



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS “DR. JACOBO
BUCARAM ORTIZ”**

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

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

**EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO POR
ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL CANTÓN DURÁN ENTRE 2004
Y 2024**

AUTOR

SANTILLAN RUIZ LUIS FRANCISCO

TUTOR

ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO

**GUAYAQUIL, ECUADOR
2025**



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS “DR. JACOBO
BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO POR ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL CANTÓN DURÁN ENTRE 2004 Y 2024, realizado por el estudiante SANTILLAN RUIZ LUIS FRANCISCO; con cédula de identidad N° 0952121523 de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Diego Arcos Jácome M.sc

Guayaquil, 29 de julio del 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS “DR. JACOBO
BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “EVALUACION DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO POR ACTIVIDAD ACUICOLA EN EL CANTÓN DURÁN ENTRE 2004 Y 2024”, realizado por el (la) estudiante SANTILLAN RUIZ LUIS FRANCISCO, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Víctor Iler Santos.
PRESIDENTE

Ing. Carlos Ortega Ordoñez
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Jorge Coronel Quevedo
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Arcos Jácome
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 29 de julio del 2025

DEDICATORIA

A mis padres, pilares fundamentales de mi vida, por su esfuerzo incansable, por enseñarme que la perseverancia y la humildad son los caminos hacia cualquier meta. Este logro es tan suyo como mío.

A mis hermanos y hermanas, por sus palabras de aliento y desaliento que me dieron energías para continuar en cada nivel de mi formación.

A toda mi familia dedico este trabajo con profunda gratitud, cada página escrita lleva el eco de la confianza puesta en mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por otorgarme la fortaleza emocional e intelectual necesaria para culminar este proceso académico, siendo un soporte constante en la toma de decisiones y en la superación de los distintos obstáculos que se presentaron durante el camino.

A mi madre, Ercilia del Carmen por su respaldo incondicional durante toda mi formación profesional. Su compromiso, esfuerzo y acompañamiento han sido determinantes para la ejecución de este trabajo.

Al Ing. Diego Arcos Jácome, por su valiosa orientación, sus observaciones críticas y su disposición para el seguimiento de este trabajo. Su experiencia académica y profesional han contribuido significativamente en la realización de este estudio.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo SANTILLAN RUIZ LUIS FRANCISCO, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO POR ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL CANTÓN DURÁN ENTRE 2004 Y 2004” para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

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

Guayaquil, 29 de Julio del 2025

SANTILLAN RUIZ LUIS FRANCISCO

C.I. 0952121523

RESUMEN

Se realizó la evaluación del cambio de uso del suelo por actividades acuícolas en el Cantón Duran perteneciente a la Provincia del Guayas entre los años 2004 y 2024. Para cartografiar y cuantificar el área de cambio se dividió el lapso de tiempo en dos periodos de diez años. En el primer periodo comprendido desde 2004 a 2014 se utilizaron metadatos procedentes del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Para el segundo periodo comprendido desde 2014 hasta 2024 se realizó una clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2. La extensión de la actividad acuícola en 2004 fue de 864,65 ha, mientras que para el 2014 fue de 4155,32 ha según datos oficiales, con una tasa de cambio anual del 15,69% debido a la amplia aceptación de los productos acuícolas ecuatorianos en mercados internacionales. El segundo periodo con una tasa anual de cambio del 10,44% el suelo con actividad acuícola se extendió a 11801,14ha equivalentes al 40% de la superficie del Cantón Duran en 2024. Como resultado de esta rápida expansión se redujeron áreas con bosques nativos, vegetación herbácea, arbustiva y áreas sin cobertura vegetal en menor cantidad. Posteriormente se realizó un modelo predictivo de cambio de uso de suelo al año 2034, en donde se observa que la actividad acuícola podría representar el 46% de la superficie del territorio con aproximadamente 13666,52 ha. La expansión de las actividades acuícolas cambió el paisaje y la cobertura natural del suelo en el Cantón y se estima que siga cambiando, el monitoreo y control debe ser frecuente por los impactos ambientales que se derivan de esta actividad, como lo son: la pérdida de biodiversidad, la salinización del suelo, acuíferos y la eutrofización de ríos y esteros.

Palabras clave: *Actividad acuícola, Uso de suelo, Modelo predictivo, Cantón Duran*

ABSTRACT

An assessment of land-use change driven by aquaculture activities was conducted in Durán Canton, Guayas Province, covering the period between 2004 and 2024. To map and quantify the extent of change, the timeframe was divided into two ten-year intervals. In the first period (2004–2014), metadata provided by the Ministry of Environment, Water, and Ecological Transition (MAATE) were used. For the second period (2014–2024), a supervised classification of Landsat and Sentinel-2 satellite imagery was conducted. Aquaculture occupied 864.65 hectares in 2004, increasing to 4,155.32 hectares by 2014, according to official records, with an annual rate of change of 15.69%, mainly due to the strong acceptance of Ecuadorian aquaculture products in international markets. During the second period, the annual rate of change was 10.44%, with aquaculture land use expanding to 11,801.14 hectares, equivalent to 40% of Durán Canton's surface area by 2024. This rapid expansion led to the reduction of native forest areas, herbaceous and shrub vegetation, and, to a lesser extent, land without vegetative cover. A predictive land-use change model for 2034, projects that aquaculture could occupy approximately 13,666.52 hectares, representing 46% of the canton's territory. The expansion of aquaculture activities has altered the landscape and natural land cover of the canton, and this trend is expected to continue. Continuous monitoring and regulation are essential due to the associated environmental impacts, including biodiversity loss, soil and aquifer salinization, and eutrophication of rivers and estuaries.

Keywords: *Aquaculture, Land use, Predictive model, Durán Canton.*

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	III
Autorización de Autoría Intelectual.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
1. INTRODUCCION.....	13
1.1 Antecedentes del problema.....	13
1.2 Planteamiento y formulación del problema	14
1.2.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2.2 Formulación del problema.....	15
1.3 Justificación de la Investigación	15
1.4 Delimitación de la Investigación	16
1.5 Objetivo general	16
1.6 Objetivos específicos.....	16
1.7 Hipótesis.....	16
2. MARCO TEORICO.....	16
2.1 Estado del arte	16
2.2 Bases teóricas	20
2.2.1 Uso del suelo	20
2.2.2 Cobertura vegetal	21
2.2.3 Acuicultura... ..	21
2.2.4 Sensores remotos	21
2.2.4.1. Satélites de observación	21
2.2.4.1.1. Satélite Landsat.	22
2.2.4.1.2. Satélite Sentinel.	22
2.2.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	22
2.2.6 Clasificación de imágenes satelitales	23
2.2.8.1. Clasificación supervisada.....	23

2.2.7 Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo	23
2.2.8 Modelos predictivos.....	24
2.2.9 Cadenas de Markov	24
2.2.10 TerrSet.....	24
2.3 Marco legal.....	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Enfoque de la investigación	31
3.1.1 Tipo y alcance de la investigación.....	31
3.1.1.1. Investigación documental y aplicada.....	31
3.1.1.2. Investigación descriptiva.....	31
3.1.2 Diseño de investigación.....	31
3.2 Metodología	31
3.2.1 Variables.....	31
3.2.1.1. Variable independiente.....	31
3.2.1.2. Variable dependiente.....	31
3.2.2 Matriz de operacionalización de variables	32
3.2.3 Recolección de datos	32
3.2.3.1. Recursos.....	32
3.2.3.2. Métodos y técnicas.....	32
3.2.3.2.1. Obtener imágenes satelitales del Cantón Durán.....	32
3.2.3.2.2. Realizar una clasificación supervisada para la cuantificación del área total del cambio de uso del suelo entre 2004-2014 y 2014-2024.....	33
3.2.3.2.3. Determinar la tasa de cambio de uso del suelo.....	33
3.2.3.2.4. Estimar el cambio de uso del suelo mediante la aplicación del modelo predictivo basado en cadenas de Markov.....	33
3.2.4 Análisis estadístico	33
3.2.5.1. Análisis descriptivo.....	33
3.2.5.2. Índice Kappa.....	34
3.2.5.3. Tasa de Cambio de uso del suelo.....	34
4. RESULTADOS.....	35

4.1 Cuantificación el área de cambio de uso del suelo por actividad acuícola en el Cantón Durán mediante clasificación supervisada produciendo cartográfica temática.....	35
4.2 Cálculo de la tasa de cambio de uso del suelo por actividad acuícola en el Cantón Durán... ..	39
4.3 Estimación del cambio de uso del suelo por actividad acuícola en el Cantón Durán proyectado al año 2034 mediante la aplicación del modelo predictivo basado en Cadenas de Markov	39
5. DISCUSIÓN	40
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
6.1 Conclusiones.....	41
6.2 Recomendaciones.....	42
BIBLIOGRAFIA	43
ANEXOS	47

ÍNDICE DE ANEXOS

FIGURA 1. DELIMITACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	47
FIGURA 2. USO DE SUELO DEL CANTÓN DURAN AÑO 2004	48
FIGURA 3. USO DE SUELO DEL CANTON DURAN AÑO 2014	49
FIGURA 4. COMPARACION USO DE SUELO AÑO 2014.....	50
FIGURA 5. USO DE SUELO DEL CANTÓN DURAN AÑO 2024	51
FIGURA 6. COBERTURA PROYECTADA AL AÑO 2034	52
FIGURA 7. POTENCIAL DE TRASICION PROYECTADO AL AÑO 2034.....	53

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes del problema

Una de las grandes preocupaciones de las últimas décadas de los científicos e investigadores se relacionan con el cambio de uso del suelo y el efecto que se provoca en la alteración de los ciclos y procesos naturales. En las últimas décadas la intensificación de actividades humanas como la agricultura mecanizada, expansión urbana, ganadería a gran escala, infraestructura vial e industrial extractivas han acelerado el cambio de coberturas naturales hacia usos antrópicos. Estos procesos modifican la estructura del paisaje, fragmentan hábitats, alteran los flujos hidrológicos y reducen la resiliencia de los ecosistemas frente a las perturbaciones climáticas y antrópicas. El seguimiento y evaluación multitemporal de cobertura y uso de suelo constituyen por lo tanto una herramienta crítica para anticipar procesos de deforestación, degradación, salinización de suelos y pérdida de biodiversidad, para orientar la planificación territorial a escala local, regional y de cuenca hidrográfica. Evaluar de manera sistemática la trayectoria de las coberturas terrestre permite cuantificar tasas de pérdida de bosques, avances de áreas degradadas o desertificadas, sustitución de vegetación natural por cultivos o infraestructura y la consiguiente reducción de la biodiversidad biológica y de servicios ecosistémicos; las series históricas de mapas de coberturas derivadas de imágenes satelitales y clasificadas de forma consistente son la base para calcular tasas anuales de cambio y priorizar intervenciones de restauración o conservación (Vergara, 2021).

(Los efectos ambientales de la acuicultura dependen tanto de en donde se emplazan las instalaciones y de cómo se manejan. En la fase de emplazamiento la conversión de manglares, marismas o estuarios a estanques altera la retención de sedimentos, la productividad primaria y la protección costera natural. Durante la fase operativa, prácticas inadecuadas en recambios de agua, manejo de efluentes, usos de insumos químicos, antibióticos y densidades excesivas de cultivo pueden desencadenar salinización del suelo circundante, intrusión salina en acuíferos, eutrofización aguas abajo y proliferación de patógenos. El monitoreo de calidad de agua y la gestión integradas de cuencas y zonas costeras son clave para minimizar estos impactos acumulativos (Marin y Chang, 2009).

Los manglares han sido talados para dar lugar a estanques, y este es el impacto más serio, hay otras maneras en que las actividades acuícolas pueden impactar a los ecosistemas, estas interacciones de forma específica no están bien estudiadas, sin embargo, si están bien definidas basadas en investigaciones y trabajos de campo, otros impactos potenciales asociados en los cambios hidrológicos y a la descarga de efluentes de las granjas directamente a los ecosistemas son los cambios en salinidad causados por aislamiento de las aguas salobres, inundación por agua dulce o descarga de aguas salinas de los estanques en áreas de baja salinidad, la descarga de contaminantes de origen orgánico y químicos potencialmente peligrosos que afectan principalmente a la flora y fauna (Isla, 2015).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El crecimiento de la acuicultura en todo el mundo siempre implica la expansión de las áreas cultivadas, granja de cultivo de mayor tamaño, mayor densidad de individuos en los cultivos y la utilización de recursos alimentarios a menudo producidos fuera del área inmediata. A nivel mundial la acuicultura ha aumentado su impacto social y económico a través de la producción de alimentos, la contribución de los medios de subsistencia y la generación de ingresos, sin embargo, cuando es mal administrada, la acuicultura puede afectar las funciones de los ecosistemas y los servicios con consecuencias ambientales, sociales y económicas negativas (Food and Agriculture Organization [FAO] , 2011).

La FAO (2011) afirma que “el impacto ambiental de una sola granja puede ser marginal, pero se debe prestar especial atención a los efectos acumulativos en los ecosistemas”. La evaluación ambiental aislada a nivel de granja subestima el riesgo real: múltiples unidades productivas interconectadas por canales, estuarios o acuíferos pueden generar cargas acumulativas de nutrientes, sedimentos y patógenos que superan la capacidad de asimilación del sistema. Por ello organismos internacionales recomiendan abordar la planificación acuícola a escala de zona de producción o cuenca, coordinando captación y descarga de agua, densidades de siembra y medidas de biodiversidad comunes entre productores.

1.2.2 Formulación del problema

¿Ha existido un cambio significativo en el uso del suelo debido a la expansión de las actividades acuícolas en el Cantón Durán entre 2004 y 2024?

1.3 Justificación de la Investigación

El evidente crecimiento del uso del suelo para actividades acuícolas ha crecido exponencialmente en Ecuador, poco se ha estudiado sobre los potenciales daños ecológicos que implica la salinización del suelo, el uso del agua que se destina para estas actividades, la reducción de la cobertura vegetal y el cambio en el paisaje que esto implica. El análisis geoespacial permite cuantificar el área del cambio que, resulta de mucha importancia para dar pie a estudios de ecología del paisaje y gestionar de forma eficiente el uso del suelo según la legislación vigente.

Los volúmenes de producción acuícola y de exportación cayeron en el año 2000, efecto provocado por el virus de la Mancha Blanca y por los bajos precios del mercado internacional debido a la sobre oferta de países como China, Brasil y Taiwán. En los primeros meses de 2005, de enero a mayo se registró una cifra récord de 35.854 toneladas, un 28 por ciento más en comparación con el mismo periodo en 2004, lo que significa una expansión vertiginosa de la actividad acuícola a nivel nacional (FAO, 2005).

En un horizonte temporal de varias décadas, las actividades antropogénicas que influyen en el cambio y uso del suelo, cambios que se presentan como el factor determinante en la composición y estructura futura de los paisajes. Los estudios multitemporales ocupan una posición central en la investigación ambiental, debido a sus implicaciones respecto a la pérdida de hábitat, biodiversidad biológica y servicios ecosistémicos (Rosete, 2008).

En la mayoría de los sistemas de acuicultura, ya sean de agua dulce, salobre o marina, es común que se acumulen nutrientes y materia orgánica. Esto ocurre sobre todo en métodos con altas densidades de población, que producen efluentes cargados de carbono, fósforo y nitrógeno. Estos desechos pueden afectar la calidad del agua, provocar eutrofización y favorecer la proliferación de algas, lo que reduce el oxígeno disuelto y la transparencia. Además, el exceso de nutrientes estimula el crecimiento del fitoplancton, empeorando aún más la situación. Factores como el aumento de la temperatura del agua o el vertido de aguas salinas en ecosistemas de agua salobre pueden intensificar estos problemas (Tahiluddin y Bornales, 2025).

1.4 Delimitación de la Investigación

- **Espacio:** El área de estudio es el Cantón Durán de la provincia del Guayas (**Ver Anexos, Figura 2**).
- **Tiempo:** 6 meses.
- **Población:** El Cantón Durán posee 303.910 habitantes según el INEC (2022).

1.5 Objetivo general

Evaluar el cambio de uso del suelo por las actividades acuícolas mediante el procesamiento y análisis de imágenes satelitales para la cuantificación del área y su proyección al año 2034 aplicando el modelo predictivo basado en Cadenas de Markov en el Cantón Durán.

1.6 Objetivos específicos

- Cuantificar el área de cambio del uso de suelo por actividad acuícola en el Cantón Durán mediante clasificación supervisada produciendo cartografía temática.
- Determinar la tasa de cambio de uso del suelo por actividades acuícolas en el Cantón Durán.
- Estimar el cambio de uso de suelo por actividades acuícolas en el Cantón Durán proyectado al año 2034 mediante la aplicación del modelo predictivo basado en cadenas de Markov.

1.7 Hipótesis

El uso del suelo para actividades acuícolas en el Cantón Durán para el año 2024 representa el 35% de la extensión total de su territorio.

2. MARCO TEORICO

2.1 Estado del arte

Para conocer la pérdida de la cobertura vegetal en las vías Durán – Tambo y Durán – Yaguachi, las cuales poseen un gran porcentaje de zona industrial, se creó una base de datos con imágenes satelitales de la plataforma de Google Earth© de los años 1990 al 2020 las cuales muestran la pérdida de la cobertura vegetal debido al aumento de industrias en las vías antes mencionadas. Con ayuda de ArcGIS 10.3 se crearon mapas con polígonos para ambas vías, en donde cada año

es representado por polígonos del mismo color, mostrando de esta manera como el crecimiento industrial ha afectado a la pérdida de la cobertura vegetal. Se comparó la expansión de la zona industrial de ambas vías como resultado del análisis cartográfico para la determinación de las afectaciones y se diseñó un modelo de gestión que incluya la planificación de la zona industrial del Cantón Durán (Segura, 2022).

Saldaña (2019) en su investigación analizó los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo del distrito de Chancay, Perú desde el 2001 hasta el 2018 mediante el uso de imágenes satelitales procedentes de Landsat 5TM y Landsat 8 ETM+, con el objetivo realizar mediante la técnica de clasificación supervisada y con la metodología Corine Land Cover, identificar las clases de cobertura vegetal, una vez obtenidos los resultados, en 17 años se muestra un cambio de 2470.29 ha, representando el 34.74 % del área total, concluye afirmando que el distrito de Chancay sufrió diversos cambios significativos de cobertura vegetal y usos del suelo.

Para conocer el cambio que tuvo la cobertura vegetal en la Isla Santay, el mismo que es un importante indicador para valorar distintos procesos dentro de los ecosistemas; como, por ejemplo, los fenómenos relacionados a la pérdida de biodiversidad, acoplando la interacción entre clima-vegetación y sabiendo que estos se asocian a que en la isla se realizaron actividades antrópicas por hacendados que se dedicaban a la agricultura y a la producción pecuaria, devastando la vegetación natural, se realizó un análisis multitemporal de la cobertura vegetal usando sensores remotos en diferentes intervalos de tiempo durante los últimos 54 años para revelar como fue el proceso de sucesión. El estudio contempla un diseño basado en una investigación de campo en conjunto al análisis digital, en este análisis los resultados que se han obtenido se logra determinar un aumento en la cobertura vegetal en el área, debido a que el uso de la isla fue cambiado para ser nombrada un Área Nacional de Recreación, actualmente con un reconocimiento Internacional Ramsar para así lograr su conservación (Lara, 2018).

Aguilar (2019) en su investigación afirma que por medio de imágenes satelitales es posible realizar actualizaciones del territorio agrícola de manera confiable, rápida y económica. Utilizó 4 imágenes satelitales de alta resolución, además del software libre Quantum GIS. El proceso consistió en solicitar las

imágenes escogidas para realizar el estudio, realizó una clasificación no supervisada para crear una versión previa del uso del suelo; luego, en el trabajo de campo se utilizó un dron para corroborar coberturas confusas o en caso de existir presencia de una nube en la imagen. Por último, hizo la clasificación supervisada, de acuerdo con la cantidad de coberturas discriminadas para la obtención de las zonas agrícolas a través de un mapa de uso de la tierra en distintas zonas de Costa Rica.

Zhang y Yang (2023) afirman que su estudio puede servir como referencia para futuras iniciativas de investigación centradas en el mapeo y monitoreo de la acuicultura terrestre y su cambio espacio temporal. Utilizando imágenes de teledetección de series temporales del sudeste asiático desde 1990 hasta 2020 para extraer datos de acuicultura en cinco períodos, logrando una precisión general superior al 89.53 % y se analizaron las dinámicas temporales y espaciales de la acuicultura en el sudeste asiático, observando los siguientes hallazgos clave: 1) El área total de acuicultura ha estado en continuo crecimiento, aunque la tasa de expansión se ha desacelerado, concentrándose principalmente en las dos primeras décadas. 2) El patrón de distribución espacial de la acuicultura ha cambiado de "Indonesia y otros productores representan el 40 % y el 60 %" a "Vietnam, Indonesia y otros productores representan el 40 %, 30 % y 30 %". Esta investigación ofrece monitoreo a largo plazo de la acuicultura del sudeste asiático, proporcionando un soporte científico valioso para el desarrollo sostenible en la región.

En la región agrícola protegida de la península de Malasia, se desarrolló un modelo predictivo proyectado para 2028 con el propósito de planificar la conservación. Se analizaron datos de los años 1988, 2000 y 2014 utilizando ArcGIS y el módulo LCM del software TerrSet. Este análisis permitió crear un modelo predictivo que identificó la variable impulsora más significativa para el cambio de uso del suelo a largo plazo (Hairunnisa y Arif, 2020).

La tilapia, un pez de agua dulce originario de África, es muy apreciada en acuicultura por sus buenas cualidades, pero también es una de las especies invasoras más peligrosas del mundo por su gran capacidad de adaptación y reproducción. Este estudio aborda el dilema entre su valor para la seguridad alimentaria y el riesgo que supone para la biodiversidad acuática en Ecuador. La falta de datos oficiales hace necesario estudiar cómo afecta su presencia en ríos, lagunas y esteros. Las acciones para prevenir, controlar o erradicar la tilapia en el

país han sido mínimas, por lo que es urgente diseñar estrategias que eviten su expansión a nuevas zonas. Aunque existen normas que limitan la introducción de especies exóticas, en la práctica el cultivo de tilapia se promueve sin mayores restricciones. Se plantea la opción de usar control biológico para reducir su impacto y la importancia de impulsar campañas educativas que fomenten conciencia, responsabilidad y un cambio de comportamiento ambiental (Jácome y Quezada, 2020).

En la cuenca del Río Manipur, en el noreste de la India, se llevó a cabo un estudio para monitorear y evaluar la evolución futura de la cobertura terrestre, se procesaron y analizaron datos de los años 2007, 2014 y 2017 para proyectar una predicción al año 2030. Se utilizó el módulo LCM del software TerrSet, la predicción reveló un aumento en las masas de agua, áreas agrícolas y superficies construidas, junto con una disminución de humedales y bosques (Anand y Oinam, 2019).

La acuicultura en Filipinas presenta una compleja interacción de beneficios económicos y desafíos ambientales. Si bien el sector ha contribuido indudablemente a la seguridad alimentaria, las oportunidades de subsistencia y el crecimiento económico del país, sus prácticas insostenibles han provocado una degradación ambiental significativa. Esta degradación ambiental asociada a la acuicultura en Filipinas incluye la destrucción del hábitat, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad. La conversión de zonas costeras, como manglares y praderas marinas, en estanques y otros sistemas de cultivo para acuicultura puede provocar una pérdida significativa de hábitat y la disminución de la biodiversidad. Además, el vertido de nutrientes, antibióticos y otros contaminantes procedentes de las operaciones acuícolas puede degradar la calidad del agua, provocando floraciones de algas nocivas y la disminución del oxígeno. Asimismo, la introducción de especies no autóctonas, a menudo asociada a la acuicultura, puede alterar los ecosistemas locales y desplazar a las especies autóctonas. Este estudio examina de forma crítica los efectos ambientales de la acuicultura en Filipinas, revisando información publicada desde 1918 hasta hoy. Para ello, se usaron palabras clave en bases de datos como Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar y ResearchGate, además de fuentes oficiales del gobierno filipino como la Autoridad de Estadística Filipina y la Oficina de Pesca y Recursos Acuáticos (Tahiluddin y Bornaes, 2025).

El cultivo de camarones y langostinos es una actividad que cada vez aporta más al abastecimiento de alimentos en el mundo. Sin embargo, este crecimiento también puede traer efectos negativos en el ambiente. Para entender mejor estas consecuencias Pazmiño y Chico (2025) en su investigación utilizando el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), una herramienta que permite estudiar el impacto ambiental de toda la cadena de producción y resaltar posibles mejoras, revisaron estudios sobre el uso del ACV en la producción de camarones en distintos lugares, analizando aspectos como los límites de los sistemas, la forma de recolectar los datos, las categorías de impacto evaluadas y los resultados principales. La mayoría de los estudios abarcan desde el criadero hasta la llegada a la granja, y algunos también incluyen el empaque y el transporte hasta el destino final. Concluyendo que, Las categorías de impacto más analizadas son el cambio climático, la eutrofización y la acidificación. Los puntos críticos identificados son la formulación de alimentos y el uso de energía en la granja. El sector de la acuicultura de camarones podría mejorar su desempeño ambiental incorporando materias primas que sustituyan el consumo de harina de pescado y harina de soya en los alimentos por alternativas más sostenibles. Un ajuste adecuado de la tasa de conversión alimenticia podría contribuir a mitigar la cantidad de sedimentos y alimento no consumido, reduciendo así la concentración de nutrientes en los vertidos. Se podrían emplear fuentes de energía renovables para cubrir la demanda de la explotación.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Uso del suelo*

El suelo, como sistema, está sujeto a muchos cambios según el lugar donde se localiza y la cantidad de elementos antropogénicos que intervienen en él, lo que puede desencadenar una gestión inadecuada del mismo y su degradación. El uso del suelo es un factor determinante en lo relacionado al desarrollo de políticas ambientales en países de economías primarias, aplicándose el término a la finalidad dictada por el hombre a los diversos tipos de cobertura. Las modificaciones que se dan en el suelo son resultado de las actividades humanas, por ello es importante tomar en cuenta como el ser humano influye en los cambios de uso de suelo (Sanabria y Zabala, 2013).

2.2.2 Cobertura vegetal

Según la FAO (2015), es el espacio ocupado por un determinado sistema o ecosistema de plantas donde se realizan diversas funciones de dicho ecosistema tales como; refugio de animales o vida silvestre, prevención de la erosión del suelo, reducción de la contaminación y otras funciones importantes para la protección del medio ambiente siendo lo que físicamente recubre la superficie.

2.2.3 Acuicultura

Cría de organismos acuáticos, comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas. La cría supone la intervención humana para incrementar la producción; por ejemplo: concentrar poblaciones de peces, alimentarlos o protegerlos de los depredadores. La cría supone asimismo tener la propiedad de las poblaciones de peces que se estén cultivando. La acuicultura varía mucho según el lugar donde se lleve a cabo, desde la piscicultura de agua dulce en los arrozales de Vietnam hasta la cría de camarón en estanques de agua salada en las costas de Ecuador, y la producción de salmón en jaulas en las costas de Noruega o de Escocia. Sin embargo, la mayor parte de la acuicultura se lleva a cabo en el mundo en desarrollo, para la producción de especies de peces de agua dulce de poco consumo en la cadena alimentaria, como la tilapia o la carpa (FAO, s.f.).

2.2.4 Sensores remotos

En la teledetección los sensores remotos adquieren información sobre la superficie terrestre midiendo la energía electromagnética reflejada, emitida o retro dispersada por los objetos sin requerir contacto directo. Los sensores pueden ser pasivos cuando registran las radiación solar reflejada o activos cuando emiten su propia señal. La información que es obtenida por los sensores puede ser accesible de forma gratuita o de paga dependiendo de las compañías dueñas de los satélites y desde diferentes plataformas especiales para el manejo de datos satelitales, estas plataformas tienen herramientas que ayudan a recibir y medir la radiación que proviene del suelo en la gama de longitudes de onda que se digitalizan en bandas espectrales, fotografías o imágenes de resoluciones variables, lo que permite transformar la información a mapas temáticos como los de uso del suelo (López, 2019).

2.2.4.1. Satélites de observación

Los satélites de observación de la Tierra varían según el tipo de órbita que tienen, la carga útil que llevan y, desde el punto de vista de los instrumentos de

imagen, la resolución, las características espectrales y el ancho de franja de los sensores. Todos estos parámetros se diseñan al principio de la definición de la misión en función de la aplicación a la que se dirige la misión satelital (AIRBUS, 2021).

2.2.4.1.1. Satélite Landsat.

El Programa Landsat es una serie de misiones satelitales de observación que son administradas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos. Desde 1972, ha proporcionado un registro casi continuo de imágenes multiespectrales de la superficie terrestre. Esta serie de largo plazo con resolución espacial de 30m en la mayoría de las bandas ópticas constituye un archivo histórico indispensable para evaluar cambios de cobertura y uso de suelo, dinámica costera y expansión de estanques acuícolas, ayudando a los administradores de tierras y a los responsables políticos a tomar decisiones informadas sobre los recursos naturales y ambiente (U.S. Geological Survey, s.f.).

2.2.4.1.2. Satélite Sentinel.

El programa Copernicus es un proyecto dirigido por la Unión Europea (UE) y la Agencia Espacial Europea (ESA) que constituyen y gestionan la constelación Sentinel 2 que captura imágenes multiespectrales en 13 bandas con resoluciones de 10, 20 y 60 m que permiten monitorear con mayor detalle vegetación, humedad de suelos, cuerpos de agua y expansión de acuicultura costera proporcionando datos sobre los cambios que ocurren en océanos, tierra y atmósfera (European Space Agency, s.f.).

2.2.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG) es una plataforma que integra datos espaciales con atributos descriptivos para permitir la captura, almacenamiento, edición, análisis y visualización de información geográfica que funciona conectando bases de datos, servicios web, herramientas analíticas y productos cartográficos, facilitando la evaluación de patrones espaciales permitiendo comunicar resultados mediante mapas. El objetivo de un SIG consiste en crear y compartir productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones. Los mapas representan colecciones lógicas de información geográfica en capas temáticas, que constituyen una metáfora eficaz para modelar y organizar la información (ArcGIS, 2012).

2.2.6 Clasificación de imágenes satelitales

La elaboración de una clasificación del área de estudio en una serie de clases relativas a litología, tipos de vegetación, usos del suelo, etc., es uno de los objetivos fundamentales en teledetección. La clasificación en teledetección es, por tanto, un caso particular del problema general de clasificar N individuos en un conjunto de K clases en función de una serie de variables cuantitativas ($X_1, X_2, \dots, X_n$). Para resolver este problema se necesita una medida de la semejanza o diferencia entre los diferentes individuos, y entre los individuos y las clases. Dos individuos muy parecidos pertenecerán probablemente a la misma clase, mientras que dos individuos distintos pertenecerán a diferentes clases. El procedimiento de clasificación supone dos fases: la definición de las clases y la adjudicación de cada uno de los píxeles a las clases previamente definidas (López, 2019).

2.2.6.1. Clasificación supervisada

La clasificación supervisada permite explorar diferentes tipos de atributos o clases por medio del análisis estadístico multivariado, este proceso identifica los valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen ráster, crea, evalúa las clases o firmas y finalmente reclasifica de acuerdo con las probabilidades de cada clase, este procedimiento es muy práctico para crear de forma automática un mapa de uso del suelo o de cobertura vegetal. La clasificación supervisada permite clasificar el ráster por medio de cada píxel de una celda, es necesario tener conocimiento previo de las clases del área de estudio, asignando puntos y destinar un valor numérico para cada clase (ArcGIS, 2021).

2.2.7 Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo

Son instrumentos de alto valor en distintos sectores del desarrollo económico, social y ambiental, tales como: planeación urbana, proyectos de ingeniería, sector agrícola, análisis del medioambiente, aprovechamiento de recursos naturales, atención ante emergencias y desastres, entre otros. Dentro de estos distintos sectores mencionados, estos mapas constituyen un insumo importante a la hora de llevar a cabo modelaciones y simulaciones de distintos escenarios que permitan conocer futuras implicaciones de la aplicación de un proyecto, una obra o alguna actividad con el fin de conocer su viabilidad. Además, brindan una información valiosa sobre el comportamiento del ser humano y las interacciones con las distintas especies que habitan el planeta (Esri, 2021).

2.2.8 Modelos predictivos

Los modelos predictivos de cambio de uso del suelo combinan observaciones históricas de mapas de dos o más fechas con variables explicativas o impulsoras del cambio tales como pendientes, distancia a drenajes o zonificación para estimar la probabilidad espacial de transición entre categorías. Según el enfoque estos modelos generan mapas de probabilidad en fechas futuras que ayudan a explorar alternativas de ordenamiento territorial (Agencia especializada en Estrategia Digital, sf).

2.2.9 Cadenas de Markov

Las cadenas de Markov aplicadas en el modelado del uso del suelo en diversas escalas espaciales, en la formalización de los cambios temporales de la vegetación terrestre y en la producción de predicciones cuantitativas fiables. El software TerrSet combina la evaluación multicriterio para la fase de entrenamiento y las cadenas de Markov para la estimación de la magnitud de los cambios y la evaluación multi objetivo junto con autómatas celulares. Este modelo utilizado para identificar la probabilidad de cambios y uso del suelo a futuro generalmente emplean datos obtenidos en campo, mapas existentes o fotografías aéreas (Rosete, 2008).

2.2.10 TerrSet

TerrSet es un sistema de software geoespacial integrado para monitorear y modelar el sistema terrestre para el desarrollo sustentable que reúne módulos para la teledetección, SIG y modelado ambiental. El sistema TerrSet incorpora las herramientas de procesamiento de IDRISI junto con una constelación de aplicaciones, algunas de sus funciones incluyen el Land Change Modeler (LCM) que automatiza el análisis de cambio de coberturas entre fechas, calibra relaciones con variables impulsoras y ejecuta simulaciones de escenarios futuros convirtiéndose en una innovadora herramienta de planificación territorial y de apoyo en la toma de decisiones. El paquete incluye además Earth Trends Modeler (ETM) que es un conjunto integrado de herramientas para el análisis de series temporales ambientales, útil cuando se desea relacionar tendencias climáticas con los cambios de uso y cobertura terrestre (Clark Labs, 2024).

2.3 Marco legal

Constitución de la República del Ecuador (2008)

Título II

Capítulo Segundo

Sección segunda: ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p. 14).

Artículo 26.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:

1. Definir la política pública provincial ambiental;
2. Elaborar planes, programas y proyectos de incidencia provincial para la protección, manejo, restauración, fomento, investigación, industrialización y comercialización del recurso forestal y vida silvestre, así como para la forestación y reforestación con fines de conservación;
3. Promover la formación de viveros, huertos semilleros, acopio, conservación y suministro de semillas certificadas;
4. Elaborar planes, programas y proyectos para prevenir incendios forestales y riesgos que afectan a bosques y vegetación natural o bosques plantados;
5. Prevenir y erradicar plagas y enfermedades que afectan a bosques y vegetación natural;
6. Generar normas y procedimientos para prevenir, evitar, reparar, controlar y sancionar la contaminación y daños ambientales, una vez que el Gobierno Autónomo Descentralizado se haya acreditado ante el Sistema Único de Manejo Ambiental;
7. Establecer tasas vinculadas a la obtención de recursos destinados a la gestión ambiental, en los términos establecidos por la ley;
8. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido;
9. Controlar las autorizaciones administrativas otorgadas;
10. Desarrollar programas de difusión y educación sobre los problemas de cambio climático;

Capítulo Séptimo: Derechos de la Naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (p. 35).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas

naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (p. 36).

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

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado (p. 36).

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

3. Defender la integridad territorial del Ecuador y sus recursos naturales.
6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.
7. Promover el bien común y anteponer el interés general al interés particular, conforme al buen vivir.

Art. 275.- El régimen de desarrollo es el conjunto organizado, sostenible y dinámico de los sistemas económicos, políticos, socioculturales y ambientales, que garantizan la realización del buen vivir, del sumak kawsay. El Estado planificará el desarrollo del país para garantizar el ejercicio de los derechos, la consecución de los objetivos del régimen de desarrollo y los principios consagrados en la Constitución. La planificación propiciará la equidad social y territorial, promoverá la concertación, y será participativa, descentralizada, desconcentrada y transparente. El buen vivir requerirá que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades gocen efectivamente de sus derechos, y ejerzan responsabilidades en el marco de la interculturalidad, del respeto a sus diversidades, y de la convivencia armónica con la naturaleza.

Biodiversidad y recursos naturales

Sección primera: naturaleza y ambiente

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras (p. 119).

Sección segunda: biodiversidad

Art. 400.- El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional. Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país (p. 121).

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

Art. 415.- El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclovías (Pag 193).

Código Orgánico del Ambiente [COA] (2018)

Artículo 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir 1. en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades;

2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros (Pag 12).

Art. 30.- Objetivos del Estado. Los objetivos del Estado relativos a la biodiversidad son:

1. Conservar y usar la biodiversidad de forma sostenible;
2. Mantener la estructura, la composición y el funcionamiento de los ecosistemas, de tal manera que se garantice su capacidad de resiliencia y su la posibilidad de generar bienes y servicios ambientales;
3. Establecer y ejecutar las normas de bioseguridad y las demás necesarias para la conservación, el uso sostenible y la restauración de la biodiversidad y de sus componentes, así como para la prevención de la contaminación, la pérdida y la degradación de los ecosistemas terrestres, insulares, oceánicos, marinos, marino-costeros y acuáticos;
4. Regular el acceso a los recursos biológicos, así como su manejo, aprovechamiento y uso sostenible;
5. Proteger los recursos genéticos y sus derivados y evitar su apropiación indebida;
6. Regular e incentivar la participación de personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades en la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, así como en la distribución justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos;
7. Adoptar un enfoque integral y sistémico que considere los aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, en coordinación con la Autoridad Única del Agua;
8. Promover la investigación científica, el desarrollo y transferencia de tecnologías, la educación e innovación, el intercambio de información y el

fortalecimiento de las capacidades relacionadas con la biodiversidad y sus productos, para impulsar la generación del bioconocimiento;

9. Contribuir al desarrollo socioeconómico del país y al fortalecimiento de la economía popular y solidaria, con base en la conservación y el uso sostenible de los componentes y de la biodiversidad y mediante el impulso de iniciativas de biocomercio y otras;

10. Proteger y recuperar el conocimiento tradicional, colectivo y saber ancestral de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades asociados con la biodiversidad, e incorporar dichos saberes y conocimientos en la gestión de las políticas públicas relacionadas con la biodiversidad, y;

11. Incorporar criterios de sostenibilidad del patrimonio natural en la planificación y ejecución de los planes de ordenamiento territorial, en los planes de uso del suelo y en los modelos de desarrollo, en todos los niveles de gobierno (Pag 20).

Art. 154.- Forestación y reforestación en los espacios públicos. Se promoverán las actividades de forestación y reforestación de espacios públicos de acuerdo con los criterios técnicos, ecológicos y socioculturales, destacándose el fomento del uso de especies forestales nativas con características ornamentales o de especies que contribuyan a los procesos ecológicos indispensables para mantener corredores ecológicos y la conectividad de la fauna propia de cada circunscripción territorial. Se fomentará la construcción de viveros y se incentivará la investigación asociada a la identificación de especies nativas con características ornamentales y otros usos en las distintas zonas territoriales, en coordinación con las universidades e instituciones de investigación relacionadas. Las investigaciones se realizarán aplicadas a la forestería urbana (Pag 47).

Código Orgánico de Organización Territorial (2019)

Art. 4.- Fines de los gobiernos autónomos descentralizados. - Dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales son fines de los gobiernos autónomos descentralizados:

- a) El desarrollo equitativo y solidario mediante el fortalecimiento del proceso de autonomías y descentralización;
- b) La garantía, sin discriminación alguna y en los términos previstos en la Constitución de la República de la plena vigencia y el efectivo goce de los derechos individuales y colectivos constitucionales y de aquellos contemplados en los instrumentos internacionales;
- c) El fortalecimiento de la unidad nacional en la diversidad;
- d) La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable;
- e) La protección y promoción de la diversidad cultural y el respeto a sus espacios de generación e intercambio; la recuperación, preservación y desarrollo de la memoria social y el patrimonio cultural;
- f) La obtención de un hábitat seguro y saludable para los ciudadanos y la garantía de su derecho a la vivienda en el ámbito de sus respectivas competencias;
- g) El desarrollo planificado participativamente para transformar la realidad y el impulso de la economía popular y solidaria con el propósito de erradicar la

pobreza, distribuir equitativamente los recursos y la riqueza, y alcanzar el buen vivir;

h) La generación de condiciones que aseguren los derechos y principios reconocidos en la Constitución a través de la creación y funcionamiento de sistemas de protección integral de sus habitantes; e,

i) Los demás establecidos en la Constitución y la ley (Pag 8).

Art. 54.- Funciones. - Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes:

c) Establecer el régimen de uso del suelo y urbanístico, para lo cual determinará las condiciones de urbanización, parcelación, lotización, división o cualquier otra forma de fraccionamiento de conformidad con la planificación cantonal, asegurando porcentajes para zonas verdes y áreas comunales (Pag 28).

Art. 55.- Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal. - Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley;

b) Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el Cantón (Pag 29).

Art. 84.- Funciones. - Son funciones del gobierno del distrito autónomo metropolitano:

c) Establecer el régimen de uso del suelo y urbanístico para lo cual determinará las condiciones de urbanización, parcelación, lotización, división o cualquier otra forma de fraccionamiento de conformidad con la planificación metropolitana, asegurando porcentajes para zonas verdes y áreas comunales (Pag 41).

Ordenanza sustitutiva que pone en vigencia la actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2019-2025 e implementación del plan de uso y gestión del suelo 2022-2034 del Cantón Durán (2022)

Artículo 9.- Modelo Territorial Deseado. - El modelo territorial deseado comprende la imagen objetivo del Cantón, la cual se estructura de manera gráfica.

Desde el punto de vista espacial, el Modelo Territorial propone alcanzar un manejo integrado del territorio urbano – rural y que todas las porciones que conforman piezas de su territorio ocupado con actividades productivas o asentamientos humanos.

1. Clasificación del Suelo; El suelo se clasificará en urbano y rural en consideración a sus características actuales. La clasificación del suelo es independiente de la asignación político-administrativa de la parroquia como urbana o rural.

a) Suelo Urbano; El suelo urbano es el ocupado por asentamientos humanos concentrados que están dotados total o parcialmente de infraestructura básica y servicios públicos, y que constituye un sistema continuo e interrelacionado de espacios públicos y privados. Estos asentamientos humanos pueden ser de diferentes escalas e incluyen núcleos urbanos en suelo rural.

b) Suelo Rural; El suelo rural es el destinado principalmente a actividades agro-productivas, extractivas o forestales, o el que por sus especiales

características biofísicas o geográficas debe ser protegido o reservado para futuros usos urbano (Pag 8).

Artículo 11.- Contenido del Plan de Uso y Gestión de Suelo. - El PUGS contiene los siguientes componentes: Componente Estructurante; Componente Urbanístico; Gestión de suelo (Pag 15).

Artículo 12.- Componente Estructurante. - Estará constituido por los contenidos de largo plazo que respondan a los objetivos de desarrollo y al modelo territorial deseado según lo establecido en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial municipal o metropolitano, y las disposiciones correspondientes a otras escalas del ordenamiento territorial, asegurando la mejor utilización de las potencialidades del territorio en función de un desarrollo armónico, sustentable y sostenible, a partir de la determinación de la estructura urbano-rural y de la clasificación del suelo.

Artículo 24.- Usos de suelo. - Cada PIT detallará un único uso general y deberá definir como usos específicos al menos: un uso principal y un uso complementario, de acuerdo con las definiciones establecidas en el artículo 22 y 23 de la LOOTUGS. Los usos restringidos y prohibidos serán definidos en función de cada una de las características de cada PIT.

Artículo 25.- Destinos de Usos de Suelo. - Dentro de los PIT distribuidos en cada clasificación y subclasificación del suelo definida en el componente estructurante del PUGS, los usos del suelo podrán tener los siguientes destinos, cuya terminología es de carácter obligatorio:

7. Uso Agropecuario. - Corresponde a aquellas áreas en suelo rural vinculadas con actividades agrícolas y pecuarias que requieren continuamente labores de cultivo y manejo, en las que pueden existir asentamientos humanos concentrados o dispersos con muy bajo coeficiente de ocupación del suelo, mismo que será determinado por la ordenanza municipal correspondiente. La determinación del uso de suelo agropecuario se debe establecer en función de parámetros normativos que establezcan fraccionamientos mínimos de acuerdo con factores que garanticen su preservación de usos e impidan la urbanización y que serán definidos por la Autoridad Agraria Nacional (Pag 29)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es mixto por emplearse técnicas cualitativas y cuantitativas que permitan evaluar y visualizar el cambio de uso del suelo por actividades acuícolas en el Cantón Durán de la Provincia del Guayas.

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

3.1.1.1. Investigación documental y aplicada.

La investigación documental se ejecuta consultando las fuentes bibliográficas como artículos académicos, libros, tesis de pregrado y postgrado, revistas científicas y páginas web verificadas u oficiales que contienen información relevante sobre el tema planteado, garantizando así la calidad de los fundamentos teóricos.

3.1.1.2. Investigación descriptiva.

La investigación descriptiva permite evaluar y observar mediante imágenes satelitales y su procesamiento en sistemas de información geográfica los cambios en la cobertura vegetal y en el uso del suelo en un lapso o periodo de tiempo, posteriormente esto permite tomar medidas correctoras basadas en la legislación vigente.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de carácter no experimental, se realiza sin modificar las variables del estudio, utilizando sistemas de información geográfica para analizar la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo entre los años 2004 y 2024.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente.

- Tiempo (años)

3.2.1.2. Variable dependiente.

- Cambio de uso del suelo (ha)
- Tasa de cambio de uso del suelo (ha/año y %)

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

La matriz permite la optimización y el análisis de relaciones complejas entre variables, fundamental para la modelización estadística avanzada y la toma de decisiones informadas en diversas disciplinas científicas y empresariales, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 1.

Variable independiente

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Tiempo	Cualitativa	Ordinal	> 10 años

Elaborado por: El Autor, 2024

Tabla 2.

Variable dependiente

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Cambio de uso del suelo	Cuantitativa	Intervalo	Medida en ha
Tasa de cambio de uso del suelo	Cuantitativa	Razón	Medida en ha por año y en %

Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.3 Recolección de datos

3.2.3.1. Recursos.

Los recursos y materiales por utilizarse en la realización de esta investigación se detallan a continuación:

- Materiales y equipo: Imágenes satelitales, laptop.
- Recursos bibliográficos: Tesis, libros, revistas científicas y sitios web.
- Software: Uso de programas como Microsoft Office, sistemas de información geográfica, TerrSet, Google Earth.
- Recursos de oficina: Cuaderno, bolígrafos, calculadora e internet.
- Recursos Humanos: Autor, docente tutor, docente de catedra.

3.2.3.2. Métodos y técnicas.

3.2.3.2.1. Obtener imágenes satelitales del Cantón Durán.

Para su realización se requiere descargar imágenes satelitales gratuitas de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de Landsat o Copernicus de Sentinel. Este proceso incluye la búsqueda por fechas y la selección

de las imágenes que contengan menor nubosidad y la mejor resolución espacial para el posterior procesamiento.

3.2.3.2.2. Realizar una clasificación supervisada para la cuantificación del área total del cambio de uso del suelo entre 2004-2014 y 2014-2024.

La clasificación supervisada para cuantificar el cambio de uso del suelo se realiza con el análisis de las imágenes de satélite de diferentes fechas en los sistemas de información geográfica, se seleccionan clases que permitan identificar bosques, agricultura o zona urbana realizando un entrenamiento con el etiquetado de los datos, posterior al entrenamiento para la asignación de las distintas clases los resultados pueden ser plasmados y visualizados en imágenes de alta resolución. El resultados de la cuantificación del cambio será presentados en dos periodos para la zona de estudio, el primero desde el año 2004 al 2014 y el segundo desde 2014 al 2024.

3.2.3.2.3. Determinar la tasa de cambio de uso del suelo.

Para aquello se utilizará la misma fórmula empleada para obtener la tasa de deforestación, pero adaptada al cambio de uso del suelo en un periodo específico. Es una mediad directa del cambio en el área de un tipo de uso del suelo a otro de donde se obtendrá el porcentaje del cambio efectuado.

3.2.3.2.4. Estimar el cambio de uso del suelo mediante la aplicación del modelo predictivo basado en cadenas de Markov.

Para su realización se empleará el Software TerrSet para elaborar una predicción del cambio de uso del suelo por actividades acuícolas al año 2034. El software y su modulo denominado LCM O Land Change Modeler que utiliza cadenas de Markov y células autómatas los cuales están incorporados dentro de esta herramienta.

Una cadena de Markov es un modelo estocástico que describe una secuencia de posibles hechos en los que la probabilidad de que estos sucedan depende solo del estado alcanzado en el hecho anterior (Rosete, 2008).

3.2.4 Análisis estadístico

3.2.4.1. Análisis descriptivo.

Se empleará estadística descriptiva, la cuantificación del cambio de uso del suelo mediante la clasificación supervisada y todos los datos por generarse serán

presentados en forma de tablas e imágenes que permiten la fácil interpretación de los resultados.

3.2.4.2. Índice Kappa.

Se utilizará el Índice Kappa para la validación de los resultados obtenidos mediante el método de clasificación supervisada, el cual toma valores en un intervalo de 0 a 1 y se representa con la siguiente formula:

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

Donde:

K = Kappa.

P_0 = Numero de aciertos (Precisión total).

P_c = Calculo generado desde la matriz de confusión (Precisión aleatoria).

Este índice permite medir la diferencia entre la exactitud alcanzada en la clasificación de un software y la exactitud de alcanzar una clasificación correcta por medio de una clasificación visual, en este caso con imágenes de alta resolución (Abraira, 2001).

3.2.4.3. Tasa de Cambio de uso del suelo.

Para aquello se utilizará la misma fórmula empleada para obtener la tasa de deforestación propuesta por la FAO, pero adaptada al cambio de uso del suelo durante un periodo específico. Es una medida directa del cambio en el área de un tipo de uso a otro y su fórmula es la siguiente:

$$T_c = \left(\frac{\ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)}{t} \right) * 100$$

Donde:

T_c = Tasa de cambio de uso del suelo.

V_i = Área inicial.

V_f = Área final.

t = Periodo.

4. RESULTADOS

Para la cuantificación y proyección del área de uso del suelo con actividad acuícola se descargó y procesó metadatos de libre acceso, incluyendo información oficial del uso de suelo procedente del visor geográfico del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Las imágenes multiespectrales destinadas a la clasificación supervisada corresponden al mes de septiembre para cada año, la procedencia y detalles son especificadas en la Tabla 3. En este estudio para la tabulación de los datos y la producción de la cartografía temática es utilizado el término “Cuerpos de agua artificial” para referirnos al área de uso de suelo con actividad acuícola.

Tabla 3.

Procedencia de metadatos

Detalles	Institución	Resolución	Enlace de acceso
Usos de suelo 2004	MAATE	-	http://ide.ambiente.gob.ec/maainteractivo
Usos de suelo 2014	MAATE	-	http://ide.ambiente.gob.ec/maainteractivo
Multiespectral Landsat 8 - 2014	USGS	30 m	https://earthexplorer.usgs.gov
Multiespectral Sentinel 2 - 2024	ESA	10 m	https://browser.dataspace.copernicus.eu

Elaborado por: El Autor, 2025

4.1 Cuantificación el área de cambio de uso del suelo por actividad acuícola en el Cantón Durán mediante clasificación supervisada produciendo cartográfica temática

Con el procesamiento de los metadatos procedentes del MAATE se obtuvo la extensión del área de uso con actividad acuícola para los años 2004 y 2014. La actividad acuícola representada por la categoría cuerpos de agua artificial en 2004 posee una extensión de 864,65 ha. Para el año 2014 esta categoría se extiende a 4.155,32 ha ocupado el 18% del total del territorio del Cantón Durán. Las categorías para estos años y su extensión se detallan en la tabla 4, la cartografía temática de uso de suelo para el 2004 y 2014 puede verse en el apartado de anexos, figura 3 y figura 4 respectivamente.

Tabla 4.***Usos del suelo del Cantón Durán años 2004 y 2014***

Cobertura / Categoría	Área (ha) 2004	Área (ha) 2014
Área poblada	1.750,96	3.513,17
Área sin cobertura vegetal	287,29	2.114,49
Bosque nativo	16.425,10	1.332,38
Cultivo anual	4.609,52	9.803,80
Cultivo permanente	1.502,84	443,09
Cultivo semi permanente	719,11	2.189,85
Cuerpo de agua artificial	864,65	4.155,32
Pastizal	3.194,36	2.672,14
Vegetación arbustiva	31,44	1.508,32
Vegetación herbácea	75,33	157,82

Elaborado por: El Autor, 2025

Mediante la clasificación supervisada de imágenes se obtuvo el cambio de uso de suelo por actividad acuícola para los años 2014 y 2024, en este proceso se fusionaron categorías de uso empleadas por el MAATE con el fin de minimizar errores de diferenciación entre los distintos usos y de no sobrecargar el software utilizado para la proyección a 2034, las categorías se detallan en la tabla 5.

La extensión ocupada con actividad acuícola para el 2014 es de 4.155,32 ha según los datos disponibles en el repositorio oficial de información geográfica del MAATE, mientras que el resultado de la clasificación supervisada realizada en este estudio mostró que la extensión fue de 5.764,48 ha para ese mismo año, la comparación visual puede verse en el apartado de anexo, figura 5.

Tabla 5.***Cobertura / Categorías de usos de suelo***

Empleadas por el MAATE	Empleadas por el autor
Área poblada	Área urbana o sin cobertura vegetal
Área sin cobertura vegetal	
Bosque nativo	Bosque nativo
Cultivo anual	Mosaico agropecuario
Cultivo permanente	
Cultivo semi permanente	
Cuerpo de agua artificial	Cuerpo de agua artificial
Pastizal	Vegetación herbácea
Vegetación arbustiva	
Vegetación herbácea	

Elaborado por: El Autor, 2025

La clasificación supervisada mostró que la categoría cuerpo de agua artificial posee una extensión total de 11.801,17 hectáreas para el año 2024; el uso del suelo con actividades acuícolas representa un 40% del total del territorio del Cantón Durán para este año, los valores para cada categoría se presentan en la tabla 6. La cartografía temática generada para el año 2024 puede verse en los anexos de este estudio, figura 6.

Tabla 6.***Uso de suelo del Cantón Durán año 2024***

Cobertura / Categoría	Área (ha)
Área urbana o sin cobertura vegetal	4.173,38
Bosque nativo	1.511,82
Cuerpo de agua artificial	11.801,17
Mosaico Agropecuario	10.716,71
Vegetación herbácea	1.592,33

Elaborado por: El Autor, 2025

En cuanto a pérdidas y ganancias se evidencio que el bosque natural, la vegetación herbácea y el área urbana o sin cobertura vegetal se vieron reducidas desde el segundo periodo analizado, mientras que las categorías mosaico agropecuario y espejo de agua artificial se expandieron al año 2024. Los valores de la matriz de pérdidas y ganancias para cada categoría pueden verse en la tabla 7.

Tabla 7.

Matriz de pérdidas y ganancias usos de suelo 2014 - 2024

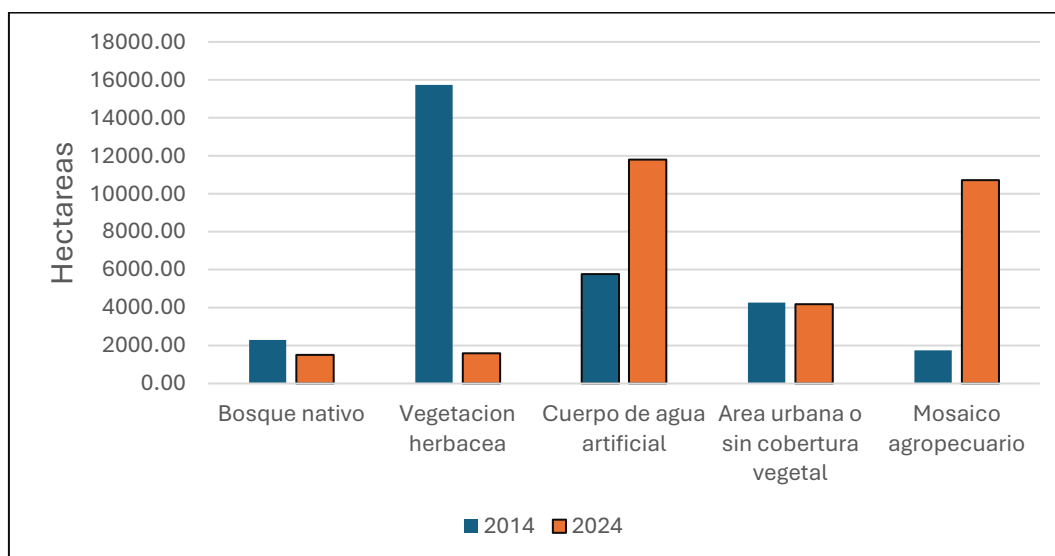
Cobertura / Categoría	Perdidas (ha)	Ganancias (ha)
Área urbana o sin cobertura vegetal	86,39	0
Bosque nativo	778,03	0
Cuerpo de agua artificial	0	6.036,77
Mosaico agropecuario	0	8.970,74
Vegetación herbácea	14.143,09	0

Elaborado por: El Autor, 2025

La comparación de los distintos usos de suelo del Cantón Duran y su extensión en hectáreas para los años 2014 y 2024 puede verse en la figura1.

Figura 1.

Comparación usos del suelo en el Cantón Duran 2014 - 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

4.2 Cálculo de la tasa de cambio de uso del suelo por actividad acuícola en el Cantón Durán

Se calculó la tasa de cambio de uso de suelo por actividad acuícola desde el 2004 hasta la actualidad, para aquello se dividió el tiempo transcurrido en dos periodos de 10 años cada uno; el primer periodo comprendido desde 2004 al 2014 mostró un crecimiento del 15,69% anual, mientras que en el periodo de 2014 a 2024 la tasa de cambio para este uso de suelo fue del 10,44%. El procedimiento se desglosa en la tabla 8.

Tabla 8.

Tasa de cambio de uso del suelo por actividad acuícola

Periodo	V_i (ha)	V_f (ha)	V_f/V_i	$\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$	$\frac{\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)}{t}$	Tasa anual
2004 - 2014	864,65	4.155,32	4,805	1,569	0,1569	15,69
2014 - 2024	4.155,32	11.801,17	2,840	1,044	0,1044	10,44

Elaborado por: El Autor, 2025

4.3 Estimación del cambio de uso del suelo por actividad acuícola en el Cantón Durán proyectado al año 2034 mediante la aplicación del modelo predictivo basado en Cadenas de Markov

El módulo Land Change Modeler del software TerrSet antes llamado IDRISI Selva, permitió generar una imagen tipo ráster de la proyección de uso del suelo para el año 2034 del Cantón Durán, con datos de entrada que incluyeron imágenes tipo ráster de uso del suelo pertenecientes a los años 2014 y 2024, ráster de pendientes y un ráster de distancia a la red hídrica como variable impulsora de cambio por actividad acuícola.

El modelo predictivo estima una extensión de 13.666,52 ha para la categoría cuerpo de agua artificial, lo que representaría el 46% de la extensión total del territorio del Cantón, los datos generados por el software están detallados en la tabla 9. La imagen generada por el software y la proyección puede verse en los anexos de este estudio, figura 7.

Tabla 9.***Proyección de uso del suelo para el año 2034***

Cobertura / Categoría	Área (ha)
Área poblada o sin cobertura vegetal	4.687,44
Bosque natural	1.536,52
Cuerpo de agua artificial	13.666,52
Mosaico Agropecuario	8.394,32
Vegetación herbácea	1.510,84

Elaborado por: El Autor, 2025

El módulo Land Change Modeler del software TerrSet antes llamado IDRISI Selva, también generó una imagen de las zonas con potencial de transición al 2034 en donde se puede visualizar que las zonas con valores superiores a 1, resaltadas en color rojo intenso poseen un mayor potencial para cambiar su uso actual por actividad acuícola, la figura 8 puede verse en los anexos de este documento.

5. DISCUSIÓN

El presente estudio muestra el cambio de uso del suelo por actividad acuícola mediante la clasificación supervisada de imágenes satelitales, en donde se da a conocer cuánto se ha extendido dicho uso de suelo en conjunto con la tendencia al cambio proyectado al año 2034 utilizando herramientas de libre acceso, conociendo con Aguilar (2019) quien afirma que de esta forma es posible realizar actualizaciones del territorio de manera confiable, rápida y económica.

El 40% del área de estudio posee actividad acuícola para el año 2024 en el Cantón Duran, experimentando un cambio de sus diferentes coberturas y usos del suelo, reduciéndose áreas destinadas a la agricultura y la vegetación natural. Esto concuerda con Zhang y Yang (2023) quienes concluyen que las actividades acuícolas se expandieron en la última década reduciendo principalmente áreas de agricultura y vegetación natural en el sudeste asiático.

La estimación del cambio de uso por actividad acuícola al 2034 dio como resultado una extensión de 13.666,52 ha, sin embargo para esto se incluyeron solo dos variables impulsoras de cambio, en concordancia con lo que sostiene Chafila (2020) que en su investigación resalta que los aciertos o exactitud de este modelo

predictivo puede verse afectada por la cantidad de variables que podrían incluirse ya que el software permite el ingreso de una cantidad ilimitada de ellas.

La reducción de bosque natural para dar lugar a actividades acuícolas produce la pérdida de hábitat y biodiversidad, eliminándose zonas de reproducción y refugio de numerosas especies tanto marinas como terrestres, coincidiendo con Del Rio (2016), quien afirma que estas áreas cumplen roles clave como hospedaje de aves migratorias y soporte de invertebrados endémicos. Su desaparición conduce a la disminución de la riqueza de especies en varios grupos taxonómicos.

Con respecto a la reducción de la vegetación arbustiva y herbácea por estakes de cultivo que alteran la estructura y función de los ecosistemas terrestres, se aumenta la velocidad de escorrentías lo favorece a la pérdida de sedimentos y nutrientes y en concordancia con López y Fuentes (2017), quienes en su estudio afirma que este tipo de vegetación intercepta la lluvia, retiene la humedad y modera el recubrimiento y con su pérdida se elevan los picos de caudal tras eventos lluviosos y se reduce la recarga de acuíferos al limitar la infiltración, afectando la disponibilidad y calidad del agua dulce en zonas aledañas.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En relación con el primer objetivo, para el periodo de 2004 a 2024 el uso de suelo destinado a actividades acuícolas en el Cantón Durán paso de tener 864,65 ha a 11801,17 ha esto es equivalente al 40% de la superficie total de este Cantón, el crecimiento exponencial de la acuicultura provocó la reducción de bosques nativos, áreas agrícolas y suelos sin cobertura vegetal.

Con respecto al segundo objetivo, la tasa anual de cambio uso del suelo por actividades acuícolas refleja una desaceleración en la expansión, en el periodo de 2004 a 2014 fue del 15,65% y de 10,44% para el periodo de 2014 al 2024 manteniendo un ritmo significativo.

La aplicación del modelo predictivo basado en cadenas de Markov estima que para 2034 el uso de suelo con actividad acuícola alcance 13666,52 ha, es decir, el 46% de total del territorio de este Cantón, también se identificó que la variable impulsora de cambio más importante es la cercanía a la red hídrica, comprendida por ríos y esteros. Finalmente, con respecto a la hipótesis se concluye que para el

año 2024 el uso del suelo con actividad acuícola supera el 35% del total del territorio del Cantón Durán.

6.2 Recomendaciones

Adoptar buenas prácticas de manejo acuícola y ejecutar los planes de manejo ambiental para minimizar los impactos de esta actividad como la salinización del suelo y la eutrofización de los cuerpos de agua incluyéndose estrictamente el tratamiento de efluentes y sistemas de recirculación.

Fortalecer los mecanismos de control territorial por parte del GAD municipal para regular la expansión de los estanques acuícolas con programas continuos de monitoreo y teledetección, asegurando el cumplimiento de ordenanzas y la legislación nacional con el fin de conservar los ecosistemas frágiles y la biodiversidad.

Realizar una proyección del cambio de uso del suelo que incluyan las distintas clases o categorías de uso por parte de la autoridad competente, analizando la inclusión de las distintas variables impulsoras de cambio que se presentan geográficamente en la actualidad como lo son; distancias a centros educativos, distancias a centros comerciales, distancias a centros de salud, y las distancias a las diferentes redes de servicios básicos que podrían aumentar la exactitud de la proyección.

Involucrar a todos los actores locales incluyendo al gobierno autónomo, productores y comunidades en los procesos de planificación y en la supervisión de proyectos acuícolas e integrar la expansión de estas actividades en el plan de ordenamiento territorial.

BIBLIOGRAFIA

- Abraira, V. (2001). El índice Kappa. *Revista Semergen*, 27(5), 247-249.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(01\)73955-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1138-3593(01)73955-X)
- Agencia especializada en Estrategia Digital. (sf). *ARIMETRICS*.
<https://www.arimetrics.com/glosario-digital/modelo-predictivo>
- Aguilar, A. (2019). Ubicación de áreas agrícolas por medio de imagenes satelitales de alta resolucion en distintas zonas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 32, 43-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4258>
- AIRBUS. (2021). *Earth observation*. <https://www.airbus.com/en/space/earth-observation>
- Anand, V., & Oinam, B. (2019). Predicción de la cobertura del suelo según el uso futuro del suelo, con especial énfasis en la urbanización y los humedales. *Remote Sensing Letters*, 11(3), 225-234.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1704304>
- ArcGIS. (2012). *Introducción a SIG*. ArcGIS Resources:
<https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>
- ArcGIS. (2021). *¿Qué es la clasificación de imagen?* Clasificación supervisada:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/image-classification/what-is-image-classification-.htm>
- Asamblea Nacioanal. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*.
<https://www.asambleanacional.gob.ec/es/contenido/constitucion-de-la-republica-del-ecuador>
- Chafla, O. (2020). *Modelo predictivo del cambio de uso del suelo para la microcuenca del Río Ozoguche basado en el analisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo de la localidad*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]:
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CHAFLA%20HIGUERA%20OSIRIS.pdf>
- Clark Labs. (2024). *Software de modelado y monitoreo geoespacial TerrSet 2020*.
<https://clarklabs.org/terrset/>
- Consejo de Participacion Ciudadana y Control Social. (2019). *Código Orgánico de Organizacion Territorial*. COOTAD: <https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>

- Del Río, M., Martínez, A., & Jara, M. (2016). *La acuicultura y su impacto en la zona costera del Golfo de California*. Biotecnia.
- Esri. (2021). *Mapeando la superficie de la tierra*. Esri Colombia: <https://www.esri.co/es-co/nosotros/publicaciones/blogs/fecha/2021/otros-temas/mapeando-la-superficie-de-la-tierra>
- European Space Agency. (s.f.). *Introducing Copernicus*. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Introducing_Copernicus
- Food and Agriculture Organization. (2005). *Vision general del sector acuicola nacioanal - Ecuador*. FAO, Division de Pesca y Acuicultura. https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=countrysector&xml=naso_ecuador.xml&lang=es
- Food and Agriculture Organization. (2011). *Desarrollo de la acuicultura. 4. Enfoque ecosistémico a la acuicultura*. FAO, Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i1750s>
- Food and Agriculture Organization. (2015). *Los suelos constituyen la base de la vegetación*. FAO: <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/287559/>
- Food and Agriculture Organization. (s.f.). *Portal Terminológico de la FAO: Acuicultura*. FAO: <https://www.fao.org/faoterm/collections/aquaculture/es/>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Durán. (2022). *Ordenanza sustitutiva que pone en vigencia la actualizacion del plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2019-2025 e implementacion del plan de uso y estion del suelo 2022-2034 del Cantón Duran*. <https://duran.gob.ec/ordenanzas/>
- Hairunnisa, N., & Arif, S. (2020). Identifying factors and predicting the future land-use change of protected area in the agricultural landscape of Malaysian peninsula for conservation planning. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100298>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2022). *Cenaso Nacional 2022*. INEC. Canton Duran: <https://search.app.goo.gl/WwxA1EC>
- Isla, M. (2015). Generalidades de la acuicultura del camarón en la región de Latinoamérica. Impactos al medio natural. *El Bohío*, 5. <http://hdl.handle.net/1834/41716>

- Jácome, J., & Quezada, A. (2020). Tilapia en Ecuador: paradoja entre la producción acuícola y la protección de la biodiversidad ecuatoriana. *Revista Peruana de Biología*, 26(4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i4.16343>
- Lara, C. (2018). *Análisis multitemporal del desarrollo de la cobertura vegetal mediante el uso de sensores remotos en la Isla Santay - Provincia del Guayas*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador].
- Lopez, A., Fuentes, C., & Gonzales, E. (2017). Perdida por intercepcion de la vegetacion y su efecto en la relacion intensidad-duración-frecuencia de la lluvia en una cuenca semiárida. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.24580/j-tyca-2017-04-03>
- López, C. (2019). *Fundamentos Basicos para la Teledetección Ambiental*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20684.44161>
- Marin, H., & Chang, J. (2009). *Descripción y análisis de impactos ambientales típicos relacionados a la actividad de producción acuícola en el Ecuador*. [Archivo PDF]: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6180>
- McFeeters, S. (1996). El uso del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) en la delineación de características de agua abierta. *Revista internacional de teledetección*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Meneses, C. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva*, 62, 39. <https://doi.org/https://www.fao.org/forestry/unasylva>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2018). *Código Orgánico del Ambiente*. COA: <https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (S.F). *MAATE*. Mapa Interactivo Ambiental: <https://www.ambiente.gob.ec/mapa-interactivo-ambiental/>
- Pazmiño, M., & Chico, L. (2025). Environmental life cycle assessment and potential improvement measures in the shrimp and prawn aquaculture sector: A literature review. *Aquaculture and Fisheries*, 10(2), 183-201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.06.003>
- Rosete, F. (2008). *Modelos predictivos de cambio de uso del suelo en la península de baja california, México*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional

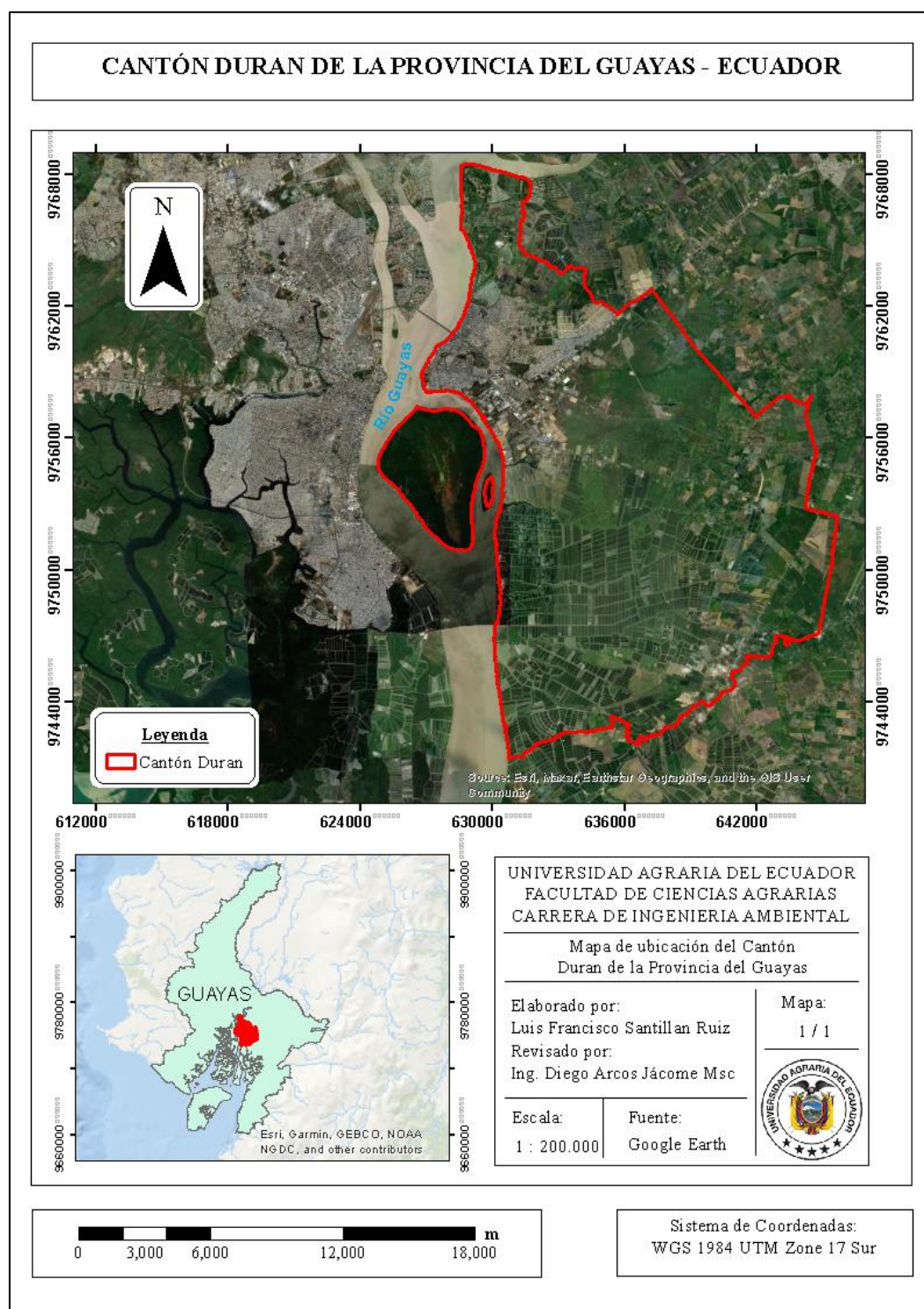
Autónoma de México]:

https://www.academia.edu/20985921/MODELOS_PREDICTIVOS_DE_CAMBIO_DE_USO_DEL_SUELO_EN_LA_PENINSULA_DE_BAJA_CALIFORNIA_MEXICO

- Saldaña, V. (2019). *Análisis de los cambios de cobertura y usos del suelo con imágenes satelitales del distrito de Chancay años 2001 y 2018*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Sanabria, J., & Zabala, S. (2013). Metodología para la determinación de usos del suelo mediante procesamiento de imágenes satelitales. *Iteckne*, 7(1), 98-107. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v7i1.2714>
- Segura, M. (2022). *Análisis del uso del suelo y su afectación en la cobertura vegetal de la zona industrial del Canton Duran mediante sistemas de información geográfica*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Tahiluddin, A., & Bornales, I. (2025). Impactos ambientales de la acuicultura en Filipinas. *Revista Israelí de Acuicultura*(77), 51-81. <https://doi.org/10.46989/001c.133778>
- U.S. Geological Survey. (s.f.). *Landsat Missions*. USGS: <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
- Vergara, G. (2021). *Análisis del cambio temporal y espacial de uso del suelo y su manifestación en el paisaje de la región de Los Ríos, sur de Chile*. [Tesis de doctorado, Universidad de Córdoba]: <http://hdl.handle.net/10396/22777>
- Zhang, J., & Yang, X. (2023). Mapping of land-based aquaculture regions in Southeast Asia and its Spatiotemporal change from 1990 to 2020 using time-series remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103518>

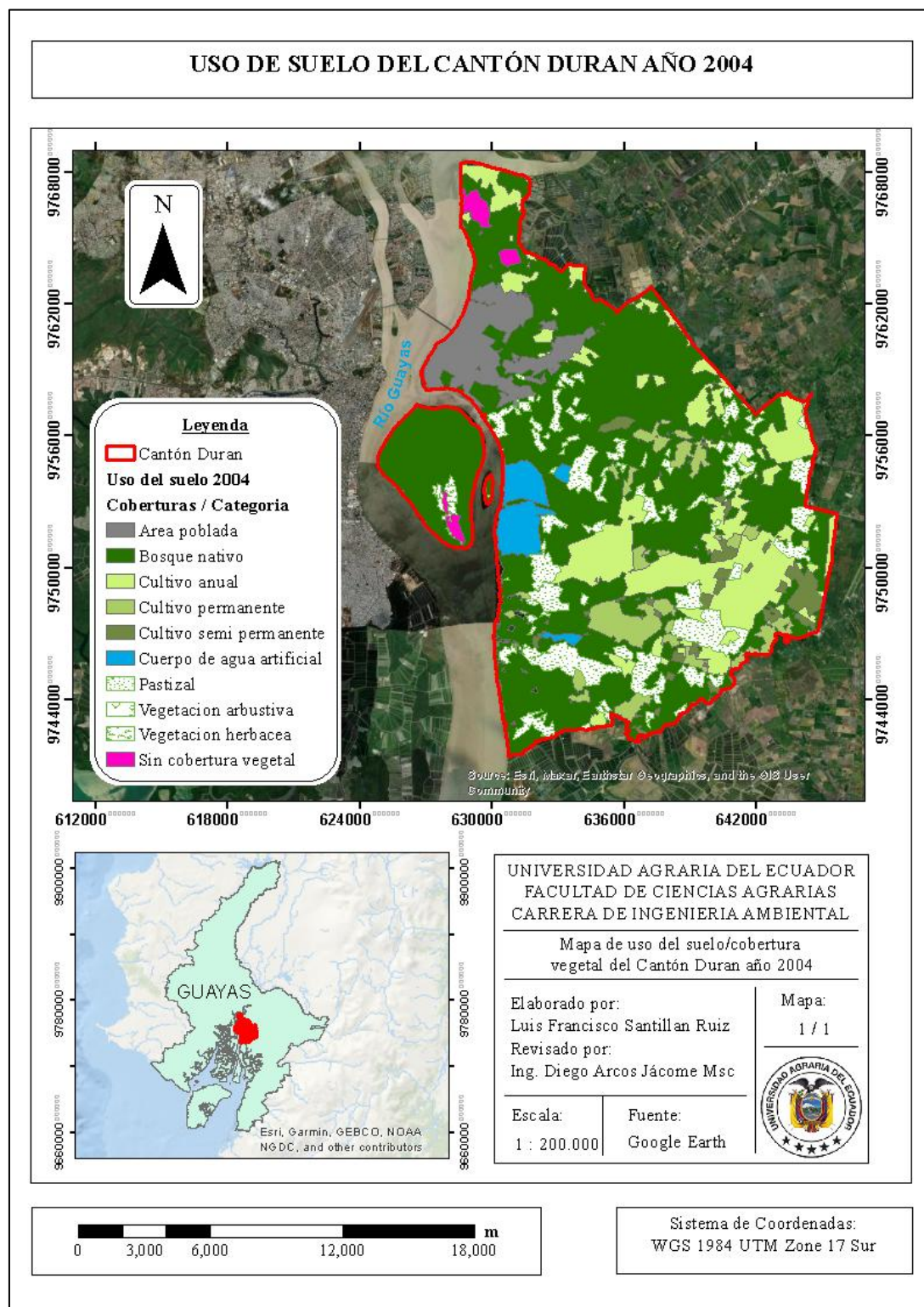
ANEXOS

Figura 2.

Delimitación de la zona de estudio

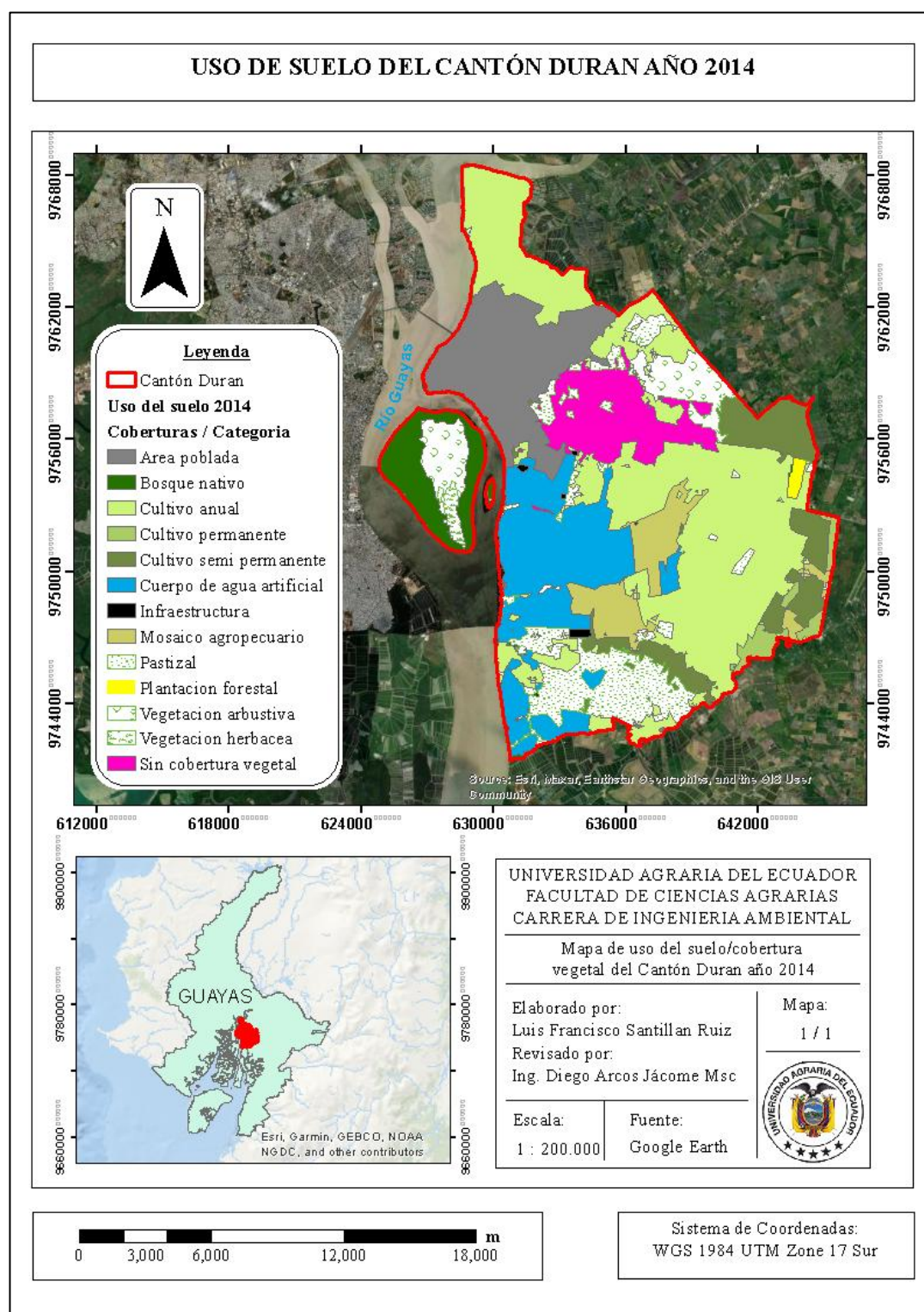
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 3.

Uso de suelo del Cantón Durán año 2004

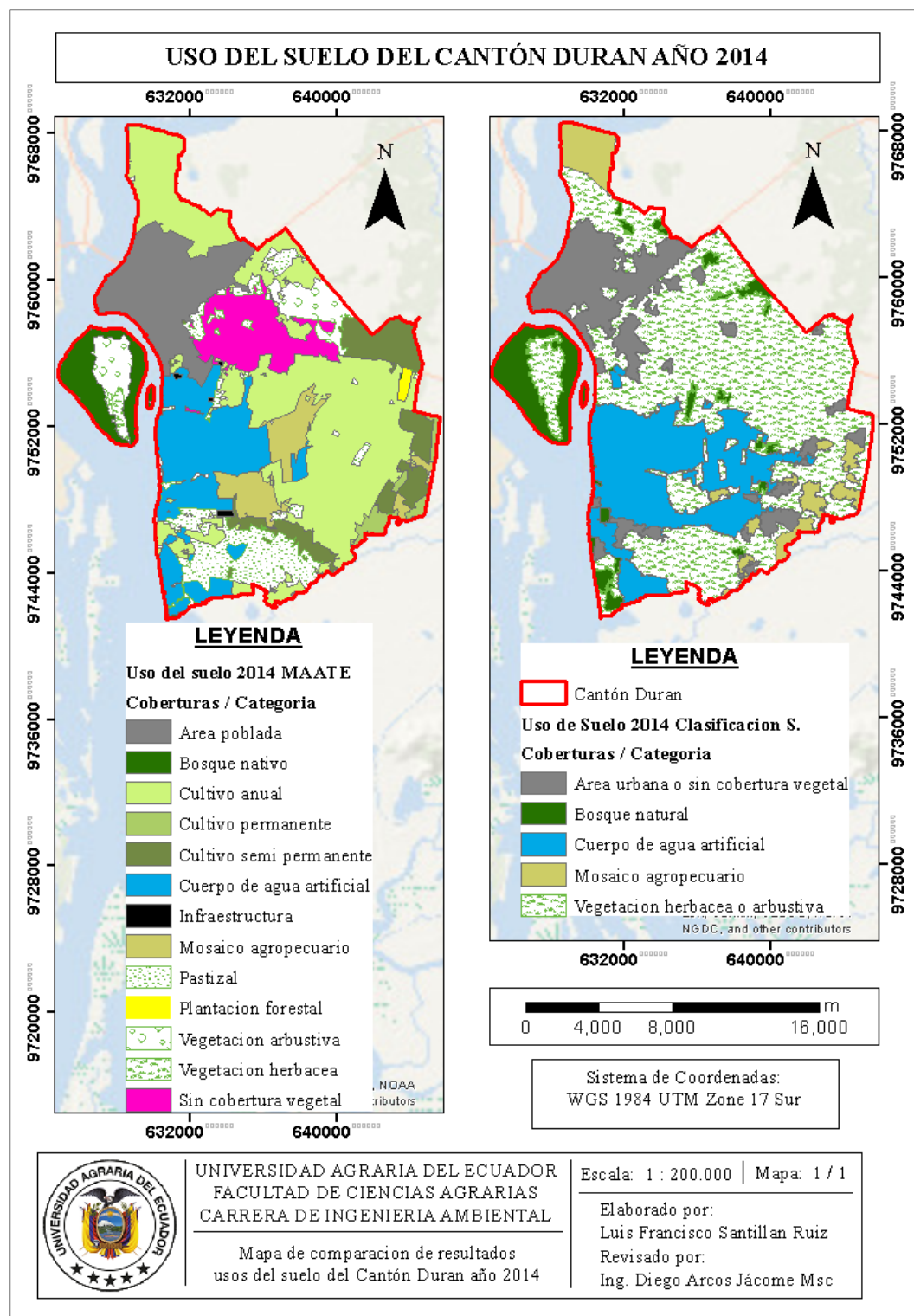
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 4.

Uso de suelo en el Cantón Durán año 2014

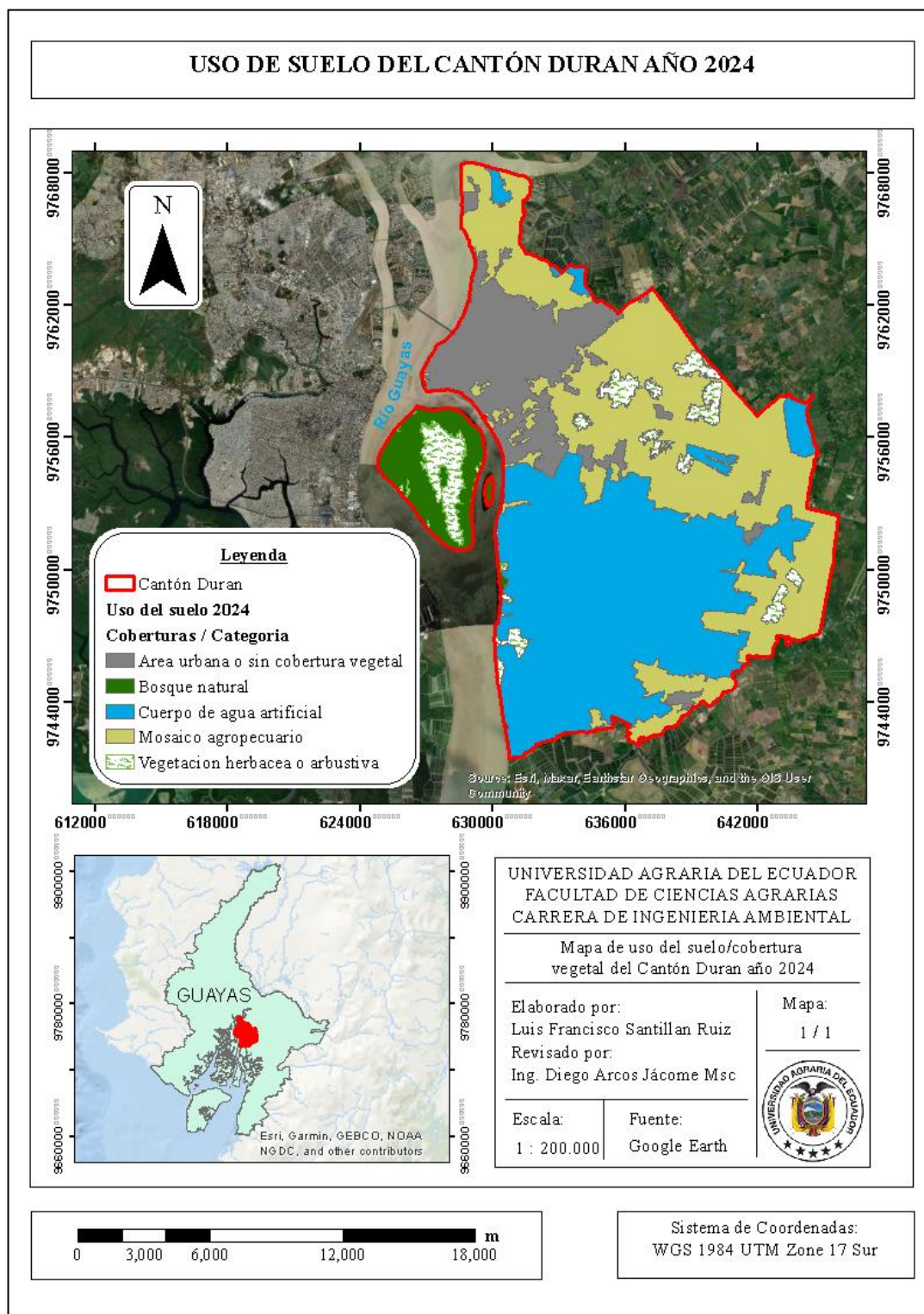
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 5.

Comparación Uso de suelo del Cantón Durán año 2014

Elaborado por: El Autor, 2025

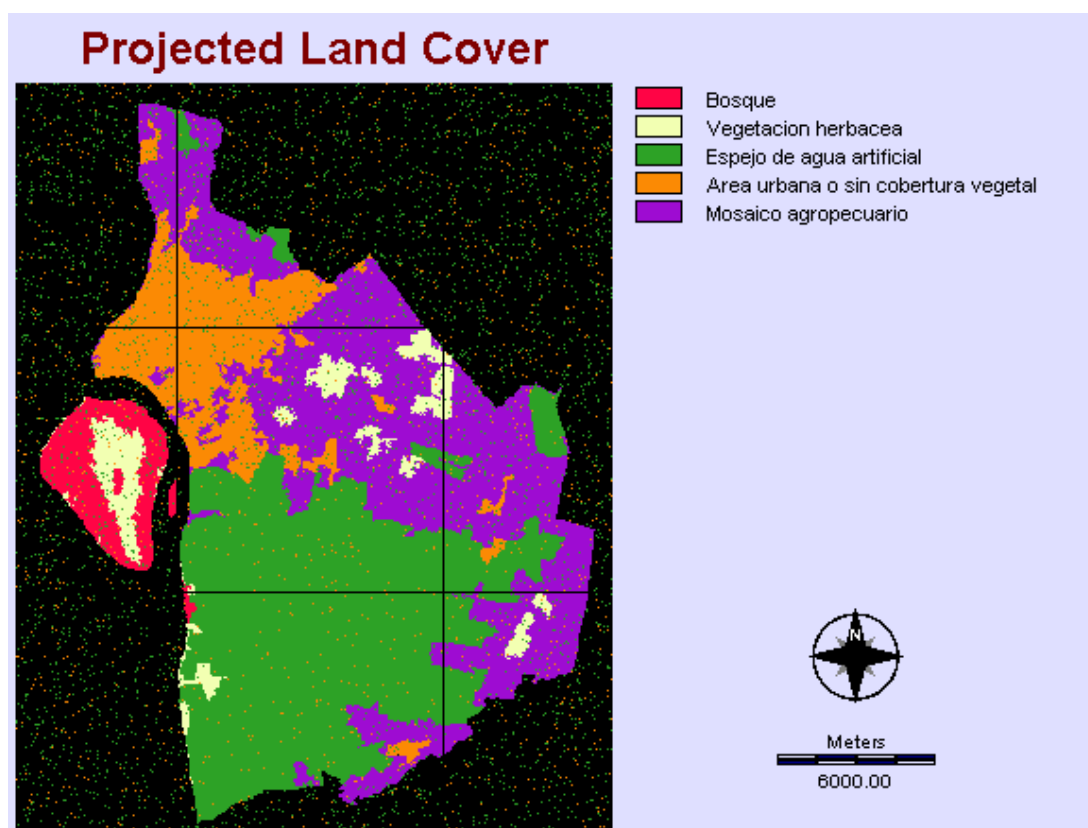
Figura 6.

Uso de suelo del Cantón Durán año 2024

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 7.

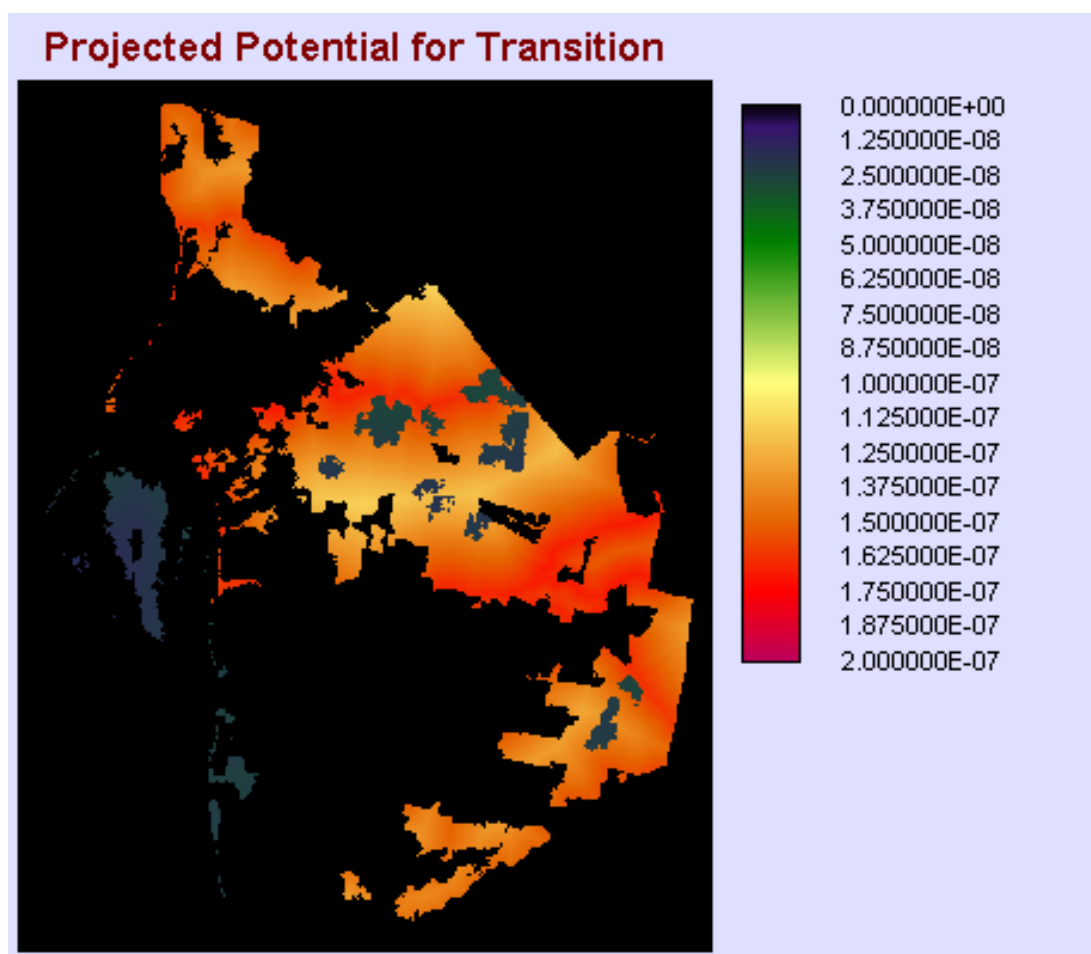
Cobertura proyectada al año 2034



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 8.

Potencial de transición proyectado para uso acuícola año 2034



Elaborado por: El Autor, 2025