de manera automática estos dos orígenes dentro de la clasificación supervisada aplicada. En consecuencia, las variaciones de esta clase a lo largo del estudio deben interpretarse como un indicador aproximado y no concluyente, de presión antrópica sobre el territorio.

4.6.2 Selección de muestras de entrenamiento

Las muestras de entrenamiento fueron obtenidas mediante interpretación visual de imágenes satelitales y conocimiento previo del territorio. Para cada clase temática se digitalizaron polígonos representativos distribuidos homogéneamente en toda el área de estudio. Las firmas espectrales obtenidas permitieron entrenar el algoritmo de clasificación.

4.6.3 Validación de la clasificación

En el estudio no se llevó a cabo un procedimiento formal de evaluación de la exactitud temática de los mapas clasificados, mediante matriz de confusión, cálculo de exactitud global, índice Kappa u otro procedimiento equivalente. Esta ausencia constituye una limitación metodológica que debe considerarse al interpretar los resultados, dado que las superficies y los cambios reportados en las secciones posteriores dependen directamente de la fiabilidad de la clasificación supervisada aplicada a cada año analizado (2000, 2015 y 2025).

Si bien la selección de muestras de entrenamiento se apoyó en interpretación visual de las imágenes satelitales y en el conocimiento previo del área de estudio, lo cual contribuye a reducir el error de clasificación, no se dispuso de puntos de verificación en campo ni de imágenes de referencia de mayor resolución espacial que permitieran contrastar de manera independiente las clases asignadas por el algoritmo.

En consecuencia, los resultados de superficie y cambio presentados en el Capítulo III deben interpretarse como una aproximación cuantitativa a las dinámicas de cobertura y uso del suelo del Parque Nacional Machalilla, y no como valores validados con un nivel de exactitud estadísticamente demostrado.

Se recomienda que estudios posteriores incorporen una fase de validación mediante muestreo aleatorio estratificado y verificación en campo o con imágenes de muy alta resolución, que permita cuantificar la exactitud global y el índice Kappa de las clasificaciones obtenidas, fortaleciendo así la confiabilidad de los análisis de cambio multitemporal.

4.7 Detección de cambios multitemporales

La detección de cambios se realizó mediante la técnica de comparación post-clasificación entre los mapas temáticos correspondientes a los años 2000, 2015 y 2025. Este procedimiento facilitó la identificación y cuantificación de las principales transformaciones ocurridas en el paisaje del Parque Nacional Machalilla, tales como la pérdida de cobertura vegetal, la expansión de áreas agrícolas, el incremento de áreas intervenidas o degradadas y otros cambios en el uso y cobertura del suelo. La comparación post-clasificación es ampliamente utilizada en estudios multitemporales

debido a que facilita la identificación específica de las transiciones entre categorías temáticas (Jaramillo & Antunes, 2018).

4.8 Análisis espacial y elaboración cartográfica

Los resultados obtenidos a partir de la clasificación y detección de cambios fueron procesados y analizados en el software ArcGIS Pro mediante herramientas de análisis espacial y estadística descriptiva. A partir de esta información se elaboraron mapas temáticos de uso y cobertura del suelo para cada uno de los años analizados (2000, 2015 y 2025), los cuales permitieron representar espacialmente la distribución de las diferentes categorías de cobertura dentro del Parque Nacional Machalilla.

Igualmente, se generaron mapas de cambios multitemporales para identificar las zonas donde ocurrieron transformaciones significativas del paisaje a lo largo del período de estudio.

Complementariamente, se elaboraron tablas estadísticas con las superficies ocupadas por cada categoría de cobertura que facilitaron la interpretación de las variaciones espaciales y temporales observadas entre los distintos años analizados. Toda la representación cartográfica y el procesamiento espacial se realizaron utilizando el sistema de coordenadas UTM datum WGS84 zona 17 Sur, con el propósito de garantizar precisión geográfica y compatibilidad entre los diferentes insumos cartográficos empleados en la investigación.

4.9 Interpretación de resultados

La interpretación de los resultados se fundamentó en el análisis cuantitativo de las variaciones espaciales identificadas entre los años 2000, 2015 y 2025. A partir de los mapas de cobertura y de los análisis multitemporales realizados, se evaluó la

dinámica de transformación del paisaje dentro del Parque Nacional Machalilla, considerando aspectos como los cambios en la cobertura boscosa, el incremento o reducción de áreas agrícolas, los procesos de fragmentación de la vegetación natural y la presión antrópica presente tanto dentro como en las zonas aledañas al área protegida.

Las transformaciones detectadas fueron interpretadas en relación con diversos procesos socioambientales y actividades humanas desarrolladas en la región, tales como expansión agrícola, ocupación del territorio y modificaciones en el uso del suelo, lo que admitió el comprender integralmente la evolución del paisaje en el período de estudio.

CAPÍTULO III

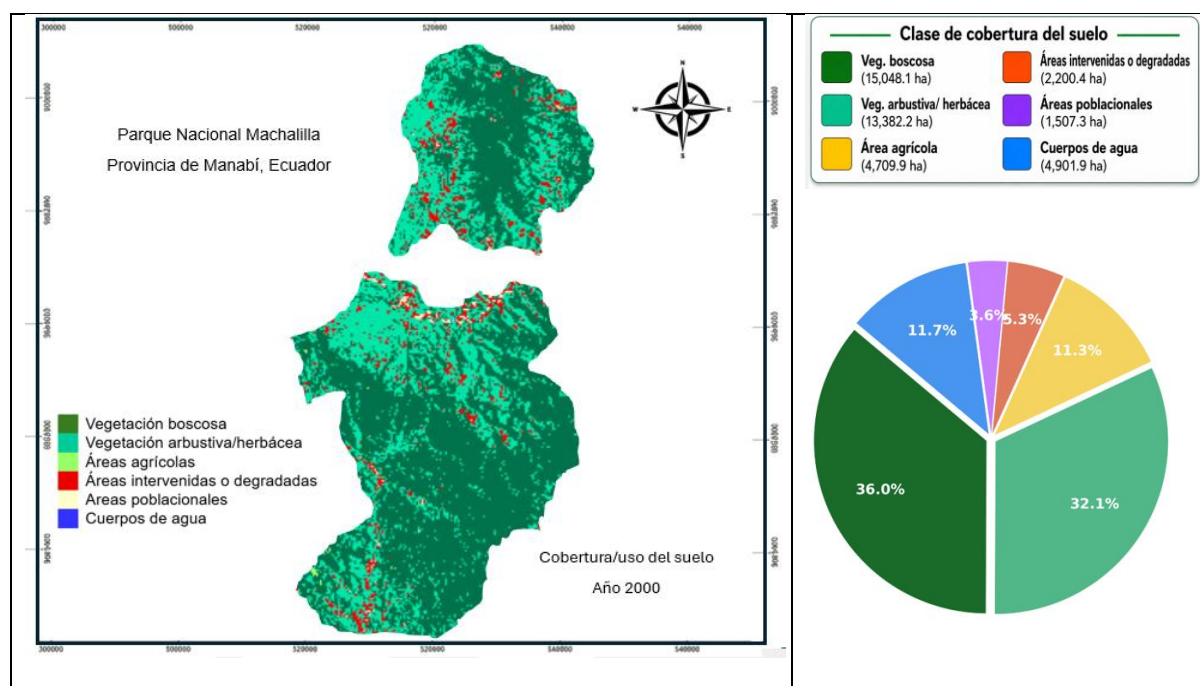
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

5.1.1. Análisis espacial de cobertura y uso del suelo para el año 2000

Los resultados obtenidos para el año 2000 evidencian un claro predominio de coberturas naturales dentro de la matriz espacial analizada (Figura 2). La vegetación boscosa representó la categoría con mayor ocupación territorial, alcanzando el 36.04 % de la superficie total.

Figura 2. Cobertura y uso del suelo del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla para el año 2000.



Esta cobertura agrupa principalmente a los remanentes de bosque seco tropical y bosque de garúa característicos del área protegida. La segunda categoría con mayor peso espacial fue la vegetación arbustiva/herbácea, con una superficie del 32.05 %, englobando zonas de transición ecológica, matorrales xerofíticos y áreas en proceso

de regeneración natural.

Por otro lado, la dinámica humana y las superficies modificadas se distribuyeron de forma específica entre tres categorías diferenciadas. El área agrícola cubrió un total de 4,709.85 hectáreas (11.28%), reflejando la extensión de cultivos tradicionales y pastizales antrópicos en valles bajos. Las áreas intervenidas o degradadas presentaron también un aumento de +480.17 hectáreas. Dado que esta clase agrupa tanto sectores naturales sin vegetación como superficies efectivamente alteradas por remoción de cobertura y erosión, este incremento sugiere, sin confirmar de manera concluyente, procesos de degradación de origen antrópico. Del mismo modo, las áreas poblacionales, compuestas por asentamientos consolidados e infraestructura vial costera, representaron un área de 1,507.32 hectáreas (3.61%). Por último, los cuerpos de agua alcanzaron las 4,901.92 hectáreas, consolidando el 11.74 % restante de la matriz de estudio (Tabla 2).

Tabla 2. *Distribución de cobertura y uso del suelo - Machalilla (2000)*

Clase de cobertura del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Vegetación boscosa	15,048.14	36.04
Vegetación arbustiva/herbácea	13,382.16	32.05
Área agrícola	4,709.85	11.28
Áreas intervenidas o degradadas	2,200.44	5.27
Áreas poblacionales	1,507.32	3.61
Cuerpos de agua	4,901.92	11.74
TOTAL	41,754.00	100

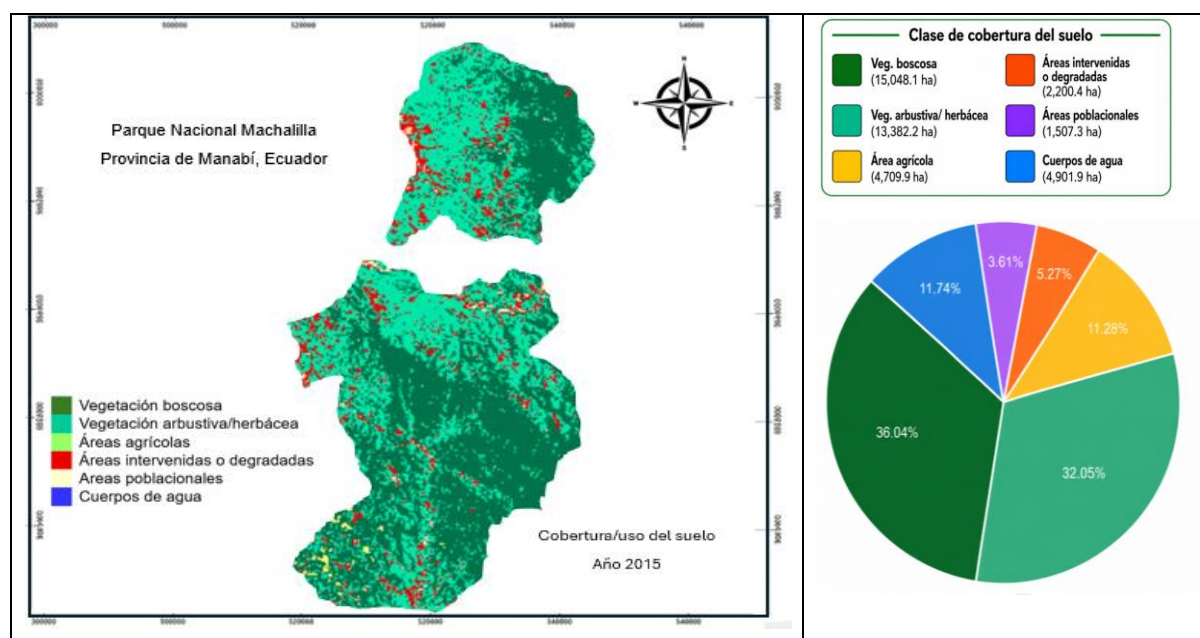
En general, los resultados muestran que para el año 2000 el paisaje del Parque

mantenía una fuerte dominancia de coberturas naturales, superando conjuntamente el 68% del territorio. Esto evidencia la importancia ecológica del área protegida como mecanismo de conservación frente al avance de actividades antrópicas.

5.1.2. Análisis espacial de cobertura y uso del suelo para el año 2015

Con el análisis del 2015 fue posible identificar modificaciones importantes en el paisaje respecto a los niveles base del año 2000. Aunque las coberturas naturales continuaron siendo las predominantes en la matriz territorial, se observó una expansión progresiva y cuantificable de las superficies modificadas por actividades humanas (Figura 3).

Figura 3. Cobertura y uso del suelo del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla para el año 2015.



La cobertura de vegetación boscosa disminuyó a 13,966.71 hectáreas, representando el 33.45 % de la superficie total analizada (Tabla 2); esto evidencia una pérdida neta de aproximadamente 1,081.43 hectáreas en un periodo de 15 años.

De igual forma, la vegetación arbustiva/herbácea presentó una contracción al alcanzar 13,052.30 hectáreas (31.26 %). Ambas reducciones reflejan procesos dinámicos de degradación vegetal y la sustitución directa de coberturas naturales por usos agropecuarios y antrópicos.

Al contrario, las clases vinculadas a la actividad humana registraron incrementos significativos. El área agrícola experimentó una expansión notable alcanzando 5,156.62 hectáreas (12.35 %), consolidándose como el principal motor de cambio de uso de suelo debido a la apertura de pastizales y zonas de cultivo.

Por su parte, las áreas poblacionales aumentaron a 2,726.54 hectáreas (6.53 %), impulsadas por el desarrollo de infraestructura turística en los sectores costeros y el crecimiento de los asentamientos consolidados.

Las áreas intervenidas o degradadas se situaron en 1,991.67 hectáreas (4.77 %). Finalmente, la cobertura de cuerpos de agua mostró un comportamiento altamente estable al registrar 4,860.17 hectáreas, reteniendo el 11.64 % de la superficie total de la matriz de estudio.

En síntesis, los resultados de este periodo, según se aprecia en la tabla 3, confirman una transición progresiva del paisaje natural hacia usos antrópicos, concentrándose espacialmente en las zonas periféricas del área protegida y a lo largo de los principales corredores de acceso vial.

Tabla 3. Distribución de cobertura y uso del suelo - Machalilla (2015)

Clase de cobertura del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Vegetación boscosa	13,966.71	33.45
Vegetación arbustiva/herbácea	13,052.30	31.26
Área agrícola	5,156.62	12.35
Áreas intervenidas o degradadas	1,991.67	4.77
Áreas poblacionales	2,726.54	6.53
Cuerpos de agua	4,860.17	11.64
TOTAL	41,754.00	100

5.1.3. Dinámica de cambio entre 2000 y 2015

La comparación multitemporal que se presenta en la tabla 4, entre los años 2000 y 2015 permitió cuantificar las transiciones de la cobertura del suelo e identificar cambios significativos en la estructura espacial del paisaje. Durante este periodo de 15 años, la principal fuerza directriz del cambio estuvo representada por la consolidación de las actividades humanas, manifestada a través del crecimiento del área agrícola (+446.77 ha) y una notable expansión de las áreas poblacionales (+1,219.22 ha), principalmente concentradas en las zonas costeras de amortiguamiento e infraestructura vial.

La vegetación boscosa registró la mayor tasa de contracción neta con una pérdida de 1,081.43 hectáreas (-2.59 %). Igualmente, la vegetación arbustiva/herbácea

experimentó un descenso de 329.86 hectáreas (-0.79 %). En contraste, la clase cuerpos de agua mostró tendencia hacia la estabilidad geomorfológica y superficial, con una variación de apenas -41.75 hectáreas.

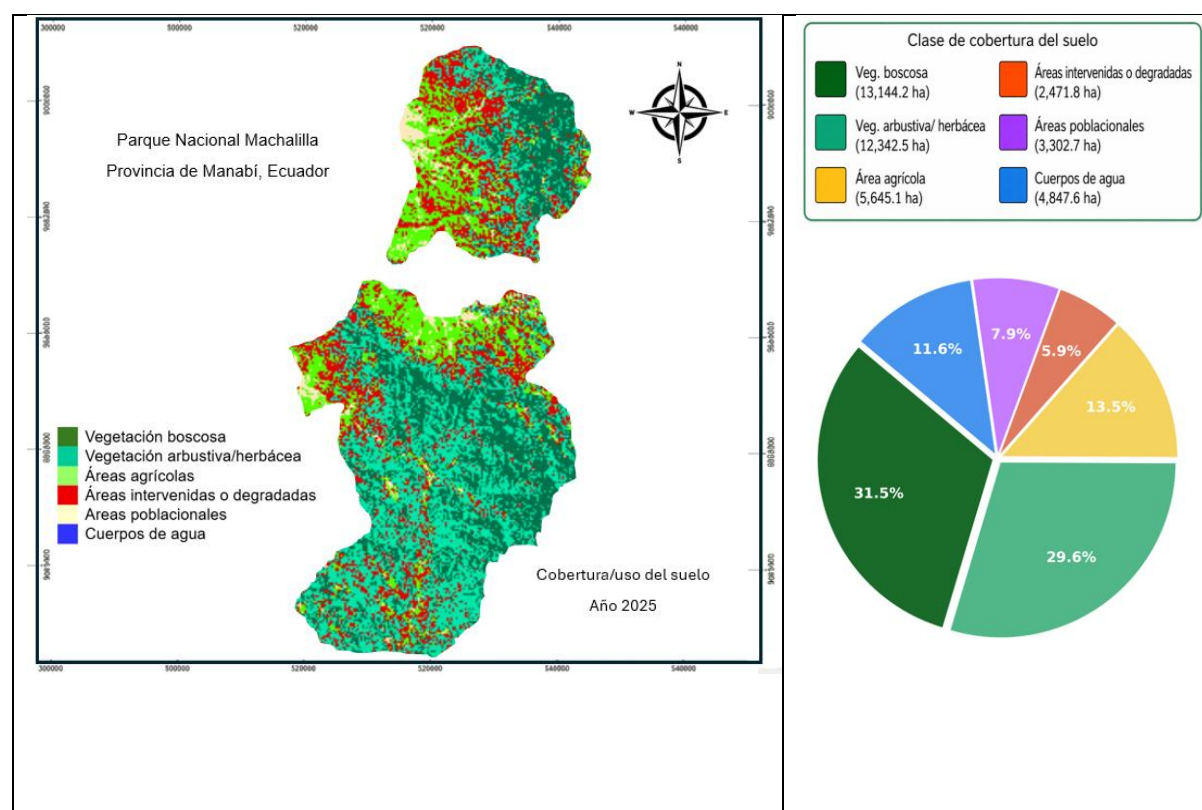
Tabla 4. *Balance de transiciones del paisaje (2000-2015)*

Clase de Cobertura del Suelo	Superficie 2000 (%)	Superficie 2015 (%)	Cambio Neto (%)	Cambio Neto (ha)	Tendencia Espacial Predominante
Vegetación boscosa	36.04	33.45	-2.59	-1,081.43	Deforestación y fragmentación
Vegetación arbustiva/herbácea	32.05	31.26	-0.79	-329.86	Degradación y cambio de uso
Área agrícola	11.28	12.35	+1.07	+446.77	Expansión de frontera agropecuaria
Áreas intervenidas o degradadas	5.27	4.77	-0.50	-208.77	Reconfiguración de suelos expuestos
Áreas poblacionales	3.61	6.53	+2.92	+1,219.22	Expansión poblacional e infraestructura
Cuerpos de agua	11.74	11.64	-0.10	-41.75	Estabilidad dinámica superficial

5.1.4. Análisis espacial de cobertura y uso del suelo para el año 2025

El análisis espacial correspondiente al año 2025 evidencia una continuidad en las tendencias de transformación del paisaje observadas en períodos anteriores dentro del Parque Nacional Machalilla y su zona de influencia (Figura 4).

Figura 4. Cobertura y uso del suelo del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla para el año 2025.



La cobertura de vegetación boscosa disminuyó a 13,144.16 hectáreas, representando el 31.48% de la superficie total analizada (Tabla 5). Esta reducción evidencia la persistencia de procesos de fragmentación y pérdida progresiva de coberturas naturales dentro y en las zonas periféricas del área protegida.

Tabla 5. Distribución de cobertura y uso del suelo - Machalilla (2025)

Clase de cobertura del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Vegetación boscosa	13,144.16	31.48
Vegetación arbustiva/herbácea	12,342.48	29.56
Área agrícola	5,645.14	13.52
Áreas intervenidas o degradadas	2,471.84	5.92
Áreas poblacionales	3,302.74	7.91
Cuerpos de agua	4,847.64	11.61
TOTAL	41,754.00	100

De manera similar, la vegetación arbustiva/herbácea presentó una disminución al alcanzar 12,342.48 hectáreas (29.56%). Esta reducción refleja procesos continuos de degradación vegetal y sustitución de ecosistemas naturales por superficies vinculadas a actividades antrópicas. Entre tanto, las coberturas asociadas a la actividad humana continuaron mostrando un crecimiento sostenido. El área agrícola aumentó hasta representar 5,645.14 hectáreas (13.52 %), consolidándose como una de las principales presiones sobre los ecosistemas naturales del parque debido a la expansión de actividades agropecuarias y apertura de nuevas áreas productivas.

De la misma forma, las áreas poblacionales continuaron expandiéndose hasta alcanzar 3,302.74 hectáreas (7.91 %), impulsadas principalmente por el crecimiento de asentamientos humanos, infraestructura turística y desarrollo vial en sectores periféricos del área protegida.

Las áreas intervenidas o degradadas incrementaron su participación espacial hasta alcanzar 2,471.84 hectáreas (5.92%). Esta categoría integra tanto sectores con pérdida de cobertura vegetal, suelos desnudos y superficies erosionadas asociados a actividades humanas (apertura de vías, expansión de infraestructura y remoción de vegetación natural) como coberturas naturales sin vegetación (playas y zonas áridas) que la clasificación no permite diferenciar espectralmente. Por ello, el incremento de esta clase no puede atribuirse en su totalidad a procesos de origen antrópico.

Por último, los cuerpos de agua mantuvieron un comportamiento relativamente estable durante el período analizado, ocupando 4,847.64 hectáreas, equivalentes al 11.61 % de la superficie total de la matriz territorial. Esta estabilidad evidencia que las principales transformaciones detectadas en el paisaje se concentraron principalmente en las coberturas terrestres y no en la dinámica hidrológica superficial.

En síntesis, los resultados correspondientes al año 2025 evidencian una continuidad en el proceso de transformación del paisaje natural hacia usos antrópicos, concentrándose espacialmente en las zonas periféricas, corredores viales y sectores de influencia turística del Parque Nacional Machalilla. La comparación multitemporal entre los años 2015 y 2025 permitió cuantificar las transiciones de la cobertura del suelo e identificar cambios significativos en la estructura espacial del paisaje, tal como se detalla en la tabla 6.

Tabla 6. *Balance de transiciones del paisaje (2015-2025)*

Clase de Cobertura del Suelo	Superficie 2015 (%)	Superficie 2025 (%)	Cambio Neto (%)	Cambio Neto (ha)	Tendencia Espacial Predominante
Vegetación boscosa	33.45	31.48	-1.97	-822.55	Deforestación y fragmentación
Vegetación arbustiva/herbácea	31.26	29.56	-1.70	-709.82	Degradación y cambio de uso
Área agrícola	12.35	13.52	+1.17	+488.52	Expansión de frontera agropecuaria
Áreas intervenidas o degradadas	4.77	5.92	+1.15	+480.17	Dinámica antrópica y antropización
Áreas poblacionales	6.53	7.91	+1.38	+576.20	Expansión urbana e infraestructura
Cuerpos de agua	11.64	11.61	-0.03	-12.53	Estabilidad dinámica superficial

Durante este periodo de 10 años, la presión humana continuó expandiéndose principalmente mediante el crecimiento del área agrícola (+488.52 ha) y una expansión de las áreas poblacionales (+576.20 ha), asociadas al crecimiento de asentamientos humanos, infraestructura turística y expansión vial en sectores

periféricos del Parque Nacional Machalilla.

Las áreas intervenidas o degradadas presentaron también un aumento importante de +480.17 hectáreas, evidenciando procesos activos de erosión, remoción de cobertura vegetal y degradación del suelo.

Contrariamente, las coberturas naturales continuaron disminuyendo durante este periodo. La vegetación boscosa registró una reducción de 822.55 hectáreas (-1.97%), mientras que la vegetación arbustiva/herbácea presentó una disminución de 709.82 hectáreas (-1.70%), reflejando procesos continuos de fragmentación y sustitución de ecosistemas naturales. Mientras que los cuerpos de agua mantuvieron una alta estabilidad espacial registrando únicamente una variación marginal de -12.53 hectáreas.

5.1.5. Análisis comparativo multitemporal (2000-2015-2025)

El análisis comparativo de la serie temporal completa permitió identificar la trayectoria evolutiva y la dinámica de cambio de las coberturas y usos del suelo durante el período 2000–2025 dentro de la matriz territorial analizada. Los resultados evidencian una tendencia progresiva de transformación del paisaje natural hacia superficies antropizadas, particularmente asociadas a actividades agrícolas, expansión poblacional e incremento de áreas intervenidas.

La clase vegetación boscosa exhibe una contracción sostenida a lo largo de toda la serie temporal, descendiendo de 15,048.14 hectáreas (36.04%) en el año 2000 a 13,144.16 hectáreas (31.48%) en el año 2025. Esta reducción acumulada de 1,903.98 hectáreas refleja procesos continuos de fragmentación, pérdida de cobertura vegetal y disminución de ecosistemas característicos del bosque seco tropical y bosque de

garúa presentes dentro del Parque Nacional Machalilla. En concordancia con este comportamiento, la vegetación arbustiva/herbácea también presentó un descenso progresivo, pasando de 13,382.16 hectáreas (32.05%) en el año 2000 a 12,342.48 hectáreas (29.56%) en 2025. Esta disminución acumulada de 1,039.68 hectáreas evidencia procesos de degradación vegetal y sustitución gradual de coberturas naturales por usos vinculados a actividades antrópicas.

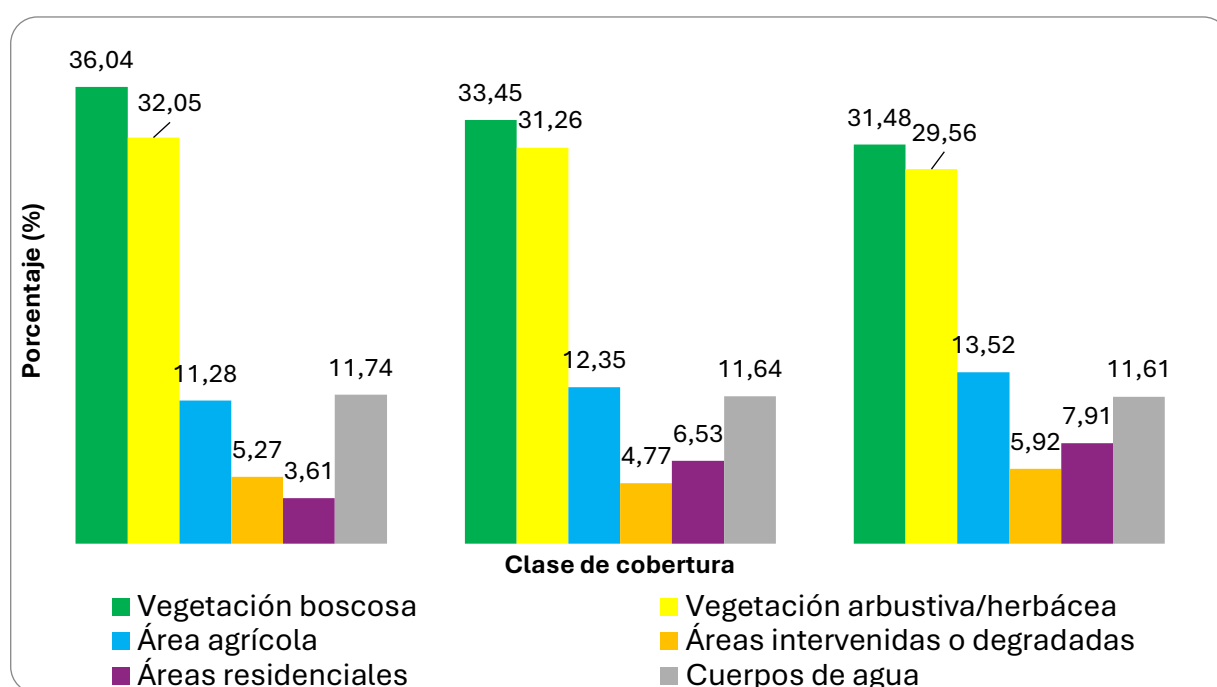
En contraste con la reducción de coberturas naturales, las clases asociadas a actividades humanas mostraron una expansión sostenida durante los 25 años analizados. El área agrícola incrementó progresivamente su participación espacial desde 4,709.85 hectáreas (11.28%) en el año 2000 hasta 5,645.14 hectáreas (13.52%) en 2025, registrando un incremento acumulado de 935.29 hectáreas. Este comportamiento consolida a la actividad agropecuaria como uno de los principales motores de transformación territorial dentro de la matriz del paisaje. De igual manera, las áreas poblacionales evidenciaron un crecimiento continuo, pasando de 1,507.32 hectáreas (3.61%) en el año 2000 a 3,302.74 hectáreas (7.91%) en el año 2025. Este incremento acumulado de 1,795.42 hectáreas estuvo asociado al crecimiento de asentamientos humanos, expansión de infraestructura vial y desarrollo turístico en sectores periféricos del área protegida.

Las áreas intervenidas o degradadas también mostraron un incremento progresivo dentro de la serie temporal, aumentando de 2,200.44 hectáreas (5.27%) en el año 2000 a 2,471.84 hectáreas (5.92%) en el año 2025. Esta dinámica es compatible con procesos de alteración antrópica, pérdida de cobertura vegetal protectora y exposición de suelos susceptibles a degradación y erosión; sin embargo, dado que la clase también incluye coberturas naturales sin vegetación, el incremento observado debe

entenderse como un indicador aproximado y no como una medición directa de la presión humana sobre el territorio. Por último, la clase cuerpos de agua mantuvo un comportamiento relativamente estable durante todo el período analizado. Su participación espacial pasó de 4,901.92 hectáreas (11.74%) en el año 2000 a 4,847.64 hectáreas (11.61%) en 2025, registrando únicamente una variación marginal de -54.28 hectáreas. Esta estabilidad evidencia que las principales transformaciones detectadas en el paisaje se concentraron principalmente en las coberturas terrestres y no en la dinámica hidrológica superficial.

En términos generales, los resultados del análisis multitemporal consolidan una tendencia progresiva de antropización del paisaje dentro y alrededor del Parque Nacional Machalilla, caracterizada por la reducción sistemática de coberturas naturales y el incremento de superficies asociadas a actividades humanas, particularmente agrícolas, residenciales y de infraestructura turística (Figura 5).

Figura 5. *Evolución temporal de coberturas del suelo entre los años 2000 y 2025.*



5.1.6. Balance del cambio neto de superficie

La cuantificación del balance neto acumulado confirma la magnitud de los procesos de transformación y antropización del paisaje dentro de la matriz territorial analizada. Entre los años 2000 y 2025, la pérdida combinada de coberturas naturales correspondientes a vegetación boscosa y vegetación arbustiva/herbácea ascendió a un total de 2,943.66 hectáreas. Esta reducción evidencia una disminución progresiva de los ecosistemas naturales asociados principalmente al bosque seco tropical y a las formaciones vegetales de transición presentes dentro del Parque Nacional Machalilla.

El retroceso de las coberturas naturales fue acompañado por el incremento acumulado de superficies vinculadas a actividades humanas. El área agrícola presentó un aumento total de 935.29 hectáreas, consolidándose como uno de los principales motores de transformación territorial debido a la expansión de actividades agropecuarias y apertura de nuevas áreas productivas.

De igual manera, las áreas poblacionales registraron el mayor crecimiento acumulado dentro de toda la serie temporal, incrementándose en 1,795.42 hectáreas. Este comportamiento estuvo asociado principalmente al crecimiento de asentamientos humanos, expansión de infraestructura vial y desarrollo turístico en sectores periféricos del área protegida.

Las áreas intervenidas o degradadas también mostraron un incremento acumulado de 271.40 hectáreas, lo cual es consistente con procesos progresivos de remoción de cobertura vegetal y exposición de suelos susceptibles a erosión, aunque, como se señaló en la sección de metodología, esta clase no distingue entre origen natural y antrópico, por lo que el dato debe leerse como una tendencia general y no como evidencia concluyente de degradación causada por actividad humana.

Así también, se identificó una aceleración de estos procesos durante el segundo período analizado (2015–2025), caracterizada por el incremento de superficies degradadas vinculadas al avance de infraestructura, expansión vial y actividades antrópicas asociadas al turismo.

Los cuerpos de agua mantuvieron una alta estabilidad espacial durante todo el período evaluado (Tabla 7), registrando únicamente una variación marginal acumulada de -54.28 hectáreas. Esta estabilidad confirma que las principales transformaciones del paisaje se concentraron principalmente en las coberturas terrestres y no en la dinámica hidrológica superficial.

Tabla 7. *Balance del cambio neto de superficie (Hectáreas)*

Clase de Cobertura del Suelo	Periodo 2000–2015 (ha)	Periodo 2015–2025 (ha)	Balance Acumulado (ha)
Vegetación boscosa	-1,081.43	-822.55	-1,903.98
Vegetación arbustiva/herbácea	-329.86	-709.82	-1,039.68
Área agrícola	+446.77	+488.52	+935.29
Áreas intervenidas o degradadas	-208.77	+480.17	+271.40
Áreas poblacionales	+1,219.22	+576.20	+1,795.42
Cuerpos de agua	-41.75	-12.53	-54.28

5.1.7. Interpretación general de los resultados

El análisis multitemporal integral pone de manifiesto una transformación progresiva y asimétrica del paisaje dentro y en las zonas de influencia del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla.

Las coberturas naturales protectoras correspondientes a vegetación boscosa y vegetación arbustiva/herbácea experimentaron una reducción sistemática a lo largo de todo el horizonte temporal evaluado. Esta tendencia responde principalmente a la presión ejercida por el incremento de las áreas agrícolas, la expansión de las áreas poblacionales y el aumento progresivo de superficies intervenidas o degradadas, dinámicas impulsadas por demandas socioeconómicas locales, cambios en la matriz productiva agropecuaria y el crecimiento de actividades turísticas en el perfil costero. De forma complementaria, el incremento observado en las áreas intervenidas o degradadas durante el último período analizado (2015–2025) constituye un indicador biofísico directo de procesos de erosión, fragmentación de hábitats y deterioro de la cobertura vegetal protectora. Estas transformaciones reflejan dinámicas de alteración antrópica asociadas a apertura de vías, expansión de infraestructura y presión territorial sobre ecosistemas secos tropicales altamente sensibles.

Sin embargo, a pesar de las transformaciones identificadas, es importante destacar que el Parque Nacional Machalilla aún conserva los bloques continuos más representativos de bosque seco tropical de la costa ecuatoriana. Este hecho confirma el papel fundamental que ejerce el estatus legal de conservación del área protegida para limitar procesos de cambio de uso del suelo de carácter irreversible y mantener importantes remanentes de cobertura natural.

En términos generales, la conversión progresiva de paisajes naturales hacia sistemas antropizadas constituye la principal fuerza directriz de cambio dentro de la matriz territorial analizada, representando una amenaza potencial para la conectividad ecológica, la estabilidad de los ecosistemas xerofíticos y la funcionalidad de los servicios ecosistémicos presentes en la región.

5.1.8. Contraste temporal entre la dinámica turística y los cambios de cobertura

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo específico orientado a contrastar los cambios de cobertura con la dinámica turística del área (Tabla 8), se comparó la tendencia de afluencia de visitantes reportada en fuentes oficiales con la tendencia de cambio de las coberturas antrópicas identificadas en el análisis multitemporal, tomando como referencia los años disponibles más cercanos a los cortes de estudio (2000, 2015 y 2025), en concordancia con la limitación de disponibilidad de datos turísticos ya señalada en el apartado metodológico.

Tabla 8. *Contraste temporal entre afluencia turística y cambio de coberturas antrópicas.*

Periodo aproximado	Afluencia turística	Cambio de coberturas antrópicas*
1998–2000	10.349 visitantes anuales (MAE, 1998)	Punto de partida del análisis multitemporal
2014–2015	225.000 visitas anuales (MAE, 2014) crecimiento sostenido	Incremento acumulado de áreas pobladas y agrícolas
2024–2025	Contracción de la afluencia por inseguridad regional (Primicias, 2024)	Continúa el incremento de áreas intervenidas/degradadas (+480,17 ha en 2015–2025)

**Coberturas antrópicas: áreas pobladas, agrícolas e intervenidas/degradadas.*

El contraste evidencia una coincidencia temporal entre el periodo de mayor crecimiento turístico (1998–2014) y la fase de mayor expansión de coberturas

antrópicas dentro del parque, lo que resulta consistente con la asociación planteada en la hipótesis. Sin embargo, se observa también que el incremento de áreas intervenidas o degradadas continuó, e incluso se aceleró, durante el periodo 2015–2025, pese a la contracción de la afluencia turística registrada a partir de 2024. Esta discordancia sugiere que la transformación del paisaje en años recientes responde a un conjunto más amplio de factores —expansión agrícola, crecimiento poblacional y desarrollo de infraestructura— y no exclusivamente a la actividad turística, lo cual refuerza el carácter descriptivo y no concluyente de la asociación planteada, tal como se advirtió en el diseño metodológico.

5.2. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una transformación progresiva de la cobertura y uso del suelo en el entorno del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla durante el período 2000–2025. Esta dinámica estuvo caracterizada principalmente por la contracción sistemática de las coberturas vegetales naturales (vegetación boscosa y vegetación arbustiva/herbácea) en favor de la expansión sostenida de matrices de origen antrópico, tales como áreas agrícolas, áreas poblacionales y superficies intervenidas o degradadas.

Estas tendencias coinciden con múltiples investigaciones desarrolladas en ecosistemas tropicales y áreas protegidas de América Latina, donde la presión humana continúa posicionándose como uno de los principales factores de modificación del paisaje (Zhu & Woodcock, 2014).

La disminución de la vegetación boscosa observada en el área de estudio, con una pérdida neta acumulada de 1,903.98 hectáreas entre los años 2000 y 2025, refleja procesos activos de fragmentación y reducción progresiva de cobertura vegetal

natural. Esta pérdida se encuentra asociada principalmente al avance de actividades agropecuarias, crecimiento de asentamientos humanos y desarrollo de infraestructura turística periférica. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado a nivel global mediante sensores remotos de la serie Landsat.

De acuerdo con Hansen et al. (2013), la pérdida de cobertura forestal en regiones tropicales responde prioritariamente a procesos de expansión agrícola y ocupación humana, manifestándose con mayor intensidad en territorios que combinan alta biodiversidad y accesibilidad territorial.

De manera similar, Geist y Lambin (2002) sostienen que la deforestación tropical responde a una compleja interacción de factores socioeconómicos y biofísicos, donde las actividades agropecuarias y la expansión urbana constituyen los principales motores directos del cambio de uso del suelo. En el caso específico del Parque Nacional Machalilla, el incremento conjunto de las áreas poblacionales y áreas agrícolas, que alcanzó una ganancia acumulada de 2,730.71 hectáreas durante toda la serie temporal, confirma la persistencia de una presión territorial sobre los ecosistemas naturales protegidos.

Los resultados también evidencian una disminución progresiva de la vegetación arbustiva/herbácea, la cual experimentó un descenso acumulado de 1,039.68 hectáreas durante el período analizado. Resalta además que la tasa de reducción fue mayor durante el segundo período (2015–2025), lo que evidencia una aceleración de procesos de degradación ambiental y transformación de coberturas de transición hacia superficies agrícolas o áreas intervenidas.

Investigaciones desarrolladas por Lambin et al. (2003) corroboran que las coberturas arbustivas y herbáceas funcionan frecuentemente como ecotonos altamente vulnerables frente a perturbaciones antrópicas recurrentes y variabilidad climática regional, siendo uno de los primeros ecosistemas en experimentar procesos de sustitución.

El incremento de las áreas intervenidas o degradadas, particularmente durante el período 2015–2025 (+480.17 hectáreas), constituye un indicador aproximado de degradación del paisaje, con la salvedad de que esta clase también incorpora coberturas naturales sin vegetación que la clasificación no logra separar del suelo efectivamente alterado por actividad humana. Según Foley et al. (2005), lo cual es consistente con parte de la dinámica observada en esta categoría, aunque no permite atribuir la totalidad del cambio a causas antrópicas. Según Foley et al. (2005), la pérdida de cobertura vegetal incrementa significativamente la susceptibilidad de los suelos a procesos de erosión hídrica y eólica. Esta condición resulta especialmente crítica en ecosistemas secos tropicales como los presentes en la costa ecuatoriana, donde la pérdida de suelo fértil puede generar impactos irreversibles sobre la biodiversidad y estabilidad ecológica.

Por otra parte, la estabilidad relativa observada en la clase cuerpos de agua durante los 25 años evaluados, registrando únicamente una variación acumulada de -54.28 hectáreas, sugiere que las principales transformaciones del paisaje se concentraron principalmente en las coberturas terrestres y no en la dinámica hidrológica superficial.

Resultados similares fueron reportados por Wulder et al. (2022), quienes destacan que la consistencia radiométrica de las imágenes Landsat permite discriminar con alta precisión las transiciones espaciales complejas, diferenciando coberturas estables

como cuerpos de agua respecto a coberturas dinámicas vinculadas a vegetación cambiante y expansión urbana.

La expansión sostenida de áreas poblacionales e infraestructura antrópica identificada en esta investigación se alinea con tendencias regionales documentadas en otras áreas protegidas de Ecuador y Sudamérica. En este sentido, Tapia-Armijos et al. (2015) señalan que los bosques secos tropicales del occidente ecuatoriano han experimentado históricamente intensos procesos de transformación asociados al crecimiento agrícola, ganadero y habitacional, provocando aislamiento de parches boscosos y pérdida progresiva de conectividad biológica.

De igual forma, Zhong et al. (2014), Dannenberg et al. (2016) y Sánchez-Azofeifa et al. (2003) sostienen que la fragmentación antrópica de ecosistemas xerofíticos constituye una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad debido a la reducción de hábitats viables y alteración de ciclos ecológicos.

En el caso de Machalilla, aunque el polígono del parque continúa resguardando importantes núcleos continuos de bosque natural seco y de neblina, los mapas multitemporales evidencian señales claras de presión territorial sobre las zonas periféricas y áreas de amortiguamiento.

Con base en las evidencias recopiladas, se concluye que las estrategias de conservación aplicadas en el área protegida han sido esenciales para preservar significativos remanentes de cobertura natural. No obstante, las tendencias de expansión agrícola, incremento demográfico y aumento de las áreas degradadas siguen poniendo en riesgo la resiliencia ecológica de los ecosistemas protegidos.

Por lo tanto, es esencial reforzar estrategias de planificación territorial, recuperación ecológica y regulación ambiental en las áreas periféricas y de amortiguamiento, asegurando de este modo la conectividad ecológica y la conservación sostenible de los ecosistemas secos tropicales ubicados en la costa ecuatoriana.

Las transformaciones espaciales observadas en el periodo examinado coinciden, en términos generales, con el contraste temporal presentado en la Tabla 8, en el cual el periodo de mayor crecimiento de la afluencia turística (1998–2014) coincide con la fase de mayor expansión de las coberturas antrópicas dentro del parque. Esta coincidencia es consistente con lo reportado por Álvarez y Macas (2018), quienes también identificaron una fuerte conexión entre el aumento de actividades turísticas y la construcción de infraestructura relacionada en las áreas periféricas del Parque Nacional Machalilla. El aumento de zonas habitadas, rutas de acceso y áreas modificadas muestra una ampliación constante de espacios dedicados a servicios turísticos, alojamiento, comercio y conectividad territorial, especialmente en áreas relacionadas con los principales atractivos turísticos naturales y costeros del área protegida.

Sin embargo, tal como se señaló en el apartado de resultados, esta asociación no se sostuvo de manera uniforme durante todo el periodo analizado: el incremento de áreas intervenidas o degradadas continuó, e incluso se aceleró, entre 2015 y 2025, pese a la contracción de la afluencia turística registrada a partir de 2024 por motivos de inseguridad regional. Este hallazgo matiza la relación turismo-paisaje planteada en la hipótesis y sugiere que, en el tramo más reciente de la serie temporal, otros factores de expansión agrícola, crecimiento poblacional e infraestructura vial que

podrían estar ejerciendo una influencia comparable o incluso mayor que la actividad turística sobre la transformación del paisaje.

Diversos estudios científicos desarrollados en esta área protegida y otros ecosistemas tropicales coinciden en señalar que el turismo constituye uno de los principales factores de transformación territorial en ecosistemas costeros sensibles. Álvarez y Macas (2018) identificaron procesos de reducción de cobertura vegetal y alteración del paisaje asociados al crecimiento de actividades humanas y expansión territorial dentro del Parque Nacional Machalilla.

En el mismo sentido, Macías-Zambrano y Represa (2023) señalan que el crecimiento de actividades económicas y turísticas dentro del área protegida ha generado conflictos entre sostenibilidad ambiental y desarrollo territorial, particularmente en comunidades localizadas en zonas de influencia turística. En el mismo sentido, López et al. (2023) sostienen que el incremento del turismo dentro del parque ha generado una presión creciente sobre los recursos naturales y los ecosistemas costeros.

En relación con la infraestructura turística, Ayón-Villafuerte et al. (2018) destacan que el desarrollo de senderos ecológicos y espacios recreativos dentro de la parroquia Machalilla incrementó el flujo de visitantes y la ocupación territorial en áreas naturales sensibles, modificando parcialmente la dinámica espacial del paisaje.

De igual modo, Baque et al. (2018) plantean que los proyectos de turismo comunitario dentro del área de estudio impulsaron procesos de desarrollo territorial y fortalecimiento económico local, aunque simultáneamente incrementaron la presión sobre coberturas naturales y ecosistemas vulnerables.

Por otra parte, Landázuri (2014) documenta que los problemas socioambientales derivados del turismo en el Parque Nacional Machalilla incluyen alteraciones del paisaje, incremento de residuos sólidos, expansión de infraestructura y transformación progresiva de áreas naturales cercanas a zonas turísticas.

En concordancia con ello, Jiménez et al. (2019) aseguran que la concentración de visitantes y la expansión de actividades recreativas dentro de áreas protegidas generan impactos directos sobre la flora, fauna y estabilidad ecológica del paisaje, especialmente cuando no existen mecanismos adecuados de regulación y ordenamiento turístico.

A nivel regional, Campozano-Chiquito et al. (2024) ponen en evidencia que la conservación del parque enfrenta desafíos crecientes relacionados con el incremento de actividades humanas y turísticas, señalando la necesidad de implementar estrategias integrales de gestión ambiental y monitoreo territorial permanente. Mientras que Kalvelage et al. (2020) demostraron que la expansión de infraestructura vial y conectividad territorial en áreas naturales protegidas favorece el crecimiento turístico, aunque simultáneamente acelera procesos de transformación espacial y fragmentación ecológica del paisaje.

Estas dinámicas reflejan cómo el turismo, pese a constituir un motor económico importante para la región, también actúa como un factor de presión sobre los ecosistemas naturales, favoreciendo procesos de fragmentación del paisaje y reducción de coberturas vegetales naturales.

En este contexto, los resultados obtenidos mediante imágenes satelitales evidencian la importancia del monitoreo espacio-temporal como herramienta de apoyo para la

gestión sostenible del turismo y la conservación ambiental. El análisis multitemporal permitió identificar tendencias de transformación territorial que podrían intensificarse en el futuro si no se fortalecen políticas de ordenamiento territorial, regulación turística y conservación ecológica dentro y alrededor del Parque Nacional Machalilla.

6. CONCLUSIONES

El análisis espacial y temporal realizado utilizando imágenes satelitales Landsat y técnicas de inteligencia artificial permitió identificar y cuantificar las principales transformaciones de uso y cobertura del suelo ocurridas en el componente terrestre Parque Nacional Machalilla entre 2000 y 2025. Los resultados indicaron una disminución gradual de la cobertura natural, especialmente de la vegetación forestal y arbustiva/herbácea, asociada con el aumento continuo de las actividades antropogénicas dentro del área protegida y sus zonas de impacto.

El análisis multitemporal permitió reconocer patrones espaciales de transformación territorial, caracterizados por la expansión de áreas agrícolas, el crecimiento de asentamientos y el aumento gradual de superficies invadidas o degradadas. Estas dinámicas reflejan una transformación gradual de la matriz paisajística y una creciente fragmentación de los ecosistemas tropicales secos característicos de la región costera ecuatoriana.

Los resultados obtenidos muestran una asociación temporal, de carácter descriptivo, entre los cambios paisajísticos y el desarrollo de actividades turísticas en y alrededor del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla, particularmente durante el periodo de mayor crecimiento de la afluencia de visitantes (1998–2014). Sin embargo, esta asociación no se sostuvo de manera uniforme en los años más recientes, dado que la expansión de las coberturas antrópicas continuó incluso ante la contracción turística registrada a partir de 2024, lo que sugiere la influencia de otros factores — expansión agrícola, crecimiento poblacional e infraestructura— sobre la transformación del paisaje.

El crecimiento de la infraestructura relacionada con el turismo, vías de acceso, asentamientos y servicios turísticos contribuyó, entre otros factores, al aumento de las superficies intervenidas, especialmente en los sectores periféricos y zonas de amortiguamiento del área protegida. El aumento de la población y de las áreas degradadas en el período analizado constituye un indicador de la presión territorial ejercida por el conjunto de actividades humanas —turísticas y no turísticas— sobre los recursos naturales.

Aunque el turismo representa una fuente relevante de dinamización económica para las comunidades locales, su desarrollo también genera procesos de transformación espacial que inciden sobre la conectividad ecológica, la estabilidad de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad. No obstante los cambios identificados, el componente terrestre del Parque Nacional Machalilla conserva remanentes significativos de bosque seco tropical y de ecosistemas naturales de gran importancia para la biodiversidad costera del país

Lo anterior muestra la importancia ecológica y territorial del área protegida como mecanismo de conservación frente al progresivo desarrollo de actividades antropogénicas.

El uso de herramientas geoespaciales, sensores remotos e inteligencia artificial resultó ser una alternativa eficaz para el monitoreo ambiental y el análisis de los cambios de cobertura del suelo, proporcionando información técnica y cartográfica de gran utilidad para la gestión ambiental, la planificación territorial y la toma de decisiones en áreas protegidas.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla enfrenta un proceso continuo de transformación territorial, el cual se relaciona tanto con el incremento de las actividades creadas por el hombre como con el desarrollo del turismo regional. Frente a este escenario, la prioridad es fortalecer las estrategias de planificación territorial, regulación del turismo sostenible, restauración ecológica y monitoreo constante mediante tecnologías de teledetección e inteligencia artificial para garantizar la preservación y sostenibilidad de los ecosistemas naturales en el largo plazo.

7. RECOMENDACIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos en el análisis multitemporal del componente terrestre del Parque Nacional Machalilla, se plantean las siguientes líneas de acción dirigidas a los distintos actores involucrados en la gestión del territorio y de la actividad turística.

Para las autoridades locales y ambientales (GAD municipales, MAATE, administración del parque) se recomienda incorporar el monitoreo satelital como parte rutinaria del control territorial, priorizando los sectores donde se identificó mayor pérdida de vegetación boscosa y arbustiva durante el período 2015-2025, especialmente en las zonas periféricas cercanas a Puerto López y en las áreas de amortiguamiento. Sería adecuado establecer límites precisos de expansión para los asentamientos y actividades agrícolas en estas áreas, basándose en mapas actualizados y no únicamente en los límites establecidos hace más de diez años.

Asimismo, es conveniente examinar los planes de manejo actuales a la luz de la información presentada aquí, para que los objetivos de conservación se ajusten a la velocidad real de cambio del paisaje y no a proyecciones obsoletas.

En relación con las comunidades locales, especialmente Agua Blanca, Los Frailes y áreas cercanas, se recomienda potenciar los métodos de participación en la supervisión del territorio que ya están utilizando, proporcionándoles información geoespacial accesible sobre los cambios observados.

Los proyectos de turismo comunitario podrían beneficiarse de capacitación básica en lectura de mapas e imágenes satelitales, lo que les permitiría documentar por cuenta

propia procesos de deforestación o intervención no autorizada y reportarlos con mayor rapidez a las autoridades competentes.

Para los operadores y gestores turísticos se recomienda limitar el crecimiento de infraestructura hotelera y de servicios en las zonas donde el análisis mostró mayor presión sobre la cobertura natural, favoreciendo en su lugar modelos de baja huella como el turismo comunitario y el senderismo interpretativo ya existentes en la zona. Establecer cupos de visitantes en los puntos de mayor afluencia, como Los Frailes, ayudaría a mitigar la coincidencia espacial identificada entre las zonas de mayor presencia turística y las de mayor degradación del entorno inmediato, observada en el análisis cartográfico y respaldada por los antecedentes revisados en la literatura.

En cuanto al componente técnico, se recomienda dar continuidad a este tipo de análisis con una periodicidad menor a la empleada en este estudio, idealmente cada dos o tres años, aprovechando la disponibilidad gratuita de imágenes Landsat y Sentinel. Integrar los resultados a un sistema de alertas tempranas dentro de ArcGIS permitiría a los administradores del parque identificar transformaciones incipientes antes de que se consoliden como pérdida irreversible de cobertura.

Para finalizar, se plantea la necesidad de articular estas recomendaciones con los instrumentos de planificación ya existentes, como el Plan Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y el Plan de Manejo del área protegida, de manera que el monitoreo remoto no funcione como un ejercicio aislado sino como insumo permanente para la toma de decisiones sobre el futuro del Parque Nacional Machalilla.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto, G. P. C. (2020). *Modelo predictivo del cambio y uso del suelo entre años 1990 a 2030 en el Parque Nacional Machalilla* (Doctoral Tesis de Grado. Universidad Agraria del Ecuador). Repositorio institucional de la UAG. [https://cia.uagraría.edu.ec/Archivos/GONZALEZ%20PORRAS%20CESAR%20ALBERTO%20\(1\).pdf](https://cia.uagraría.edu.ec/Archivos/GONZALEZ%20PORRAS%20CESAR%20ALBERTO%20(1).pdf)
- Alvarado- Ramos, Erika Nataly Alvarado, Cristian Rafael Monge Moreno, and Darwin Paul Carrión Buenaño. "Impactos ambientales generados por la actividad turística en el Parque Nacional Machalilla, Manabí-Ecuador." *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional* 7.10 (2022): 391-410. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9438982>
- Álvarez, M., & Macas, V. (2018). La variación de la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla mediante la evaluación de índices de vegetación en la provincia de Manabí. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 12(2). <https://doi.org/10.53591/cna.v12i2.284>
- Andrade, Y. L. P., Jácome, K. E. M., & Vaca, C. A. M. (2026). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la gestión de destinos turísticos sostenibles: Una revisión sistemática. *Revista InveCom*, 6(3), 1-11. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S2739-00632026000303063&script=sci_arttext
- Arias García, J., & Gómez Zotano, J. (2015). La planificación y gestión de los humedales de Andalucía en el marco del Convenio Ramsar. <https://sl1nk.com/rmng8he>
- Ayón-Villafuerte, L., Delgado-Cedeño, J., Mendoza-Vera, K., & Zambrano-Mendoza, J. (2018). Senderos ecológicos y desarrollo turístico en la parroquia Machalilla, Ecuador. *Revista RECUS*, 3(2), 15-24. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Recus/article/view/1279>
- Baque Quimis, J., Mendoza-Vera, K., Cedeño-Moreira, M., & Solórzano-Vélez, A. (2018). Turismo comunitario y desarrollo territorial en el Parque Nacional Machalilla. *Revista UNESUM Ciencias*, 2(1), 45-57.

<https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/49>

Bravo-Ferrín, R., Giler-Ormaza, A., Mogro-Cepeda, Y., & Cusme-Intriago, R. (2023). Clasificación multitemporal de usos de la tierra utilizando imágenes Landsat en la cuenca del Río Quinindé. *RIEMAT*, 9(2). <https://doi.org/10.33936/riemat.v9i2.6793>

Buckley, R. (2012). *Sustainable Tourism: Research and Reality. Annals of Tourism Research*, 39(2), 528-546. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2012.02.003>

Bunge, M. (2018). La ciencia: Su método y su filosofía (Vol. 1). <https://l1nq.com/so5cvio>

Campozano-Chiquito, G. X., Chiquito-Tigua, G. P., & Mora-Pin, G. S. (2024). Desarrollo de estrategias de gestión ambiental para la Conservación del Parque Nacional Machalilla. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR. ISSN 2737-6354.*, 7(14), 467-483. <https://reicomunicar.org/index.php/reicomunicar/article/view/324>

Carreño, A. M. (2016). La convención del patrimonio mundial en un mundo globalizado. *Turismo y Patrimonio*, (10), 41-54. <http://revistaturismoypatrimonio.com/index.php/typ/article/view/24/16>

Castillo Ortega, Y., Polo Espinoza, M. A., & Uruchima Juca, F. D. (2018). El impacto del turismo en la economía local. Una necesidad de medir en el Ecuador. *Killkana Sociales: Revista de Investigación Científica*, 2(3), 153-160. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6584522>

Chuvieco, E. (2016). *Fundamentos de teledetección ambiental*. Barcelona (España). https://www.academia.edu/8741619/Fundamentos_de_Teledetecci%C3%B3n_Emilio_Chuvieco

Cifuentes, M. A. (1999). Evaluación de la efectividad del manejo de áreas protegidas en América Central. CATIE. <https://portals.iucn.org/library/node/7775>

Congreso Nacional del Ecuador. (2004). Ley de Gestión Ambiental (Registro Oficial, Suplemento 418). <https://www.galapagos.gob.ec/wp-content/>

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2015). Cumbre de París: Convención sobre el Cambio Climático. *Cultura de Paz*, 21(67), 41-44. <https://camjol.info/index.php/CULTURA/article/view/2496/2250>
- Cuero Melville, D. C., & Lavallo Villacís, A. G. (2024). Análisis del cambio de uso de suelo en la expansión urbana de Guayaquil: Perspectivas y desafíos. *Revista Scientific*, 9(33), 129-150. http://indteca.com/ojs/index.php/Revista_Scientific/article/view/1356
- Dannenbergh, M., Hakkenberg, C., & Song, C. (2016). Consistent classification of Landsat time series with an improved automatic adaptive signature generalization algorithm. *Remote Sensing*, 8(8), 691. <https://doi.org/10.3390/rs8080691>
- Di Gregorio, A. (2005). Sistema de clasificación de cobertura terrestre: Conceptos de clasificación y manual de usuario: LCCS (Vol. 8). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/4/y7220e/y7220e00.htm>
- Eagles, P. F. (2002). Sustainable tourism in protected areas: Guidelines for planning and management. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/pag-008.pdf>
- Fernández-Fierro, A., Rosero-Erazo, C., Beltrán-Dávalos, A., & Echeverría-Guadalupe, M. (2020). Caracterización y dinámica de la cobertura de suelo mediante teledetección: Caso de estudio volcán Tungurahua, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 6(2). <https://doi.org/10.23857/dc.v6i2.1201>
- Fernández-Reyes, R. (2015). El Acuerdo de París y el cambio transformacional. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, (132), 101-114. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5370274.pdf>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Foody, G., & Mathur, A. (2004). Toward intelligent training of supervised image classifications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(9), 1855-1866.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570400207X>

- Geist, H., & Lambin, E. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143-150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., et al. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Jaramillo, L., & Antunes, A. (2018). Change detection in vegetation cover through interpretation of Landsat images by artificial neural networks (ANN). *Revista de Teledetección*, 50, 25-39. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.8995>
- Jiménez, J., Cedeño, M., & Villacrés, A. (2019). La utilidad de un plan promocional para la diversificación del uso de los atractivos turísticos del Parque Nacional Machalilla, Manabí. <https://www.researchgate.net/publication/335335726>
- Lambin, E. F., Geist, H., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Landázuri Aguirre, M. (2014). *Problemas socioambientales derivados del turismo en el Parque Nacional Machalilla*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/0c6a60c4-a982-48e8-b62b-f06e060d0ec8>
- Lascano Zambrano, E. C. (2022). *La planificación turística desde el enfoque de la sostenibilidad en el Parque Nacional Machalilla*. [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4237>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science* (4.^a ed.). https://sutlib2.sut.ac.th/sut_contents/H94061.pdf
- Macías-Zambrano, L., & Represa Pérez, F. (2023). Sostenibilidad social en áreas naturales protegidas. Estudio de caso en el Parque Nacional Machalilla

- (Manabí, Ecuador). *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 23(37), 61-81.
<https://doi.org/10.47189/rcct.v23i37.586>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Manual para la gestión operativa de las áreas protegidas de Ecuador.
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/items/747433ca-22db-4ef3-9ce3-db10d338bade>
- Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica.
http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/informeooficialCOP8.pdf
- Naredo, J. M. (1996). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. *Documentación Social*, 102, 129-147.
http://www.buyteknet.info/fileshare/data/ambides_lect/Sostenible.pdf
- Reyna, L., & Gossweiler, B. (2011). Segmentación y clasificación de imágenes satelitales para determinar la cobertura del suelo. *La Técnica*, 4.
https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i4.663
- Rojas, S., & Medina, J. (2020). Clasificación supervisada contextual de Markov empleando imágenes multiespectrales Landsat 8 OLI y Sentinel 2A. *UD y la Geomática*. <https://doi.org/10.14483/23448407.15269>
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Daily, G. C., Pfaff, A. S. P., & Busch, C. (2003). Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves. *Biological Conservation*, 109(1), 123-135. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00145-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00145-3)
- Santos, F., Meneses, P., & Hostert, P. (2018). Monitoring long-term forest dynamics with scarce data: A multi-date classification implementation in the Ecuadorian Amazon. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 62-78.
<https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1533793>
- Solís, M. J. (2023). La revolución de la inteligencia artificial en los sistemas de información geográfica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7, 10196-10205. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/14405>

- Sousa, D., & Small, C. (2016). Global cross-calibration of Landsat spectral mixture models. <https://arxiv.org/abs/1608.06825>
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s: Losing a hotspot of biodiversity. *PLoS ONE*, 10(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701>
- Turki, E. I., Salameh, E., López Solano, C., Islam, M. S., Domingues, M., Aouf, L., ... & Frappart, F. (2025). Altimetría satelital multifuente para monitorizar las huellas de las ondas de tormenta en las zonas costeras del Canal de la Mancha. *Teledetección*, 17(18), 3262. <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/18/3262>
- Wu, X., Liu, J., & Hou, Y. (2025). Data and methods for assessing urban green infrastructure using GIS: A systematic review. *PLOS ONE*, 20(6), e0324906. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324906>
- Wulder, M. A., Roy, D. P., et al. (2022). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113540>
- Zhong, L., Gong, P., & Biging, G. (2014). Efficient corn and soybean mapping with temporal extendability: A multi-year experiment using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.023>
- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G.-S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). *Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources*. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8-36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>
- Zhu, Z., & Woodcock, C. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152-171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>