



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES**

**INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN  
DEL MEDIO AMBIENTE**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA  
SUPERFICIE OCUPADA POR LA CRÍA DE  
CAMARÓN (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) EN LOS  
MANGLARES DEL ARCHIPIÉLAGO DE JAMBELÍ,  
CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO,  
ECUADOR**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
**INGENIERO EN MANEJO Y  
CONSERVACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**AUTOR:**

Diego Stalin Flores Aguilar

**DIRECTOR:**

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg, Sc.

**LOJA-ECUADOR**

**2019**



**CERTIFICACIÓN**

Ing. Oscar Juela Sivisaca Mg, Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de Director de la tesis titulada **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LA CRÍA DE CAMARÓN (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) EN LOS MANGLARES DEL ARCHIPIÉLAGO DE JAMBELÍ, CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR**, de autoría del señor egresado **Diego Stalin Flores Aguilar**, portador de cedula de ciudadanía No. 1104976962, **CERTIFICO** que la tesis ha sido debidamente revisada y corregida, cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido, por lo que autorizo su presentación para que el Sr. Flores continúe con el proceso que corresponda.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente documento en lo que considere pertinente.

Loja, 6 de septiembre de 2019

Atentamente,

Ing. Oscar Juela Sivisaca Mg, Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**



**CERTIFICACIÓN**

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LA CRÍA DE CAMARÓN (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) EN LOS MANGLARES DEL ARCHIPIÉLAGO DE JAMBELÍ, CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR** de autoría del Sr. Egresado Diego Stalin Flores Aguilar de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto, autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión.

Loja, 6 de septiembre de 2019

Atentamente:

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg, Sc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg, Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg, Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**



## **AUTORÍA**

Yo, Diego Stalin Flores Aguilar, declaro ser autor de la presente tesis titulada **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LA CRÍA DE CAMARÓN (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) EN LOS MANGLARES DEL ARCHIPIÉLAGO DE JAMBELÍ, CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

.....

Diego Stalin Flores Aguilar

C.I.: 1104976962

Loja, 6 de septiembre de 2019



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA  
LA CONSULTA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Diego Stalin Flores Aguilar, declaro ser autor de la presente tesis titulada **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LA CRÍA DE CAMARÓN (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) EN LOS MANGLARES DEL ARCHIPIÉLAGO DE JAMBELÍ, CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR**, como requisito para optar al grado de: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los nueve días del mes de septiembre de dos mil diecinueve, firma el autor.

**Firma:** ..... 

**Autor:** Diego Stalin Flores Aguilar

**Número de Cédula:** 1104976962

**Dirección:** Loja, Ciudadela Los Ciprés, Calle Cbo. Luis Sarango y Galileo Galilei

**Correo electrónico:** dsfloresa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0986302439

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Oscar Lenin Juera Sivilaca Mg. Sc

**Tribunal de Grado:** Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg, Sc.

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg, Sc.

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg, Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Madre y Padre, que son las personas que me dieron la vida, me han cuidado y guiado desde mi niñez.

A mis queridos hermanos Luis y Katty

A mi familia por su apoyo moral.

Al Ing. Oscar Juera Mg, Sc, por su total compromiso como educador en mi etapa de estudiante y como un excelente guía en el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Loja, por las enseñanzas recibidas y por ser la etapa más feliz de mi vida.

A mis amigos por todos los buenos momentos vividos.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres José Luis y Elida, que son la figura más importante de mi existencia, ellos me dieron la vida, amor, educación, consejos, supieron formarme como una persona de bien, preparada para los retos que pone la vida.

A mis hermanos Luis y Katty que siempre me han brindado su apoyo incondicional en todo momento, me han profesado cariño, amor y respeto, juntos hemos compartido los mejores momentos de mi vida.

A mis amigos incondicionales, que son la familia que yo elegí en la vida, gracias a su amistad y sus consejos he alcanzado todas mis metas, ustedes son testigos y parte de mis éxitos.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Manglares.....	3
2.2. Impacto ambiental debido al cultivo de camarón en manglares .....	3
2.3. Cambio de uso del suelo .....	4
2.4. Análisis del cambio de uso de suelo aplicando teledetección.....	4
2.5. Teledetección .....	5
2.6. Elementos de teledetección.....	5
2.7. Imagen satelital .....	6
2.8. Correcciones básicas de imágenes satelitales .....	6
2.9. Imágenes satelitales landsat .....	6
2.10. Análisis multitemporal.....	7
2.11. Clasificación supervisada .....	8
2.11.1. Algoritmos de clasificación.....	8
2.12. Matriz de Confusión .....	9
3. METODOLOGÍA .....	11
3.1. Descripción del área de estudio .....	11
3.2. Métodos .....	12
3.3. Alcance de la investigación .....	12
3.4. Diseño de investigación.....	13
3.5. Generación de mapas de cambios de uso del suelo de los años, 1985, 1997, 2003 y 2016 en los en los manglares del Archipiélago de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, utilizando herramientas de teledetección y SIG.....	13

3.6. Cuantificación del cambio de uso del suelo en los manglares del Archipiélago de Jambelí, con énfasis en el cultivo de camarón.....	16
4. RESULTADOS .....	19
4.1. Mapas de cambios de uso del suelo de los años, 1985, 1997, 2003 y 2016 en los manglares del Archipiélago de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, utilizando herramientas de teledetección y SIG. ....	19
4.2. Cuantificación del cambio de uso del suelo en los manglares del Archipiélago de Jambelí, con énfasis en el cultivo de camarón.....	23
5. DISCUSIÓN .....	28
5.1. Manglares.....	29
5.2. Camaroneras .....	30
5.3. Suelo Desnudo .....	31
5.4. Relación Manglares, Camaroneras y Suelo Desnudo .....	33
5.5. Aspectos relativos al manglar y validación de resultados .....	33
6. CONCLUSIONES .....	35
7. RECOMENDACIONES.....	36
8. BIBLIOGRAFÍA .....	37
9. ANEXOS .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.Resoluciones espaciales y radiométricas de las bandas de los sensores de Landsat. .....	7
Tabla 2.Imágenes Landsat de 1986, 1997, 2003 y 2016. ....	14
Tabla 3.Clases de uso del suelo establecidas para la clasificación de imágenes del satelitales en el Archipiélago de Jambelí. ....	15
Tabla 4.Clases de coberturas empleadas por el MAE y MAGAP nivel I y II. ....	16
Tabla 5.Matriz de cuantificación del cambio de uso del suelo. ....	17
Tabla 6.Estructura de la matriz de confusión. ....	17
Tabla 7.Valores del índice kappa. ....	18
Tabla 8.Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 1985. .	20
Tabla 9.Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 1997. .	21
Tabla 10.Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 2003.	22
Tabla 11.Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 2016.	23
Tabla 12.Resumen de Áreas Clasificadas (ha/%). ....	24
Tabla 13.Grado de fiabilidad Global y Kappa de las Clasificaciones. ....	24
Tabla 14.Validación de resultados correspondiente al año 1985. ....	25
Tabla 15.Validación de resultados correspondiente al año 1997. ....	25
Tabla 16.Validación de resultados correspondiente al año 2003. ....	26
Tabla 17.Validación de resultados correspondiente al año 2016. ....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Mapa base del Archipiélago de Jambelí, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro .....	11
Figura 2. Esquema que representa la metodología general del estudio.....	12
Figura 3. Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 1985. ....	19
Figura 4. Mapa de uso del suelo del Archipiélago de Jambelí año 1997. ....	20
Figura 5. Mapa de uso del suelo del Archipiélago de Jambelí año 2003. ....	21
Figura 6. Mapa de uso del suelo del Archipiélago de Jambelí año 2016. ....	22

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Total de áreas de manglar en el transcurso del tiempo .....	44
Anexo 2. Total de áreas de camaroneras en el transcurso del tiempo .....	44
Anexo 3. Total de áreas de suelo desnudo en el transcurso del tiempo .....	44
Anexo 4. Mapa de uso de Suelo del Archipiélago de Jambelí año 1985 .....	45
Anexo 5. Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 1997 .....	46
Anexo 6. Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 2003 .....	47
Anexo 7. Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 2016 .....	48

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LA  
CRÍA DE CAMARÓN (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) EN LOS MANGLARES  
DEL ARCHIPIÉLAGO DE JAMBELÍ, CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA  
DE EL ORO, ECUADOR**

## RESUMEN

Esta investigación permitió hacer un estudio de la alteración del manglar por actividades antrópicas, principalmente por la implementación de camaroneras, que producen cambios significativos en el uso del suelo. Para ello se ha realizado un análisis multitemporal de imágenes Landsat, en un período de 31 años (1985 - 2016), haciendo énfasis en las coberturas de manglares y camaroneras. En este proceso se empleó el uso de técnicas de Teledetección, que consistió en la corrección y clasificación de cuatro imágenes satelitales correspondientes a los años 1985, 1997, 2003 y 2016 con los programas GRASS-QGIS, generando mapas de cobertura del suelo. En el análisis se utilizó el método de clasificación supervisada, con el fin de determinar las áreas que han sufrido cambios en las distintas coberturas. Para la validación de los resultados se realizó un análisis estadístico simple, que consistió en determinar los porcentajes de fiabilidad de usuario y productor, mediante la aplicación de la matriz de confusión, además de calcular el índice Kappa.

La cartografía temática generada y los resultados obtenidos afirman que los manglares en el año 1986 ocuparon 12 522,44 ha de la superficie total (28 673,23 ha), disminuyendo considerablemente en el año 1997, hasta alcanzar 6 921,93 ha, principalmente por la implementación de camaroneras, que paralelamente fueron creciendo en extensión con 7 617,89 ha en el año 1986 y 7 775,52 ha en 1997 del total de la superficie. Para el año 2003 los manglares poseen 7 137,17 ha, debido a su regeneración natural, que se dio por el abandono de camaroneras, que fueron afectadas por los síndromes de Taura y Mancha Blanca a finales de 1997, con repercusiones en el año 2003, disminuyendo su extensión a 7 566,40 ha. Finalmente en el año 2016 el ecosistema manglar tiene 8 468,94 ha, indicado que se ha repoblado en otras coberturas, donde antes existían camaroneras, de igual manera las camaroneras se han extendido en zonas que ya pasaron su periodo de regeneración ecológica, teniendo 7 948,09 ha del total del área de estudio.

**Palabras clave:** Análisis multitemporal, Cambio de cobertura del suelo, Teledetección, Manglares, Camaroneras.

## ABSTRACT

This research work allowed me to do a study of the alteration about mangrove by anthropic activities, mainly due to the implementation of shrimp farms, which produce significant changes in the use of land. For that reason, it has been carried out a multitemporal analysis of landsat images over a period of 31 years (1985-2016), making emphasis on mangrove and shrimp coverages. In this process the use of remote sensing techniques was applied, which consisted in the correction and classification of four satellite images corresponding to the years 1985, 1997, 2003 and 2016 with the GRASS-QGIS programs; which are generating coverage maps about the land. On the other hand, the supervised classification method was used in the analysis, in order to determine the areas which have suffered changes in the different coverages. For the validation of the results, a simple statistical analysis was performed, which consisted to determine the percentages of user and producer reliability, through the confusion matrix, moreover to calculate the Kappa index.

The cartography and the results obtained indicate that the mangroves in 1986 occupied 12 522,44 ha of the total area, likewise (28 673,23 ha) has decreased considerably in 1997, reaching 6 921,93 ha mainly due to the implementation of shrimp farms, which were growing in extension with 7 617,89 ha in 1986 and 7 775,52 ha in 1997 of the total area. By 2003, mangroves have 7 137,17 ha, due to their natural regeneration, which occurred due to the abandonment of shrimp farms, which were affected by the Taura and Mancha Blanca syndromes at the end of 1997, with repercussions in 2003, decreasing its extension to 7 566,40 ha.

**Key words:** Multitemporal analysis, Changes in the use of land, Remote sensing, Mangroves, Shrimp farms.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas tres décadas, la industria del cultivo del camarón se ha expandido de manera exponencial en las costas tropicales y subtropicales (Berlanga, Ruiz, Bocco, y Vekerdy, 2011). Según la FAO, (2018) la producción anual global del camarón aumentó de 213 600 t en el año 1985 a 3 399 105 t en 2011, con un valor de unos 14 mil millones de dólares. Actualmente, se estima que entre 1 y 1,5 millones de hectáreas a lo largo de las costas del mundo, están cubiertas por algún tipo de granja camaronera (Arcentales, 2019). Esta expansión ha sido acompañada por un intenso debate sobre sus impactos ambientales, económicos y sociales, en especial la pérdida de humedales (Berlanga *et al.*, 2011).

La industria camaronera comienza en el Ecuador a finales de la década de los sesenta, explotando los manglares y convirtiéndose en un negocio muy rentable (Bravo, 2004; Quezada, 2018). En los ochenta esta actividad creció violentamente y en 1987 Ecuador fue el primer exportador de camarón del mundo (Bravo, 2004). Según Berlanga *et al.*, (2011) el proceso de explotación de manglares, no solo ha producido un intenso debate sobre los beneficios económicos, sino también sobre el alcance y la intensidad del impacto en los ecosistemas costeros, en particular los efectos de la construcción de estanques en las áreas de manglar, situación que se ve representada en el cambio de uso del suelo. Estos estanques son la principal causa de la reducción de manglares, causando impactos ambientales negativos, destacando la degradación del suelo y el cambio de su uso (Alonso, Ruiz, Turner, Berlanga, y Mitchelson, 2003).

En el Archipiélago de Jambelí, la explotación de los manglares por la cría de camarón se ha realizado sin control del estado, fomentando la exportación (Juella, Corbelle, y Cordero, 2012). Esta explotación, muy agresiva con el medio ambiente y poco sustentable, se caracteriza por el rápido agotamiento de los terrenos donde se asienta, lo que origina a mudar de zona y demandar continuamente nuevos terrenos de manglar (Juella, 2012). De esta manera, grandes superficies de manglar han sido descombradas, produciendo cambios significativos y alarmantes del uso de suelo, que se han reconocido en muchos países como una de las principales causas de deterioro ambiental (Rodríguez, Chiriboga, y Loján, 2016).

Por estas razones se plantea la siguiente interrogante; ¿Cuál ha sido la variación de la superficie ocupada por la industria del camarón (*Litopenaeus vannamei*) entre los años 1985-2016, en los manglares del Archipiélago de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, Ecuador?. El análisis multitemporal permite que la información satelital se convierta en una herramienta apropiada para dar respuesta a esta interrogante, adquiriendo datos sobre la situación actual del manglar y la cobertura del suelo. La importancia de actualizar información en forma periódica, eficaz y eficiente implica la aplicación de tecnología satelital probada en otros países (Condori, Loza, Mamani, y Solíz, 2018). Entre los que destacan el análisis multitemporal de imágenes satelitales para la detección de cambios de uso del suelo (Bedon y Pinto, 2012). De este modo se va evaluar la magnitud de los cambios de uso del suelo, aplicando distintas alternativas metodológicas, cuyos resultados sean un aporte en términos de eficacia, para la actualización de la información, que permita evaluar el comportamiento del manglar, con respecto a la implementación de camaronerías, utilizando para esto la teledetección y herramientas informáticas como los programas QGIS-GRASS.

En la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

- Determinar la variación espacio temporal de la industria camaronera (*Litopenaeus vannamei*) entre los años 1985 y 2016 en los manglares del Archipiélago de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia del Oro.

### **Objetivos específicos**

- Generar mapas de cambios de uso del suelo de los años, 1985, 1997, 2003 y 2016 en los manglares del Archipiélago de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, utilizando herramientas de teledetección y SIG.
- Cuantificar el cambio de uso del suelo en los manglares del Archipiélago de Jambelí, con énfasis en el cultivo de camarón.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Manglares**

Son especies de bosques de plantas leñosas que se desarrollan en lagunas, riberas y en costas tropicales protegidas del oleaje (Hernández, Octavio, Sánchez, y Valdez, 2016). Debido a su ubicación costera, siempre están en contacto con cuerpos de agua de origen marino, o en combinación con el agua que llega a través de escorrentías o por la desembocadura de los ríos (Bravo, 2004). Esta agrupación de árboles posee adaptaciones que les permite sobrevivir en terrenos anegados con intrusiones de agua salobre o salada (Luy, 2006). Los bosques de manglar forman ecosistemas de elevada productividad y complejidad en los bordes de los mares tropicales, y provén hábitat clave para muchas especies de animales (Yáñez, Day, Twilley, y Day, 2014). Son el hogar de mamíferos terrestres, reptiles, bandadas de aves migratorias o residentes y cardúmenes de peces que usan el fondo sumergido de los bosques de manglar como zonas de crianza y áreas de alimentación, los manglares están repletos de vida (Nagelkerken, Blaber, Bouillon, Green, y Haywood, 2008).

### **2.2. Impacto ambiental debido al cultivo de camarón en manglares**

Los procesos y funcionamientos de la acuicultura del camarón son disociadores del equilibrio de la ecología costera, además son los ecosistemas que más se han consumido, víctimas de la construcción de estanques camaroneros para su destrucción masiva en Latinoamérica y Asia (Isla, 2006).

Las principales naciones en acuicultura del camarón son: Ecuador, México y Honduras, con alrededor de 180 000, 20 000 y 14 000 hectáreas de piscinas camaroneras respectivamente, que amenazan la sustentabilidad y recaen principalmente en la ausencia de mecanismos de los gobiernos para prevenir el sobre desarrollo de la industria del camarón, no planeada ni regulada (Tobey, Clay, y Vergne, 2014).

Por otra parte el impacto ambiental ocasionado por la utilización de compuestos químicos resulta difícil de predecir, sin embargo puede ocurrir que los compuestos entren en la cadena trófica, con una posible bioacumulación en eslabones que pueden causar daño a largo plazo, por tratarse de un impacto acumulativo (Plascencia y

Bermúdez, 2012). De esta manera la contaminación biológica puede incrementar los riesgos de enfermedades para la población o las comunidades cercanas, por lo que este tipo de contaminación puede generar un impacto negativo e indirecto sobre el medio social y en otras actividades humanas (Plascencia y Bermúdez, 2012). Como en estuarios y áreas próximas a la costa, las cuales conducen a la declinación de la calidad del agua, enfermedades del camarón, conflictos entre usuarios y, finalmente, a la reducción en la productividad o al abandono de las camaroneras (Tobey *et al.*, 2014).

El nivel de degradación ambiental de cualquier ecosistema marino o terrestre, es consecuencia inevitable de la actividad humana, señalando además, que la cuestión no es cómo prevenirla o eliminarla por completo, sino cómo reducirla al mínimo o por lo menos mantenerla en un nivel congruente con los objetivos de la sociedad (Isla, 2006).

### **2.3. Cambio de uso del suelo**

A nivel mundial, regional y local existen diversos factores que influyen en el cambio del uso del suelo, como los ambientales, demográficos, económicos y socioculturales, que en su conjunto llegan a provocar un deterioro ambiental y pérdida de la diversidad biológica (López, Balderas, Chávez, Juan, y Gutiérrez, 2015). Entre ellos destacan la creciente demanda por bienes como: alimento, vivienda, agua potable y servicios ambientales, en amplias escalas geográficas, a una presión acelerada sobre los recursos naturales con grandes impactos, la mayoría de ellos negativos, sobre la estructura, funcionamiento y distribución de los mismos (Cuevas, Garrido, Pérez, y González, 2009).

### **2.4. Análisis del cambio de uso de suelo aplicando teledetección**

El desarrollo de investigaciones asociadas con los cambios ocurridos en las cubiertas terrestres y usos del suelo requiere principalmente, el uso y manipulación de distintos insumos cartográficos, sobre todo de mapas de uso de suelo y vegetación, a partir de estos, los especialistas en el área y autoridades responsables del uso y manejo de los recursos naturales, establecen e implementan políticas orientadas al aprovechamiento y conservación de los recursos, proponiendo diversos métodos y técnicas para el análisis de los cambios de uso del suelo (Camacho *et al.*, 2015). El procedimiento más confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es el estudio de

la dinámica espacio-temporal de la cubierta vegetal, o el análisis del cambio de uso, o coberturas del suelo (López *et al.*, 2015). Generalmente, los estudios sobre los procesos de cambio documentan las causas que provocan cambios de uso, los cuales se fortalecen con el uso de datos estadísticos y se sustentan en la interpretación de matrices, como la tabulación cruzada o también llamada matriz de confusión (López *et al.*, 2015).

## **2.5. Teledetección**

Conjunto de técnicas desarrolladas desde diferentes disciplinas y ciencias para obtener información geográfica de áreas extensas y a distancia, que mide la energía transportada por ondas e interpreta los cambios que han sufrido tras su interacción con el objeto, y así conocer el estado en el que se encuentra (Aguirre, 2009). Está asociada a descripciones de tipos de cobertura del suelo teniendo un enorme impacto en el desarrollo de las investigaciones ecológicas, mejorando la caracterización del paisaje y permite describir patrones espaciales de unidades ecosistémicas (Fernández y Pineiro, 2008). Entre las que destacan: distribución de tipos de vegetación, contribuyendo al conocimiento de los procesos ecológicos, como a la resolución de problemas de manejo y conservación (Cabello y Paruelo, 2008).

## **2.6. Elementos de teledetección**

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010) la percepción remota o teledetección involucra varios elementos:

- Fuente de energía, la electromagnética que provee el objeto de interés.
- Atmósfera, con este elemento la energía interactúa al viajar del sensor al objeto y viceversa.
- Objetos, es la interacción o respuesta a la energía recibida y reflejada.
- Sensor remoto, este instrumento se monta en una plataforma llamada satélite, recoge y graba la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto y la atmósfera.
- Transmisión, recepción y procesamiento, la energía grabada por el sensor se transmite a una estación receptora, en donde los datos se procesan y son convertidos a imágenes digitales.

- Interpretación y análisis, interpretar la imagen para extraer la información de los objetos captados.
- Usuario final, información extraída de las imágenes para un mejor conocimiento de los objetos de interés.

## **2.7. Imagen satelital**

Representación pictórica de la energía electromagnética registrada por un sensor y no por medios fotográficos que se toma generalmente dentro de un cierto rango del espectro (Basterra, 2011). Los satélites toman imágenes más allá de este rango limitado y las imágenes de satélite son ficheros ráster, formadas por una matriz regular o rejilla de celdas denominadas píxel y se asigna un valor digital que corresponde a la reflectividad recogida por el sensor (ESRI, 2018).

## **2.8. Correcciones básicas de imágenes satelitales**

Según Medina, (2015) “una imagen de satélite está sometido a una serie de interferencias que hacen que la información que quiere obtenerse aparezca perturbada por una serie de errores”:

- Fallos en los sensores, generan pixeles incorrectos (corrección radiométrica).
- Alteraciones en el movimiento del satélite y el mecanismo de captación en los sensores, generan distorsiones en la imagen global (corrección geométrica).
- Interferencia de la atmósfera, alteran de forma sistemática los valores de los pixeles (corrección atmosférica).

## **2.9. Imágenes satelitales landsat**

Las imágenes Landsat se caracterizan por la variedad de bandas que las componen. Estas imágenes se separan en 3 tipos: Landsat 5 (sensor TM), Landsat 7 (Sensor ETM+) y Landsat 8 (Sensor OLI y TIRS); las dos primeras poseen 7 bandas multiespectrales que van desde el visible hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas (Ariza, 2013). Sin embargo, la diferencia entre ellas radica en que las Landsat 7 poseen una banda pancromática de 15 metros y en el caso de la banda termal, aumenta la resolución de 120 a 60 metros. Cada escena cubre 180\*175 Km<sup>2</sup> (Atencia, Contreras, y Vergara, 2008). Las imágenes Landsat 8

obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9 (A. Ariza, 2013).

**Tabla 1. Resoluciones espaciales y radiométricas de las bandas de los sensores de Landsat.**

Bandas	Sensores					
	Resolución (Metros)	TM	Resolución (Metros)	ETM +	Resolución (Metros)	OLI and TIRS
<b>Banda 1</b>	30	0,45-0,52	30	0,45-0,52	30	0,43-0,45
<b>Banda 2</b>	30	0,52-0,60	30	0,53-0,61	30	0,45-0,51
<b>Banda 3</b>	30	0,63-0,69	30	0,63-0,69	30	0,53-0,59
<b>Banda 4</b>	30	0,76-0,90	30	0,78-0,90	30	0,64-0,67
<b>Banda 5</b>	30	1,55-1,75	30	1,55-1,75	30	0,85-0,88
<b>Banda 6</b>	120	10,4-12,5	30	10,4-12,5	30	1,57-1,65
<b>Banda 7</b>	30	2,08-2,35	30	2,08-2,35	30	2,11-2,29
<b>Banda 8</b>			15	0,52-0,90	15	0,50-0,68
<b>Banda 9</b>					30	1,36-1,38
<b>Banda 10</b>					100	10,60-11,19
<b>Banda 11</b>					100	11,50-12,51

Fuente: USGS GLOVIS, 2009

## 2.10. Análisis multitemporal

Permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio y propone medidas adecuadas para evitar su deterioro o asegurar su mejor conservación (Ruiz, Savé, y Herrera, 2013).

El objetivo de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas y utilizarlo para el estudio de la dinámica temporal de una determinada zona: espacios urbanos, forestales, áreas de agricultura, entre otros (Romero, 2006). También permite evaluar fenómenos como inundaciones, incendios forestales, deforestación, así como seguir la evolución de sus efectos (Chuvieco, 2008).

## 2.11. Clasificación supervisada

Comienzan a partir de una identificación inicial de cierto sector o los píxeles de la imagen que se sabe que comprenden en particular la vegetación u otros tipos de superficie de interés para el estudio en particular (Medina, 2015). Esta requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas, a través de una combinación de trabajo de campo, análisis de fotografías aéreas, mapas e informes técnicos (Almedida, 2015). Con base de este conocimiento se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento, las características espectrales de estas áreas son utilizadas para “entrenar” un algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio de entrenamiento y evaluar cada nivel digital (ND) de imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase (Posada, Ramirez, Daza, y Espejo, 2012). Es importante garantizar que los píxeles de formación elegidos son lo más homogéneos posibles, y que cada clase es claramente separable. La clasificación supervisada pretende definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral, considerada por esto como un método artificial (Medina, 2015; Posada *et al.*, 2012).

### 2.11.1. Algoritmos de clasificación

- **Máxima verosimilitud.** Se utiliza el vector de medias y la matriz de varianzas-covarianzas para estimar la probabilidad de que un pixel dado pertenezca a cada una de las clases. El pixel se asignará finalmente a la clase cuya probabilidad de pertenencia sea mayor. Una vez terminada la asignación de píxeles a las distintas clases, se pueden establecer unos umbrales de probabilidad para cada categoría, rechazando los píxeles con una probabilidad muy baja, evitando de esta manera que se clasifiquen píxeles en clases en las que realmente no pertenecen. De esta manera tendremos un número de píxeles sin clasificar, y en el caso de ser muy grande se debe retornar la fase de entrenamiento para deducir así nuevas categorías o perfeccionar las ya existentes (Chuvienco, 2010).

- **SMAP.** El algoritmo<sup>1</sup> Sequential Maximun a Posteriori (SMAP) es un método de clasificación que realiza una clasificación de los píxeles por regiones, en este sentido se puede considerar también un método de segmentación (Espín, Gomariz, Cánovas, y Alonso, 2015). Se parte del supuesto de que las celdillas que se encuentran cercanas en una imagen pertenecen a la misma clase, por lo que trabaja fraccionando la imagen en varias resoluciones. El resultado final es un mapa de usos del suelo con polígonos más grandes y homogéneos (Espín *et al.*, 2015).
- **MaxLik.** El algoritmo Maximum Likelihood (MaxLik) utiliza el método de máxima verosimilitud para clasificar las imágenes de satélite. Puede ser utilizado para llevar a cabo el segundo paso en el proceso de clasificación tanto si se lleva a cabo clasificación supervisada como no supervisada. En el caso de clasificación supervisada el algoritmo de máxima verosimilitud utiliza las medias y matrices de covarianza de las signaturas espectrales generadas a partir de áreas de entrenamiento. El resultado de maxlik es una imagen clasificada en que se asigna a cada celdilla una clase espectral (categoría). Las clases espectrales deben poder relacionarse posteriormente con clases informacionales (Lizarazo, 2013).

## 2.12. Matriz de Confusión

Las matrices de confusión son la forma más usual y estándar de informar sobre la exactitud temática de productos derivados de la clasificación de datos procedentes de imágenes. En este marco, son ampliamente utilizados dos índices: el porcentaje de acuerdo y el índice Kappa (Ariza, Rodríguez, y Fernández, 2018). Esta herramienta puede ser utilizada para evaluación de la calidad temática de cualquier tipo de dato espacial (parcelas catastrales, cubiertas vegetales, red viaria, base de datos topográfica, etc.). La matriz es reconocida en la Norma Internacional ISO 19157, relativa a la calidad de la información geográfica, como un mecanismo para ofrecer los resultados

---

<sup>1</sup> **Algoritmo:** Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema (RAE, 2018)

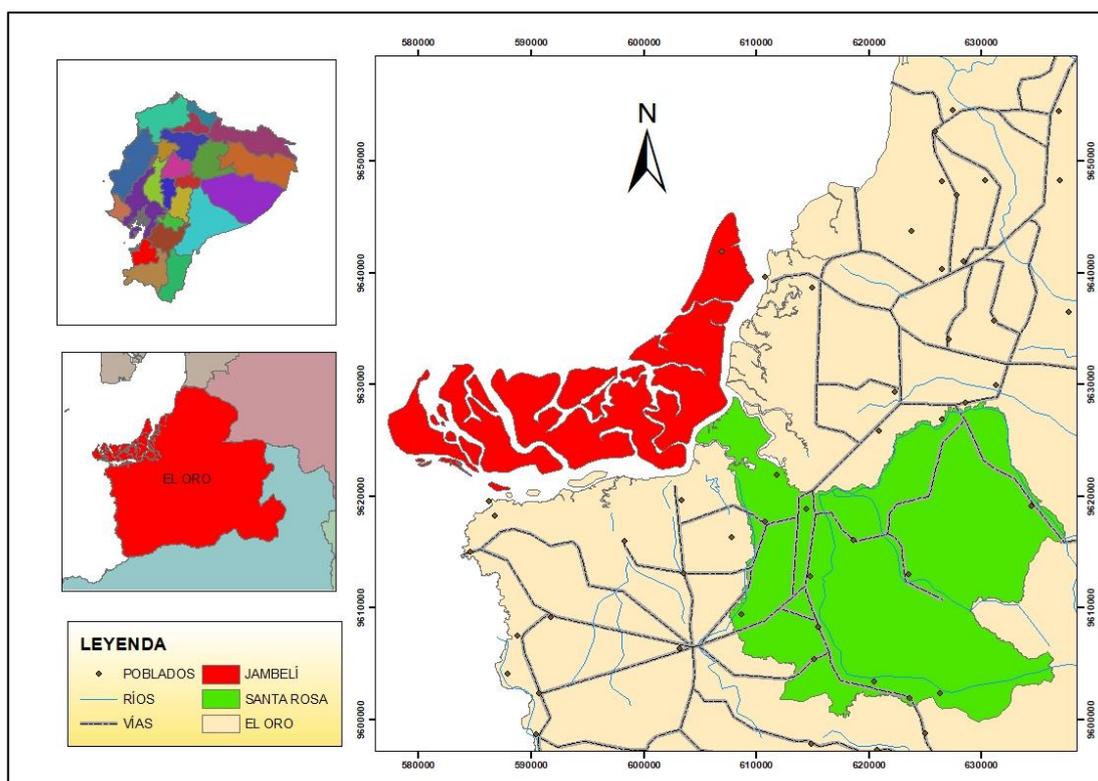
de la calidad temática de productos vectoriales o derivados de imágenes (clasificación de una imagen) (Mas, Diaz, y Pérez, 2003).

El contenido de una matriz de confusión es un conjunto de valores que contabilizan el grado de semejanza entre observaciones emparejadas: un conjunto de datos bajo control (CDC) y un conjunto de datos de referencia (CDR), para los que se ha establecido una clasificación. Usualmente el CDR es la verdad terreno, es decir, la realidad. La matriz de confusión puede construirse a partir de píxeles, agrupaciones de píxeles o cualquier tipo de objeto geográfico (polígonos). Con independencia de su tipología, los elementos del CDC se comparan con sus homólogos en el CDR (Ariza *et al.*, 2018; Sánchez, 2016).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El Archipiélago de Jambelí está ubicado al occidente de Santa Rosa con una extensión de 251 km<sup>2</sup> y rango altitud de 1 - 7 msnm (Figura 1), separado del continente por un amplio canal, que en su recorrido va tomando los nombres de canal de Capones, estero Grande y estero Santa Rosa. Cinco canales menores atraviesan perpendicularmente el archipiélago, conectando el canal principal y el golfo de Guayaquil. El Archipiélago limita al norte con Océano Pacífico, al sur con Arenillas, Huaquillas y Perú, al este con Machala y Santa Rosa y al oeste con el Océano Pacífico. Se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas geográficas la latitud 03° 12' y 03° 26' S y longitud 80° 05' y 80° 18' O (Gordillo, Quezada, y Brito, 2015). Por su ubicación y características geográficas, el suelo del Archipiélago es plano y salitroso con manglar existente en sus costas, en su mayoría destinado a la producción de camarón en cautiverio. La temperatura oscila entre los 24 y 26 ° C, con una precipitación entre los 500 y 1000 mm del total anual (Gordillo *et al.*, 2015).

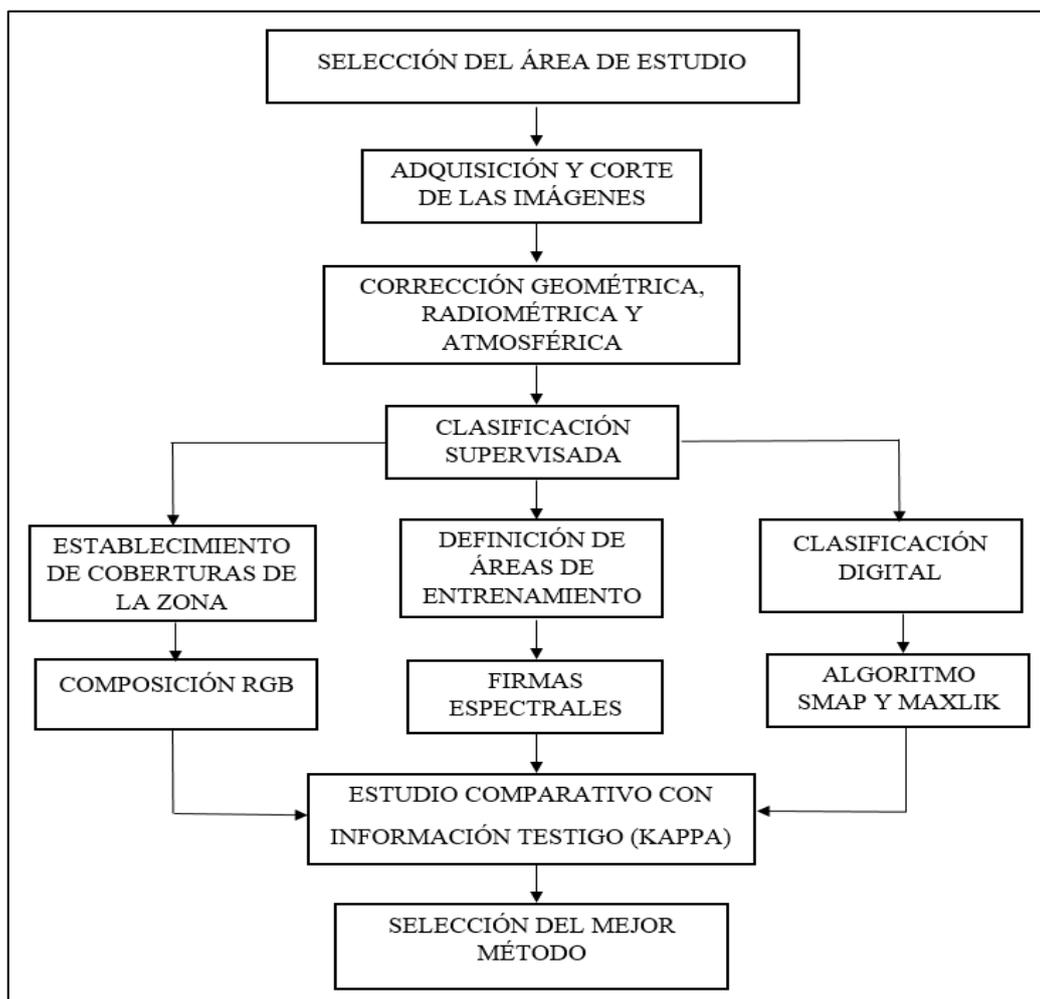


**Figura 1.** Mapa base del Archipiélago de Jambelí, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2. Métodos

La metodología planteada permitió obtener los resultados propuestos por cada objetivo específico, desde el tratamiento de imágenes satelitales, hasta la clasificación supervisada mediante algoritmos que determinaron los cambios de uso del suelo. La metodología que se aplicó, se esquematiza en la siguiente figura:



**Figura 2.** Esquema que representa la metodología general del estudio.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3. Alcance de la investigación

Es de carácter descriptivo – analítico. Descriptivo porque detalla datos y características del fenómeno ya estudiado y su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables

(Monje, 2011). Los datos obtenidos de la zona de estudio, exponen y resumen la información de manera cuidadosa, luego se analizó minuciosamente los resultados extrayendo generalizaciones significativas sobre la cobertura actual del suelo a causa de la producción camaronera del archipiélago de Jambelí, que contribuyen al conocimiento.

Presentó un carácter analítico por la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos, en este caso los diferentes tipos de coberturas (Ruiz, 2007). Este método nos permitió conocer más el área de estudio por la cuantificación de las diferentes coberturas, sustituidas por la implementación y producción de camaroneras, esto a partir de los mapas de cambio de uso de suelo ya generados en los programas: GRASS y QGIS.

### **3.4. Diseño de investigación**

Presentó un diseño no experimental longitudinal que se realizó sin manipular deliberadamente variables (Escamilla, 2015). Se basó fundamentalmente en la observación, categorización y análisis de sucesos que ya ocurrieron tal y como se dan en su contexto natural, siendo analizados conforme a la información histórica adquirida de imágenes satelitales por medio de la misión Landsat 5, 7 y 8 correspondiente a los años 1985, 1997, 2003 y 2016, recolectando datos, y así se estableció relaciones entre variables e inferencias respecto al cambio de cobertura, sus determinantes y consecuencias.

### **3.5. Generación de mapas de cambios de uso del suelo de los años, 1985, 1997, 2003 y 2016 en los manglares del Archipiélago de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, utilizando herramientas de teledetección y SIG.**

#### **a. Recopilación de la Información**

- Se descargaron imágenes satelitales de los años 1985, 1997, 2003 y 2016 de la base de datos del Servicio Geológico de Estado Unidos (USGS) en la página web “science for changing world” <http://glovis.usgs.gov/>, (Tabla 2). Es importante señalar que no se obtuvo imágenes Landsat del año 2006 y 2018,

porque presentaban gran nubosidad y ruido dentro de la zona de estudio, por lo que se tomaron imágenes de años cercanos, en este caso 2003 y 2016.

- La información cartográfica complementaria se recopiló en el Sistema de Información Nacional, Instituto Geográfico Militar, PDOT del Archipelago de Jambelí y el Centro de Investigaciones Territoriales “CIT” de la Universidad Nacional de Loja.

**Tabla 2. Imágenes Landsat de 1986, 1997, 2003 y 2016.**

<b>Nombre</b>	<b>Año</b>
LT05_L1TP_011062_19850327_20170219_01_T1	1985
LT05_L1TP_011062_19971006_20161229_01_T1	1997
LE07_L1TP_011062_20030508_20170125_01_T1	2003
LC08_L1TP_011062_20161010_20170320_01_T1	2016

**Nota.** Las imágenes corresponden al periodo seco del Archipiélago de Jambelí. Elaboración propia

**b. Preparación de las imágenes satelitales: correcciones y realces**

**- Correcciones**

Para rectificar las imágenes satelitales, se tomó en cuenta el porcentaje de nubes, problemas de bandas, píxeles perdidos, ruido, entre otros, y se procedió a realizar correcciones de tipo geométrica, radiométrica y atmosférica (Ambrosio, González, y Arévalo, 2005). Con estos procesos se eliminó anomalías detectadas en la imagen, ya sea en su localización, o en la radiometría de los píxeles que la componen (Karszenbaum, 2005). Estos procedimientos fueron realizados en el software de acceso libre GRASS.

**- Realces**

Se realizó un realce de las imágenes mediante la composición de las mismas para mejorar el componente visual, muy importante en la clasificación de las distintas coberturas de la zona de estudio. La combinación de imágenes satelitales permitió analizar la cobertura de la superficie terrestre en función de su espectro de emisión (Labrador, Évora, y Arbelo, 2012). Gracias a las distintas bandas multiespectrales de los satélites, se interpretó aspectos como; la vegetación, los usos del suelo o las masas de agua. Combinaciones específicas RGB mostraron y discriminaron los elementos de las imágenes satelitales de forma rápida, dando como resultado imágenes en color

natural o falso color, realizando elementos muy concretos (manglares-camaroneras) que fueron estudiados y analizados con el software GRASS.

**c. Clasificación digital de las imágenes satelitales**

- Las clases de cobertura vegetal y uso de suelo se establecieron a partir de la adaptación del protocolo metodológico para elaborar mapas de cobertura y uso de suelo de tierra de Ecuador Continental del MAE 2015, en los niveles I y II (Tabla 3 y 4), e información secundaria del PDOT del Archipiélago de Jambelí con ayuda de archivos geográficos correspondientes al uso del suelo del sector.
- Se procedió a delimitar las áreas de entrenamiento, tomando en consideración las distintas clases que correspondan a cubiertas homogéneas en el área de estudio, utilizando la interfaz gráfica de Quantum GIS.
- Para la clasificación supervisada, se utilizó el software Grass, que generó un grupo de imágenes con las bandas landsat, usando el módulo “i.group”. A partir del grupo de imágenes y las áreas de entrenamiento, se generó el archivo de respuesta espectral de las diferentes clases, utilizando el módulo “i.gensigset” y como último paso se ejecutaron los algoritmos de clasificación: i.maxlik y i.smap, Finalmente se consideró la mejor clasificación, comparando de manera visual la imagen Landsat original con la clasificación.

**Tabla 3. Clases de uso del suelo establecidas para la clasificación de imágenes del satelitales en el Archipiélago de Jambelí.**

Cobertura			
Nivel I	Nivel II	Área de trabajo	Código
Bosque	Bosque Nativo	Manglar	M
Tierra Agropecuaria	Pastizal	Pastizal	P
Cuerpo de Agua	Natural	Aguas Costeras	Ac
	Artificial	Camaroneras	C
Otras tierras	Áreas sin Cobertura Vegetal	Suelo Desnudo	Sd
	Sin información	Nube	N

**Nota.** Las clases de uso del suelo están establecidas de acuerdo al nivel II del protocolo del MAE-MAGAP y al plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Jambelí 2015. Elaboración propia.

**Tabla 4. Clases de coberturas empleadas por el MAE y MAGAP nivel I y II.**

Cobertura	
Nivel I	Nivel II
Bosque	Bosque Nativo
	Plantación Forestal
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual
	Cultivo Semipermanente
	Pastizal
	Mosaico Agropecuario
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva
	Vegetación Herbácea
	Páramo
Cuerpo de Agua	Natural
	Artificial
Zonas Antrópicas	Área Poblada
	Infraestructura
Otras tierras	Glaciar
	Áreas sin Cobertura Vegetal
Sin información	Sin información

**Fuente:** MAE- MAGAP, (2015).

### **3.6. Cuantificación del cambio de uso del suelo en los manglares del Archipiélago de Jambelí, con énfasis en el cultivo de camarón.**

#### **a. Detección de cambios en el uso del suelo**

Se trabajó con las imágenes clasificadas anteriormente entre los años (1985 -2016). El enfoque de esta investigación estuvo orientado a evaluar lo que ha pasado con cada clase de vegetación o uso de suelo, para ello se seleccionó la matriz de cambios, construida a partir de los mapas temáticos elaborados previamente mediante la clasificación supervisada (Camacho *et al.*, 2015).

Este proceso se lo realizó en el software QGIS. La información se ordenará en la siguiente matriz:

**Tabla 5. Matriz de cuantificación del cambio de uso del suelo.**

N°	Uso del suelo	Periodo 1		Periodo 2		Periodo n	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Manglar						
2	Camaroneras						
3	Suelo Desnudo	P1	$(P1 / \Sigma P1) * 100$	P2	$(P2 / \Sigma P2) * 100$	Pn	$(Pn / \Sigma Pn) * 100$
4	Pastizal						
5	Aguas Costeras						
6	Nubes						
<b>Total</b>		$\Sigma P1$		$\Sigma P2$		$\Sigma Pn$	

**Fuente:** Modificado a partir de Alvarez, Veliz, Muñoz, y Aguirre, (2015).

### b. Validación de resultados

La calidad final de los resultados de la clasificación de las imágenes, fue evaluada por el procedimiento de matriz de confusión (Tabla 5) (Chuvienco, 2010), para lo cual se tomó 100 puntos aleatoriamente, repartidos en cada una de las clases, por cada imagen clasificada, el proceso de asignación de puntos a cada una de las clases se lo realizó de manera manual, y los valores obtenidos se los comparó con los resultados de cada clasificación.

**Tabla 6. Estructura de la matriz de confusión.**

Referencia							
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total	Exactitud usuario	Error comisión
Clase 1	$X_{11}$				$X_{1+}$	$X_{11}/X_{1+}$	$1-X_{11}/1+$
Clase 2		$X_{22}$			$X_{2+}$	$X_{22}/X_{2+}$	$1-X_{22}/2+$
Clase 3			$X_{33}$		$X_{3+}$	$X_{33}/X_{3+}$	$1-X_{33}/3+$
Clase n				$X_{nn}$	$X_{n+}$	$X_{nn}/X_{n+}$	$1-X_{nn}/n+$
Total	$X_{+1}$	$X_{+2}$	$X_{+3}$	$X_{+n}$	$\Sigma X_{ij}$		
Exactitud productor	$X_{11}/X_{+1}$	$X_{22}/X_{+2}$	$X_{33}/X_{+3}$	$X_{nn}/X_{+n}$			
Error omisión	$1-X_{11}/X_{+1}$	$1-X_{22}/X_{+2}$	$1-X_{33}/X_{+3}$	$1-X_{nn}/X_{+n}$			

**Fuente:** Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio Chuvienco. 2008.

A partir de esta matriz se generó el porcentaje de exactitud global y el índice Kappa que indicó el grado de exactitud de la clasificación (IEE-MAGAP, 2015). De este modo, el índice Kappa evaluó el grado de discriminación de las categorías en las clasificaciones (Alvarez *et al.*, 2015).

Su uso está muy extendido y se utiliza fundamentalmente para control de calidad en procesos de clasificación temática por teledetección, fotointerpretación, etc. Los valores varían entre 0 y 1 representando el valor 1 como muy satisfactorio y el 0 como pobre. Estos indicadores permitieron la evaluación cuantitativa de la precisión alcanzada por la clasificación supervisada en los cambios de uso del suelo estudiados en esta investigación.

A continuación, se presentan los valores que indican el porcentaje de confiabilidad según el índice de kappa.

**Tabla 7. Valores del índice kappa.**

<b>Valor de k</b>	<b>Fuerza de concordancia</b>
< 0,20	Pobre
0,21 – 0,40	Débil
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Buena
0,81 – 1,00	Muy buena

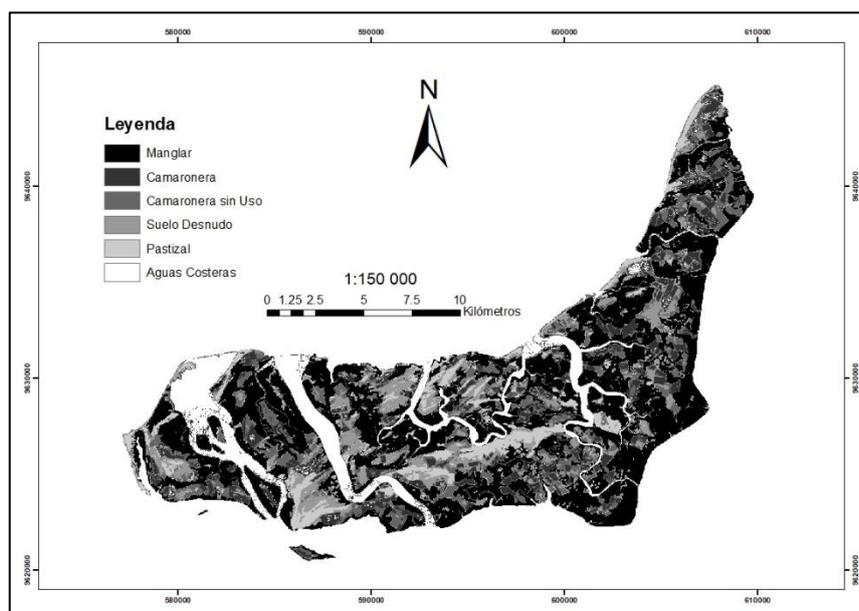
**Fuente:** (Sánchez, 2016)

#### 4. RESULTADOS

Se obtuvieron cuatro mapas mediante clasificación supervisada, que permitieron interpretar el análisis de los cambios de uso del suelo de los años 1985-1997-2003 y 2016. A continuación, los resultados se han descrito y representado en figuras y tablas, como se presenta a continuación:

##### 4.1. Mapas de cambios de uso del suelo de los años, 1985, 1997, 2003 y 2016 en los manglares del Archipiélago de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, utilizando herramientas de teledetección y SIG.

Generados los mapas correspondientes a los cuatro periodos estudiados, se identificaron los tipos de cobertura que existen en la zona, con particular énfasis en los manglares y camaroneras. Es importante mencionar que las clasificaciones cumplieron con porcentaje de nubosidad inferior al 20%. Se usaron dos algoritmos; i.maxlik y i.smap, con el fin de contrastar visualmente la información. Se escogió el mejor resultado para las cuatro imágenes, que en esta investigación corresponden al algoritmo “i.maxlik”.



*Figura 3.* Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 1985.

**Fuente:** Elaboración propia.

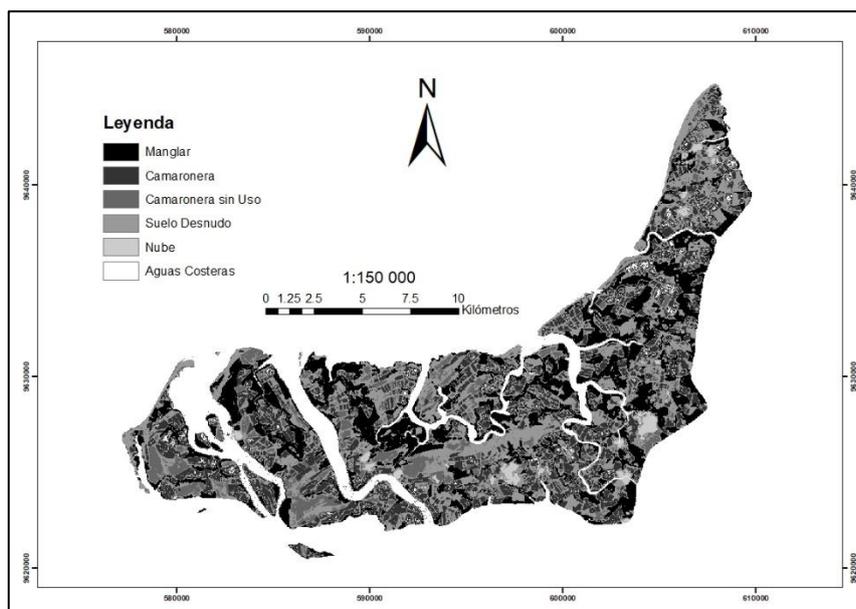
Se observa (Figura 3) la dinámica del área de estudio en sus diferentes coberturas. Las coberturas con mayor representatividad corresponden a manglares que tiene una extensión positiva en todo el archipiélago, y camaroneras listas para su funcionamiento y producción masiva. A continuación (Tabla 7), se describen las áreas que se han obtenido en cada una de las coberturas:

**Tabla 8.** Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 1985.

Código	Cobertura	Área(ha)	%
M	<b>Manglar</b>	12 522,44	43,67
C	<b>Camaroneras</b>	7 617,89	26,57
Sd	<b>Suelo desnudo</b>	2 509,64	8,75
P	<b>Pastizal</b>	2 864,99	9,99
Ac	<b>Aguas costeras</b>	3 158,27	11,02
N	<b>Nubes</b>	-	-
	<b>Total</b>	28 673,23	100,00

**Fuente:** Elaboración propia.

Es importante mencionar que existen otras coberturas que han desplazado a los manglares como resultado de la dinámica del desarrollo del archipiélago, lo cual se refleja en suelo desnudo y pastizal dado por el crecimiento del casco urbano y actividades antropogénicas.



**Figura 4.** Mapa de uso del suelo del Archipiélago de Jambelí año 1997

**Fuente:** Elaboración propia.

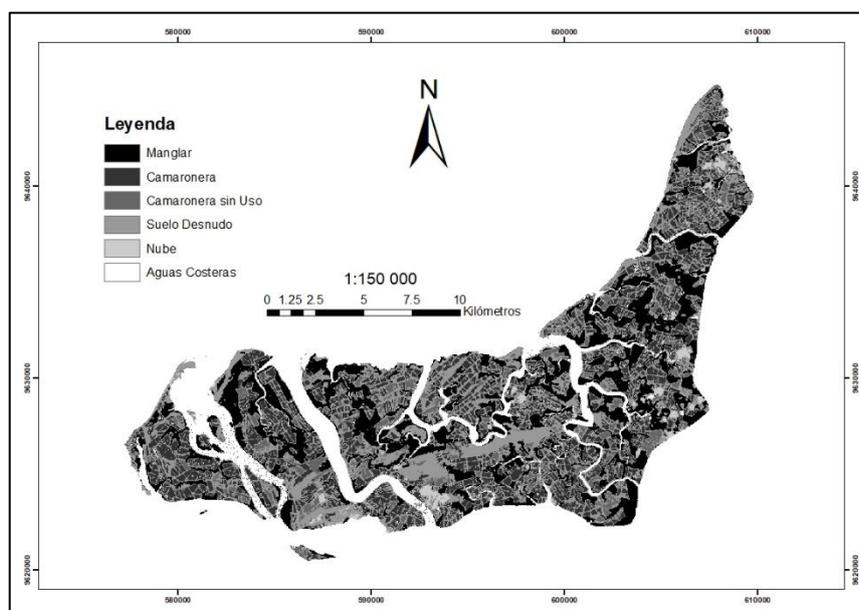
Gráficamente se visualiza (Figura 4) que existe una reducción considerable del ecosistema manglar y un incremento de camaroneras en toda la zona de estudio. A continuación (Tabla 9), se describen las áreas que se han obtenido en cada una de las coberturas.

**Tabla 9.** Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 1997.

Código	Cobertura	Área (ha)	%
M	Manglar	6 921,93	24,14
C	Camaroneras	7 775,52	27,12
Sd	Suelo desnudo	9 739,27	33,97
P	Pastizal	-	-
Ac	Aguas costeras	3 820,09	13,32
N	Nubes	416,42	1,45
	<b>Total</b>	<b>28 673,23</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Adicionalmente es importante resaltar que la mayor ganancia se presenta en la cobertura de suelo desnudo, relacionada con la pérdida de manglar y abandono de camaroneras, lo que interfiere en la dinámica ecológica de este ecosistema afectando la interacción de componentes bióticos y abióticos, para proveer servicios ambientales y mantener la biodiversidad de este territorio.



**Figura 5.** Mapa de uso del suelo del Archipiélago de Jambelí año 2003.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se visualiza (Figura 5) que existe un aumento mínimo positivo de los manglares y una reducción considerable de camaronerías.

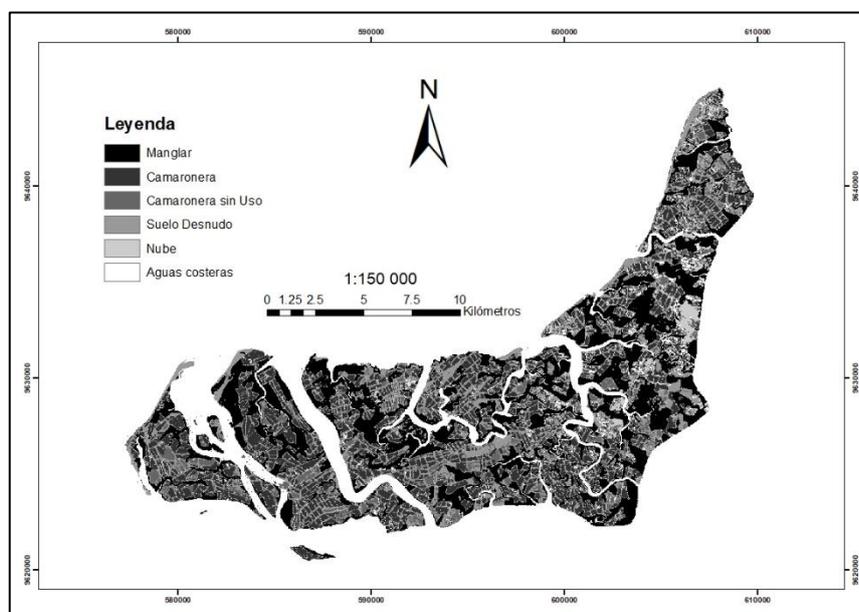
A continuación (Tabla 10), se describen las áreas que se han obtenido en cada una de las coberturas.

**Tabla 10. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 2003.**

Código	Cobertura	Área (ha)	%
M	<b>Manglar</b>	7 137,17	24,89
C	<b>Camaronerías</b>	7 566,40	26,39
Sd	<b>Suelo desnudo</b>	9 766,60	34,06
P	<b>Pastizal</b>	-	-
Ac	<b>Aguas costeras</b>	3 706,69	12,93
N	<b>Nubes</b>	496,37	1,73
	<b>Total</b>	28 673,23	100,00

**Fuente:** Elaboración propia.

Se evidencia aumento del ecosistema manglar, ganando terreno en las otras coberturas, especialmente en camaronerías que fueron abandonadas. La cobertura de suelo desnudo tiene un aumento mínimo con respecto al año 1997 alcanzando el porcentaje más alto con respecto a los otros años en la misma cobertura.



**Figura 6.** Mapa de uso del suelo del Archipiélago de Jambelí año 2016.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se observa (Figura 6) que existe un aumento mínimo del ecosistema manglar. La imagen clasificada presenta un alto índice de calidad, principalmente por el uso del satélite Landsat 8 que favorece en proceso de clasificación.

A continuación (Tabla 11), se describen las áreas que se han obtenido en cada una de las coberturas.

**Tabla 11. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso del suelo del año 2016.**

<b>Código</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
M	<b>Manglar</b>	8 468,94	29,54
C	<b>Camaroneras</b>	7 948,09	27,72
Sd	<b>Suelo desnudo</b>	6 727,76	23,46
P	<b>Pastizal</b>	-	-
Ac	<b>Aguas costeras</b>	5 126,38	17,88
N	<b>Nubes</b>	402,06	1,40
	<b>Total</b>	28 673,23	100,00

**Fuente:** Elaboración propia.

Existe una recuperación del ecosistema manglar en las zonas antiguas de estanques camaroneras, reduciendo el porcentaje de suelo desnudo, a su vez hay implementación de camaroneras en áreas recuperadas pertenecientes a 1985, que ya han pasado su periodo de resiliencia ecológica. Es importante mencionar que en el 2016, las camaroneras obtienen el porcentaje más alto con respecto a años anteriores.

#### **4.2. Cuantificación del cambio de uso del suelo en los manglares del Archipiélago de Jambelí, con énfasis en el cultivo de camarón.**

Para cada cobertura se realizó un proceso de cuantificación definido en hectáreas y porcentajes de acuerdo con la totalidad del área evaluada, con el fin de establecer de forma cuantitativa los resultados obtenidos durante el análisis.

A continuación, se presenta el resumen de datos establecidos para cada cobertura evaluada.

**Tabla 12. Resumen de Áreas Clasificadas (ha/%).**

N°	Cobertura	Periodo 1		Periodo 2		Periodo 3		Periodo 4	
		1985		1997		2003		2016	
		Ha	%	ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Manglar	12522,44	43,67	6921,93	24,14	7137,17	24,89	8468,94	29,54
2	Camaroneras	7617,89	26,57	7775,52	27,12	7566,40	26,39	7948,09	27,72
3	Suelo desnudo	2509,64	8,75	9739,27	33,97	9766,60	34,06	6727,76	23,46
4	Pastizal	2864,99	9,99	-	-	-	-	-	-
5	Aguas Costeras	3158,27	11,02	3820,09	13,32	3706,69	12,93	5126,38	17,88
6	Nubes	-	-	416,42	1,45	496,37	1,73	402,06	1,40
	<b>Total</b>	28673,23	100,00	28673,23	100,00	2867,23	100,00	28673,23	100,00

**Fuente:** Elaboración propia.

A partir de las imágenes clasificadas se realiza la cuantificación con su respectiva validación, proceso realizado mediante la aplicación de la matriz de confusión para cada año de estudio, permitiendo evidenciar la exactitud y errores cometidos en el proceso. Estos indicadores entre más próximos a 100% indican una buena clasificación y el Índice Kappa el cual si reporta un valor de 1 indica una clasificación del 100% de acuerdo con el terreno.

El grado promedio de fiabilidad global de las clasificaciones desde el año 1985 hasta 2016 es de 88% y un kappa de 84% (Tabla 13), este valor es considerado muy bueno en este tipo de clasificaciones.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

**Tabla 13. Grado de fiabilidad Global y Kappa de las Clasificaciones.**

Periodo	Global	Kappa
2016	0,94	0,92
2003	0,88	0,84
1997	0,84	0,78
1985	0,87	0,81
Promedio	0,88	0,84

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se detalla la matriz de confusión aplicada para cada imagen correspondiente al estudio multitemporal:

**Tabla 14. Validación de resultados correspondiente al año 1985.**

Clasificación 1985									
Uso del suelo	M	C	Sd	P	Ac	N	Total	Exactitud U	Error C
Manglar	45				1		46	0,98	0,02
Camaroneras	1	16	5		2		24	0,67	0,33
Suelo desnudo			10				10	1,00	0,00
Pastizal	2	1	1	4			8	0,50	0,50
Aguas costeras					12		12	1,00	0,00
Nubes						0	0	0,00	0,00
<b>Total</b>	48	17	16	4	15	0	100		
<b>Exactitud Productor</b>	0,94	0,94	0,63	1,00	0,80	0,00			
<b>Error de Omisión</b>	0,06	0,06	0,38	0,00	0,20	0,00			
<b>Global</b>	0,87								
<b>Kappa</b>	0,81								

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14, la clasificación presenta en el manglar una exactitud de usuario de 0,98 y productor de 0,94, esto en las 12 522,44 ha calculadas. De la misma manera en las camaroneras con 6 921,93 ha calculadas, se obtuvo una exactitud de usuario del 0,67 y una exactitud de productor de 0,94. El suelo desnudo de sus 2 509,64 ha tiene una exactitud de usuario de 1,00 y una exactitud de productor del 0,63. El pastizal en 2 864,99 ha tiene una exactitud de usuario de 0,56 y una exactitud de productor del 1,00. Los otros dos usos correspondientes a aguas costeras y nubes no se describen por no ser relevantes en esta investigación. Se puede verificar que la clasificación supervisada presenta una fiabilidad global del 0,87% y un índice Kappa de 0,81%, lo cual indica una concordancia buena según los rangos establecidos por el índice.

**Tabla 15. Validación de resultados correspondiente al año 1997.**

Clasificación 1997									
Uso del suelo	M	C	Sd	P	Ac	N	Total	Exactitud U	Error C
Manglar	22	1					23	0,96	0,04
Camaroneras	1	32	1		1		35	0,91	0,09
Suelo desnudo	3	7	11				21	0,52	0,48
Pastizal				3			3	1,00	0,00
Aguas costeras		2			16		18	0,89	0,11
Nubes						0	0		
<b>Total</b>	26	42	12	3	17	0	100		
<b>Exactitud Productor</b>	0,85	0,76	0,92	1,00	0,94	0,00			
<b>Error de Omisión</b>	0,15	0,24	0,08	0,00	0,05	0,00			
<b>Global</b>	0,84								
<b>Kappa</b>	0,78								

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15, la clasificación para el año 1997 presenta en el manglar una exactitud de usuario de 0,96 y productor de 0,85, esto en las 6 921,93 ha calculadas. De la misma manera las camaroneras en las 7 775,52 ha calculadas tienen una exactitud de usuario del 0,91 y una exactitud de productor de 0,76. El suelo desnudo de sus 9 739,27 ha tiene una exactitud de usuario de 0,52 y una exactitud de productor del 0,92.

Los otros dos usos correspondientes a aguas costeras y nubes no se describen por no ser relevantes en esta investigación. En este periodo los resultados obtenidos de la matriz de confusión son; fiabilidad global del 0,84% y kappa del 0,78%, siendo muy buen resultado de fiabilidad.

**Tabla 16. Validación de resultados correspondiente al año 2003.**

Uso del suelo	Clasificación 2003						Total	Exactitud U	Error C
	M	C	Sd	P	Ac	N			
<b>Manglar</b>	29						29	1,00	0,00
<b>Camaroneras</b>		28			2		30	0,93	0,07
<b>Suelo desnudo</b>		7	9		1		17	0,53	0,47
<b>Pastizal</b>				4			4	1,00	0,00
<b>Aguas costeras</b>		2			18		20	0,90	0,10
<b>Nubes</b>						0	0		
<b>Total</b>	29	37	9	4	21	0	100		
<b>Exactitud Productor</b>	1,00	0,76	1,00	1,00	0,86	0,00			
<b>Error de Omisión</b>	0,00	0,24	0,00	0,00	0,14	0,00			
<b>Global</b>	0,88								
<b>Kappa</b>	0,84								

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 16, la clasificación del año 2003, el manglar presenta una exactitud de usuario y productor de 1,00 en las 7 137,17 ha calculadas. De la misma manera, las camaroneras en las 7 566,40 ha calculadas tienen una exactitud de usuario del 0,93 y una exactitud de productor de 0,76. El suelo desnudo de sus 9 766,60 ha tiene una exactitud de usuario de 0,53 y una exactitud de productor del 1,00.

Los otros dos usos correspondientes a aguas costeras y nubes no se describen por no ser relevantes en esta investigación. Se puede verificar que la clasificación supervisada presenta una fiabilidad global del 0,88% y un índice Kappa de 0,84 %, lo cual indica fidelidad muy buena según los rangos establecidos por el índice.

**Tabla 17. Validación de resultados correspondiente al año 2016.**

Clasificación 2016									
Uso del suelo	M	C	Sd	N	Ac	N	Total	Exactitud U	Error C
Manglar	33						33	1,00	0,00
Camaronera	1	34					35	0,97	0,03
Suelo desnudo		1	11				12	0,92	0,08
Pastizal				4			4	1,00	0,00
Aguas costeras		4			12		16	0,75	0,25
Nubes						0	0		
<b>Total</b>	34	39	11	4	12	0	100		
<b>Exactitud Productor</b>	0,97	0,87	1,00	1,00	1,00	0,00			
<b>Error de Omisión</b>	0,03	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00			
<b>Global</b>	0,94								
<b>Kappa</b>	0,92								

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 17, la clasificación del año 2016 presenta en el manglar una exactitud de usuario de 1,00 y productor de 0,97 esto en las 8 468,94 ha calculadas. De la misma manera las camaroneras en las 7 948,09 ha calculadas tienen una exactitud de usuario del 0,97 y una exactitud de productor de 0,87. El suelo desnudo de sus 6 727,76 ha tiene una exactitud de usuario de 0,92 y una exactitud de productor del 1,00. Los otros dos usos correspondientes a aguas costeras y nubes no se describen por no ser relevantes en esta investigación.

Finalmente se verifica que la clasificación supervisada presenta una fiabilidad global del 0,94% y un índice Kappa de 0,92%, lo cual indica fidelidad muy buena según los rangos establecidos por el índice kappa ofreciendo un buen producto.

## 5. DISCUSIÓN

A partir del análisis de la información obtenida, se puede entender el comportamiento progresivo de los cambios en la cobertura del suelo en un periodo de 31 años (1985-2016). Estos cambios presentan dinámicas complejas que dependen del tipo de cobertura, interacciones ecológicas, físicas, ambientales y actividades socioeconómicas (Alvarez *et al.*, 2015).

En el mundo, el ecosistema manglar tiende a disminuir (Bravo, 2010), sus tasas son variables según las diferentes regiones o especies presentes en una misma zona geográfica (Vernaza, 2015). Ecuador es uno de aquellos países donde las tasas de deforestación de manglares han disminuido, a pesar de que ha perdido el 40% de su cobertura en los últimos 40 años (Tanner *et al.*, 2019). Sin embargo, las cifras mundiales de deforestación de manglar continúan siendo elevadas, pese a una disminución mínima registrada en los últimos 20 años a nivel global (Vernaza, 2015). Además, existe una conversión descontrolada e insostenible de grandes extensiones de manglares en camaroneras, que han producido ganancias a corto plazo a expensas de la pérdida masiva en su extensión y hábitat (MAE y FAO, 2014). Si bien, no se establece precisamente las causas para estos altos índices de deforestación, otros estudios realizados documentan, que se atribuye a la industria del camarón la principal responsable de la pérdida de manglar en el planeta (Vernaza, 2015).

El Archipiélago de Jambelí ha perdido más del 50% de su cobertura de manglar desde 1970, cuando la acuicultura del camarón se introdujo por primera vez en la zona (Beitl, Rahimzadeh, Bravo, Ortega, y Bird, 2018). Sin embargo, diversos problemas financieros, legales, reglamentarios y altos niveles de corrupción por influencia política y económica, permitieron continuar con la expansión no regulada de cultivo de camarón durante los años 1980 y 1990 (Pazmiño, Barragán, y García, 2018). Ahora, en parte los grandes cambios en el entorno político y la aprobación de una nueva legislación en 2008 que protege la naturaleza, se establece el Decreto Ejecutivo 1391, en el que el gobierno inició amplias reformas para regular la industria del camarón (Montalván, 2019). Estas nuevas regulaciones implican el desalojo de camaroneras ilegales en zonas protegidas; como resultado, el Gobierno expulsó a las explotaciones

de camarón ilegales, exigiéndoles destruir sus propios estanques por primera vez en la historia ecuatoriana, sin embargo algunos grupos de defensa local argumentan que estos esfuerzos no fueron suficientes (Beitl *et al.*, 2018).

### **5.1. Manglares**

El manglar ha disminuido de 12 522,44 ha en el año 1985 a 6 921,93 ha al año 1997, que en datos porcentuales representa el 19,53% (Anexo 1), este descenso se debe a que en Jambelí la industria camaronera se incrementó de manera exponencial durante las décadas de los ochenta y noventa, dando lugar a grandes áreas deforestadas de manglar para la implementación de camaroneras (Beitl *et al.*, 2018; Montalván, 2019). Cabe mencionar que se implementaron una serie de acciones y actividades orientadas al manejo adecuado del manglar, entre las que destacan; decreto supremo en 1978 que prohíbe la construcción camaroneras en zonas de manglar (Beitl *et al.*, 2018); y, la declaratoria de bosque protector a los manglares del Ecuador en 1986 (CLIRSEN, 1990). Sin embargo, se ha producido una pérdida neta de 49% de los manglares desde 1985 hasta la fecha (Beitl *et al.*, 2018).

Para el periodo 1997 a 2003 se dieron dos principales enfermedades que afectaron el cultivo de camarón en Ecuador, que paralelamente ayudaron a la regeneración de los manglares de manera natural (Veuthey y Francois, 2012). Estos virus denominados: Síndrome de Taura y Mancha Blanca, surgieron entre los años 1996 y 1999 (Cuéllar, 2013; Veuthey y Francois, 2012), generando repercusiones en los años 2000 al 2003, como el cierre definitivo de varias camaroneras, las cuales se repoblaron naturalmente con manglar en años posteriores (Bravo, 2010; Montalván, 2019). Esto se demuestra en este estudio, dado que en el año 2003 los manglares ocupan una extensión de 7 137,17 ha (Anexo 1), equivalente al 24,89% existiendo una recuperación del manglar en 0,75%. Es importante resaltar que en 2003 el Gobierno aceptó crear una reserva de manglar con 5 000 ha, gestionado por FUNDECOL (Veuthey y Francois, 2012).

En el año 2016 la cobertura de manglar fue de 8 468,94 ha (Anexo 1), que representa el 29,54% del área de estudio, siendo un indicador positivo en la regeneración de áreas de manglar con respecto al año 2003. Esta regeneración del manglar se debe que en el

año 1999, las comunidades locales solicitaron que se les conceda el uso sustentable del manglar para su subsistencia y aprovechamiento (Reese, 2009) y los incentivos económicos a productores de camarón, que desde el 2008 reciben una remuneración modesta en proyectos de plantación de manglares (Beitl *et al.*, 2018). Además, en el Ecuador existe una extensa legislación, que garantiza la protección y conservación del manglar, como lo establecen las disposiciones en la Constitución, Leyes, Reglamentos, Decretos Ejecutivos y Acuerdos (Reese, 2009). La información es corroborada por el (CLIRSEN, 2007), en su estudio multitemporal de manglares, camaroneras y áreas salinas de la Costa Ecuatoriana, que menciona un crecimiento exponencial del manglar en una proyección de 10 años y el estudio “Dinámica de los manglares mediante teledetección en la costa del Ecuador”, realizado por (Beitl *et al.*, 2018), que muestra un crecimiento neto del 10,50% de los manglares en las zonas antiguas de estanques de camarones entre 1999 y 2014, demostrando que los datos obtenidos se acercan a la realidad.

## **5.2. Camaroneras**

En lo que respecta a camaroneras, se unieron dos clases correspondientes a: camaronera en uso y camaronera sin uso, que abarcan la totalidad de camaroneras en toda el área de estudio. Se evidencia un aumento de 7 617,89 ha en el año 1985 a 7 775,52 ha para el año 1997 (Anexo 2), dado por el boom camaronero, que desde 1980 en adelante ocupó el tercer puesto de exportaciones; después del petróleo y banano en términos monetarios (Veuthey y Francois, 2012). Alcanzando un récord histórico de producción de camarón en 1998 (Veuthey y Francois, 2012). Por otra parte, existe una reducción de 0,73% de camaroneras entre los años 1997 y 2003 causado por el síndrome de Taura y Mancha Blanca, que ocasionó pérdidas en las granjas camaroneras y dejó grandes áreas de manglar deforestado, obligando a muchos productores de camarón a abandonar sus estanques (Cuéllar, 2013; Veuthey y Francois, 2012). Esto contrasta con los datos obtenidos en este estudio, dado que el porcentaje de camaroneras disminuyó progresivamente desde el año 1997 hasta el 2003, información que corrobora (CLIRSEN, 2007), quien mencionó que se redujo la implementación de camaroneras en el periodo 1997-1999. Es importante mencionar que desde el año 1986 al 2008, Ecuador ha implementado un programa de gestión de

recursos costeros (Pazmiño, Barragán, y García, 2018). Sin embargo, las grandes utilidades generadas por la industria camaronera, han creado poderosos incentivos para la corrupción de los políticos y funcionarios públicos, que permiten actuar ilegalmente a cambio de costos económicos. Por este motivo en 2006 el volumen de exportación alcanzó el pico de producción de 1998, aunque con menos ingresos monetarios debido a una caída de los precios internacionales (Veuthey y Francois, 2012).

Por otra parte existe un aumento significativo del 1,33% de camaroneras en el periodo 2003-2016, este aumento es provocado por la implementación de camaroneras en zonas que antes eran suelo desnudo, estas zonas pertenecientes al año 1997 ya han pasado su periodo de resiliencia ecológica, regenerándose naturalmente con manglar y ya se están explotando nuevamente, este caso es frecuente en la provincia de El Oro (Castillo, 2012). En el año 2016 se evidencia la mayor cantidad de camaroneras con una extensión de 7 948,09 ha (Anexo 2) equivalentes al 27,72%. Esa información es corroborada en un análisis breve del crecimiento del sector camaronero en el Ecuador, mencionando que en 2014 se dio un importante proceso de producción extensivo aprovechando las características geográficas del Ecuador (Bernabé, 2016).

### **5.3. Suelo Desnudo**

En la cobertura de suelo desnudo existe un incremento del 8,75% al 33,97% de suelo desnudo entre los años 1985 a 1997, principalmente por el boom camaronero y la población aledaña a estas zonas, que ha venido contribuyendo a la transformación del manglar, consumiendo más recursos y modificando el medio (Bayona, 2016). Desde la década de 1970 a la década de 1990, el cambio de paisaje en las zonas costeras del Ecuador se caracteriza principalmente por la deforestación del manglar, impulsada por el crecimiento y la expansión ilegal de la acuicultura del camarón, que deja grandes áreas de suelo desnudo por su actividad (Beitl *et al.*, 2018). Cabe recalcar que en 1996 un grupo de biólogos estatales recibió permiso de las autoridades locales para formar la primera concesión de manglar, en la conservación y el uso sostenible sin degradar los suelos, en la provincia de El Oro (Beitl *et al.*, 2018).

En el año 2003 se evidencia la mayor cantidad de suelo desnudo con 9 766,60 ha (Anexo 3) equivalentes al 34,06%, este valor está relacionado directamente con el abandono de camaroneras que se dieron desde el año 1999 hasta el año 2003 por el síndrome de Taura y de la Mancha Blanca (Cuéllar, 2013; Veuthey y Francois, 2012). Al igual que los monocultivos, las camaroneras están sujetas a enfermedades por el uso intensivo de agroquímicos para el control de plagas, escasez de agua limpia, eliminación de desechos y desertificación que producen mayor vulnerabilidad en los manglares (Tanner *et al.*, 2019). Este factor contribuyó directamente en el 2003, dado que hay efectos de las camaroneras implementadas en el año 1985 y 1997, debido a que los suelos utilizados para camaroneras por más de ocho años son demasiado salinos, lo que imposibilita su uso para la industria camaronera, es por ello que una vez que han arrasado con los manglares, las camaroneras necesitan expedirse a otras zonas, aumentando las tasas de deforestación (Bravo, 2004).

El suelo desnudo en el año 2016 ha disminuido con respecto al 2003 (Anexo 3), presentando 6 727,76 ha, que en términos porcentuales representa el 23,46%. Esta depreciación se le atribuye principalmente al rol del Estado, como regulador para la conservación, manejo, uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados (Montalván, 2019). El manglar y otros recursos naturales son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable y sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución (Vernaza, 2015). Es por ello que la industria camaronera desde el año 2008 hasta el 2016, se ha adaptado poniendo en práctica las medidas ambientales que no degradan el suelo en su totalidad y corresponde al Ministerio del Ambiente, verificar, conservar, proteger, reponer, prohibir y delimitar los bosques de manglar existente en el país, conceder el uso y aprovechamiento, así disminuyendo las tasas de deforestación y suelo desnudo. Es importante hacer un inciso en lo que respecta a la cobertura de pastizal presente en el año 1985, que tiene 2 864,99 ha (9,99%), esta cobertura está parcialmente preparada para la implementación de camaroneras, convirtiéndose posteriormente en suelo desnudo en el periodo 1997-2003 y pasando a ser camaroneras en 2016.

#### **5.4. Relación Manglares, Camaroneras y Suelo Desnudo**

La pérdida de manglar estuvo relacionada directamente con la implementación de camaroneras, por lo que el área de estudio presenta una dinámica muy considerable, especialmente en el ecosistema manglar, que se pierde y es reemplazado por suelo desnudo, este suelo desnudo posteriormente es utilizado por la industria camaronera para la implementación de piscinas de producción. Estas piscinas, al dejar de ser rentables económicamente, pasaron a formar nuevamente parte de la categoría de suelo desnudo, por lo que son abandonadas y atraviesan un proceso de resiliencia ecológica, consecutivamente después de su recuperación con manglar, son utilizadas otra vez por la camaronería formando un ciclo.

El proceso de producción del camarón sugiere varios impactos potenciales en el medioambiente, los que pueden ocurrir en dos fases secuenciales. El primer grupo de impactos sucede en la ubicación, diseño y construcción de las piscinas; el segundo, durante la operación de las piscinas. El impacto ambiental más importante, referido a las camaroneras, es la ubicación de las piscinas en ecosistemas frágiles. Un caso especial es la conversión de ecosistemas de manglar por camaroneras, que cada vez requieren áreas mayores, siendo mayor la amenaza de transformación del hábitat. La destrucción de los manglares implica la pérdida de especies únicas. Además impide la transición fundamental entre los ecosistemas terrestres y marinos que protegen las costas de la erosión. Por otra parte, son fundamentales para la diversidad biológica local, debido a que alojan plantas y animales exclusivos de los manglares (Tobey *et al.*, 2014).

#### **5.5. Aspectos relativos al manglar y validación de resultados**

Hasta que la industria del camarón generó grandes ingresos económicos, los manglares fueron considerados como pantanos sin valor y la mayoría de los gobiernos de América Latina solamente diseñaron normas institucionales irrelevantes en cuanto a su acceso y uso (Veuthey y Francois, 2012). Ecuador no es la excepción dado que desde el año 1985 al 2008 existen contradicciones entre las leyes que protegen los manglares y las prácticas sobre el terreno: como el cultivo de camarón de manera ilegal, con la

aprobación implícita del gobierno. Por otra parte, estudios indican que la cobertura de manglar se perderá por completo dentro de los próximos 100 años si las tasas de deforestación persisten. Cabe recalcar que el archipiélago de Galápagos es la única provincia ecuatoriana de manglares que se ha librado de la deforestación, que sirve como un lugar ideal para estudiar los servicios del ecosistema manglar (Tanner *et al.*, 2019).

Finalmente la evaluación de la confiabilidad de los mapas estuvo dada por el índice de kappa, importante al ser utilizado como insumo para la evaluación de tierras, ordenamiento territorial, conservación de la biodiversidad, entre otros (Mas, Diaz, y Pérez, 2003). Según Sánchez, (2016) se utiliza fundamentalmente para control de calidad en procesos de clasificación temática por teledetección, fotointerpretación etc., en donde los valores satisfactorios corresponden del 0,80 al 1,00 de acuerdo al índice Kappa, concordando con los índices obtenidos en este estudio, que corresponden a una media de 0,84.

## 6. CONCLUSIONES

- El mayor descenso del manglar se evidencia en el año 1997, con la reducción a 6 921,93 ha (24,14%), con respecto a su cobertura original (12 522,44 ha), esto debido al auge de la industria camaronera, principalmente por la construcción de piscinas y otras actividades antrópicas que afectaron este ecosistema, produciendo modificaciones en los otros usos del suelo. Por otra parte existe una recuperación del ecosistema manglar en 2016, con 8 468,94 ha (29,54%), dado por el decrecimiento de la deforestación, gracias a políticas que garantizan la protección y conservación de este recurso.
- No se evidenció un crecimiento exuberante en cuanto a extensión en hectáreas de las camaroneras, pues las mismas se han venido manteniendo durante los 31 años analizados, presentando una implementación mínima de 7 566, 40 ha (26,39%) en el año 2003 y una máxima de 7 948,09 ha (27,72%) en el año 2016. En el periodo 1997-2003, las camaroneras sufrieron más cambios, principalmente por el abandono de estanques, debido a los virus de Taura y Mancha blanca, que ocasionaron grandes pérdidas en la industria del camarón.
- El suelo desnudo tiene más cambios significativos con respecto a las otras coberturas y se incrementa progresivamente desde el año 1985 hasta 2003, obteniendo su extensión más alta, en el año 2003 con 9 766,60 ha (34,06%) debido al abandono de camaroneras y otras actividades antrópicas.
- Existe una relación entre las coberturas manglar, camaroneras y suelo desnudo, debido a que forman un ciclo, en donde el manglar es deforestado por la implementación de camaroneras; y, una vez terminado su periodo de funcionamiento, son abandonadas, dejando el suelo desnudo, que este a su vez pasa un periodo de regeneración ecológica y vuelve a ser explotado por la industria camaronera.
- Se generaron mapas de los cambios de uso del suelo en los años 1985, 1997, 2003 y 2016, con un grado de fiabilidad del 0,84% de acuerdo al índice de kappa, obteniendo un análisis estadístico simple, que permitió estudiar las dinámicas de las diferentes coberturas del suelo.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la aplicación de la metodología utilizada en la presente investigación para la analizar los cambios de la cobertura, dado que expone resultados confiables.
- Continuar con la ejecución de estudios multitemporales para conocer los cambios en el uso del suelo de los manglares y camaroneas y así facilitar la toma de decisiones.
- Formar gestores comunitarios ambientales capaces de dirigir y dar seguimiento a los procesos de transformación de la cobertura de manglar para superar los problemas ambientales.
- Se recomienda recortar los cuerpos de agua (canales), por lo que al clasificar las imágenes existe dificultad, dado que las camaroneas están cubiertas con aguas costeras, que produce mezcla en los usos de camaroneas y cuerpos de agua, especialmente en imágenes anteriores a 1985 que poseen poca calidad y resolución.
- Realizar una interpretación de los resultados y efectuar una corrección manual, en áreas donde la respuesta espectral sea confusa entre categorías.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, R. (2009). *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*.
- Almedida, A. (2015). *Universidad Central Del Ecuador Facultad De Ciencias Agrícolas Carrera De Ingeniería Agronómica Procesamiento Digital De Imágenes Multiespectrales Landsat 8, Para Aplicaciones Agronómicas En La Subcuenca*.1–85. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- Alonso, F., Ruiz, A., Turner, J., Berlanga, C., & Mitchelson, G. (2003). *Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system , Sinaloa , Mexico*. 46, 583–600. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(03\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(03)00036-X)
- Alvarez, P., Veliz, F., Muñoz, J., & Aguirre, N. (2015). Análisis multi-temporal del cambio de uso del suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero.*, 5(2), 33–47.
- Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (2005). Correcciones radiométricas y geométricas de imágenes para la detección de cambio de uan serie tempotal. *Master En Ingeniería Medioambiental y Gestión Del Agua 2007/2008 Módulo, Módulo VII(9)*.
- Arcentales, E. (2019). *Variación en la potencial distribución del cultivo de cacaco en la región costa del Ecuador para el año 2050, debido al cambio climático*. 1–124. Recuperado de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15980/variación en la potencial distribución del cultivo de cacao en la región costa del ecuador para e.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15980/variación%20en%20la%20potencial%20distribuci3n%20del%20cultivo%20de%20cacao%20en%20la%20regi3n%20costa%20del%20ecuador%20para%20e.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM ( Landsat Data Continuity Mission )*. 3–46.
- Ariza, F., Rodríguez, J., & Fernández, A. (2018). *Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales*. 215–227.
- Atencia, V., Contreras, J., & Vergara, D. (2008). *Estudio multitemporal de imágenes*

*satelitales con fines de delimitación del complejo San Jorge margen izquierdo (B13) y diagnóstico de zonas intervenidas antropicamente (Agricultura y Ganadería).*

Basterra, I. (2011). *Catedra De Fotointerpretacion: Teledeteccion-Imágenes Satelitales-Procesamiento Digital De Imagenes*. 33. Recuperado de <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>

Bayona, F. (2016). *Analisis Multitemporal De Los Ecosistemas De Manglar Presentes En La Ciénaga De Mallorquín, Departamento Del Atlántico*. 11.

Bedon, F., & Pinto, S. (2012). *Evaluación de técnicas de detección de cambios del uso de la tierra a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el cantón Daule*. 179.

Beitl, C., Rahimzadeh, P., Bravo, M., Ortega, D., & Bird, K. (2018). Geoforum New valuation for defying degradation : Visualizing mangrove forest dynamics and local stewardship with remote sensing in coastal Ecuador. *Geoforum*, (April), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.10.024>

Berlanga, C., Ruiz, A., Bocco, G., & Vekerdy, Z. (2011). Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 54(7), 535–543. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.04.004>

Bernabé, L. (2016). Sector Camaronero: Evolución y proyección a corto plazo. *Fcshopina*, 87(0). Recuperado de <http://www.test.revistas.espol.edu.ec/index.php/fenopina/article/view/100/107>

Bravo, E. (2004). *La Industria Camaronera en el Ecuador*. 11. Recuperado de <http://www.edualter.org/material/sobirania/enlace7.pdf>

Bravo, M. (2010). *Interpretación del estudio multitemporal (Clirsen 1969-2006) de las coberturas de manglar, camaroneras y áreas salinas en la franja costera del ecuador continental*. 66. Recuperado de [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/757/1/Interpretación al estudio multitemproal.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/757/1/Interpretación%20al%20estudio%20multitemproal.pdf)

- Cabello, J., & Paruelo, J. (2008). *La teledetección en estudios ecológicos*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/540/54017106001.pdf>
- Camacho, J., Juan, J., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L., & Sánchez, M. (2015). *Cambios de cobertura / uso del suelo*. 21, 93–112.
- Castillo, R. (2012). *Tala indiscriminada de los manglares del sector Pongalillo influye en el Ecosistema*.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental* (Tercera). Barcelona: Ariel S. A.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- CLIRSEN. (1990). Estudio Multitemporal de los Manglares, Camaroneras y Areas Salinas de la Costa Ecuatoriana, mediante información de sensores remotos. *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Por Sensores Remotos*. Recuperado de <http://www.crc.uri.edu>
- CLIRSEN. (2007). *Actualización del estudio multitemporal de manglares, camaroneras y áreas salinas en la costa continental ecuatoriana al año 2006*. 1–13. Recuperado de [simce.ambiente.gob.ec/sites/.../Resumen Ejecutivo Manglares.pdf](http://simce.ambiente.gob.ec/sites/.../Resumen_Ejecutivo_Manglares.pdf)
- Condori, I., Loza, G., Mamani, F., & Solíz, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014. *Selva Andina*. Recuperado de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/v9n1\\_a03.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/v9n1_a03.pdf)
- Cuéllar, J. (2013). *Síndrome de Taura Enfermedad de Taura o Enfermedad de la cola roja*. 1–5. Recuperado de <http://www.oie.int/es/normas-internacionales/codigo->
- Cuevas, M., Garrido, A., Pérez, J., & González, D. (2009). *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*. 96.
- Escamilla, M. (2015). *Aplicación básica de los métodos científicos*. 1–13.
- Espín, N., Gomariz, F., Cánovas, F., & Alonso, F. (2015). Comparacion de Métodos de Clasificación de Imágenes de Satélite. *Boletín de La Asociación de Geógrafos*

- Españoles*, 67, 327–347.
- ESRI. (2018). *Función de reflectancia aparente*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/apparent-reflectance-function.htm>
- FAO. (2018). The State of Fisheries and Aquaculture in the world 2018. In *Fao.Org*. Recuperado de <http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture>
- Fernández, N., & Pineiro, G. (2008). La caracterización de la heterogeneidad espacial de los ecosistemas: el uso de atributos funcionales derivados de datos espectrales. *Ecosistemas*, 17(3), 64–78.
- Gordillo, I., Quezada, C., & Brito, L. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial de Jambelí*.
- Hernández, G., Octavio, R., Sánchez, Á., & Valdez, J. (2016). *Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco*. 2757–2767.
- IEE-MAGAP. (2015). *Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000*.
- INEGI. (2010). *Elementos de percepción remota*. 1–12.
- Isla, M. (2006). *Manejo sostenible del cultivo de camarón en Cuba. Estudio de caso: camaronera CALISUR, provincia de Granma*.
- Juela, O. (2012). *Estudio multitemporal de la superficie ocupada para la cría de camarón en el golfo de Fonseca, honduras*.
- Juela, O., Corbelle, E., & Cordero, M. (2012). *Estudio multitemporal de la superficie ocupada para la cría de camarón en el Golfo de Fonseca, Honduras*.
- Karszenbaum, H. K. (2005). Protocolo para el procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales. *Sistema de Información de Biodiversidad*.
- Labrador, M., Évora, J., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de Teledetección para Gestión del Territorio*.

- Lizarazo, I. (2013). *Introducción al procesamiento de imágenes usando GRASS GIS 7.0 -Versión 0.3.*
- López, V., Balderas, M., Chávez, M., Juan, J., & Gutiérrez, J. (2015). *Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano.* 136–144.
- Luy, A. (2006). *Humedales , reservorios para la vida.*
- MAE-FAO. (2014). *Árboles y arbustos de los manglares del Ecuador.* 48. Recuperado de [www.flacsoandes.edu.ec](http://www.flacsoandes.edu.ec)
- Mas, J., Diaz, J., & Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas. *Investigaciones Geográficas*, (51), 53–72. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112003000200005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000200005)
- Medina, M. (2015). *Universidad Central Del Ecuador Análisis Multitemporal Del Cambio De La Cobertura Vegetal Tesis De Grado Previa a La Obtención Del Título De Ingeniera María Belén Medina López Quito-Ecuador.* 1–82.
- Monje, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. *Universidad Surcolombiana*, 1–217. Recuperado de <http://carmonje.wikispaces.com/file/view/Monje+Carlos+Arturo+-+Guía+didáctica+Metodología+de+la+investigación.pdf>
- Montalván, B. (2019). Análisis del sector camaronero y su incidencia en los bosques de manglar en Ecuador. *Tesis*, (Proyecto de factibilidad técnica, económica y financiera del cultivo de ostra del pacífico en la parroquia manglaralto, cantón santa elena, provincia de santa elena), 121. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.4.644>
- Nagelkensen, I., Blaber, S., Bouillon, S., Green, P., & Haywood, M. (2008). The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna. *Aquatic Biology*, 155–185.

- Pazmiño, P., Barragán, J., & García, J. (2018). Progress on coastal management in Ecuador (2007–2017). *Environmental Science and Policy*, 90(April), 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.09.016>
- Plascencia, A., & Bermúdez, M. (2012). *La acuicultura y su impacto al medio ambiente*. 2, 223.
- Posada, E., Ramirez, H., Daza, R., & Espejo, N. (2012). *Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011*. 1–102.
- Quezada, J. (2018). Análisis de la ventaja absoluta y ventaja comparativa relacionada con la producción de banano y camarón entre Ecuador y Colombia. *Utmach*, 4, 1194–1215. <https://doi.org/1390-9304>
- Reese, R. (2009). *Restauración Ecológica de los manglares en la costa del Ecuador*.
- Rodríguez, G., Chiriboga, F., & Loján, A. (2016). Las camaroneras Ecuatorianas: una polémica medioambiental. *Revista Científica Universidad y Sociedad*, 8, 80–86.
- Romero, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*.
- Ruiz, R. (2007). El Metodo Cientifico y sus Etapas. *Mexico*, 2, 79. Recuperado de <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
- Ruiz, V., Savé, H., & Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el paisaje terrestre protegido Miraflores Moroponte Nicaragua, 1993 - 2011. *Ecosistemas*.
- Sánchez, J. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento Matemático*, 6, 9–26.
- Tanner, M., Moity, N., Costa, M., Marin, J., Aburto, O., & Salinas, P. (2019). Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation. *Ecological Economics*, 160(June 2018), 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.024>
- Tobey, J., Clay, J., & Vergne, P. (2014). *Impactos Económicos, Ambientales y Sociales*

*del Cultivo de Camarón en Latinoamérica. 4.*

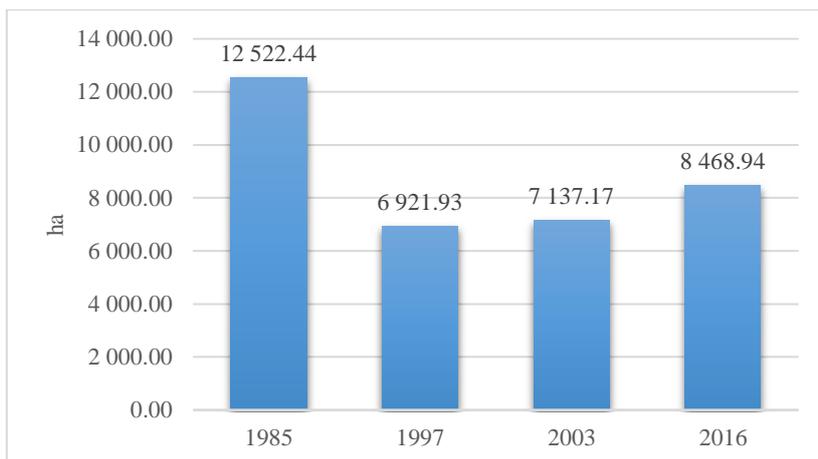
Vernaza, L. (2015). *Análisis de los Efectos de la pérdida de masa Forestal del ecosistema de Manglar con Producción de Peces Pelágicos Costeros. 1.* Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10846/1/T-ESPE-049674.pdf>

Veuthey, S., & Francois, J. (2012). Accumulation by dispossession in coastal Ecuador: Shrimp farming , local resistance and the gender structure of mobilizations. *ELSEVIER*, 22, 611–622. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.010>

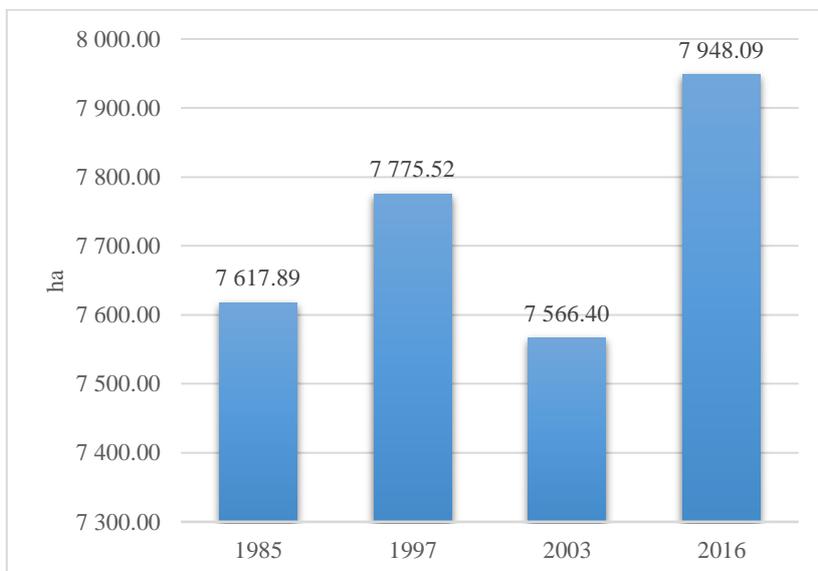
Yáñez, A., Day, J., Twilley, R., & Day, R. (2014). *Manglares : ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. 20(1998), 39–75.*

## 9. ANEXOS

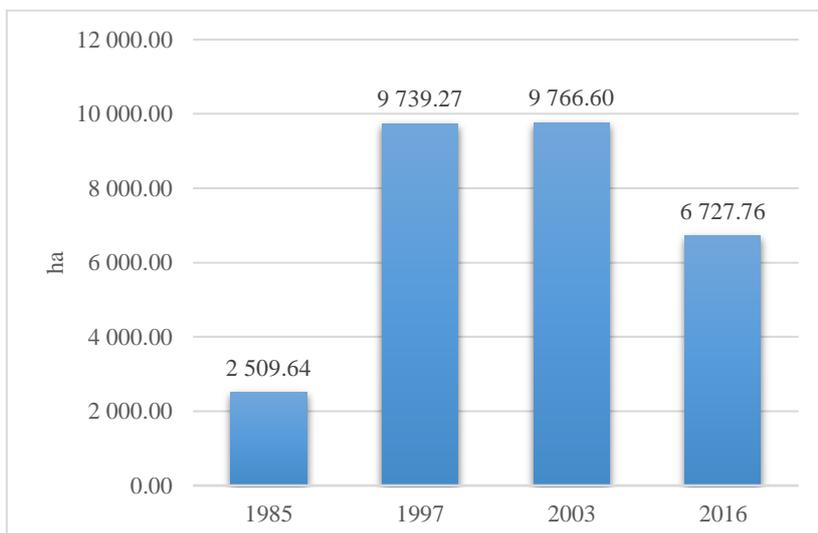
*Anexo 1. Total de áreas de manglar en el transcurso del tiempo*



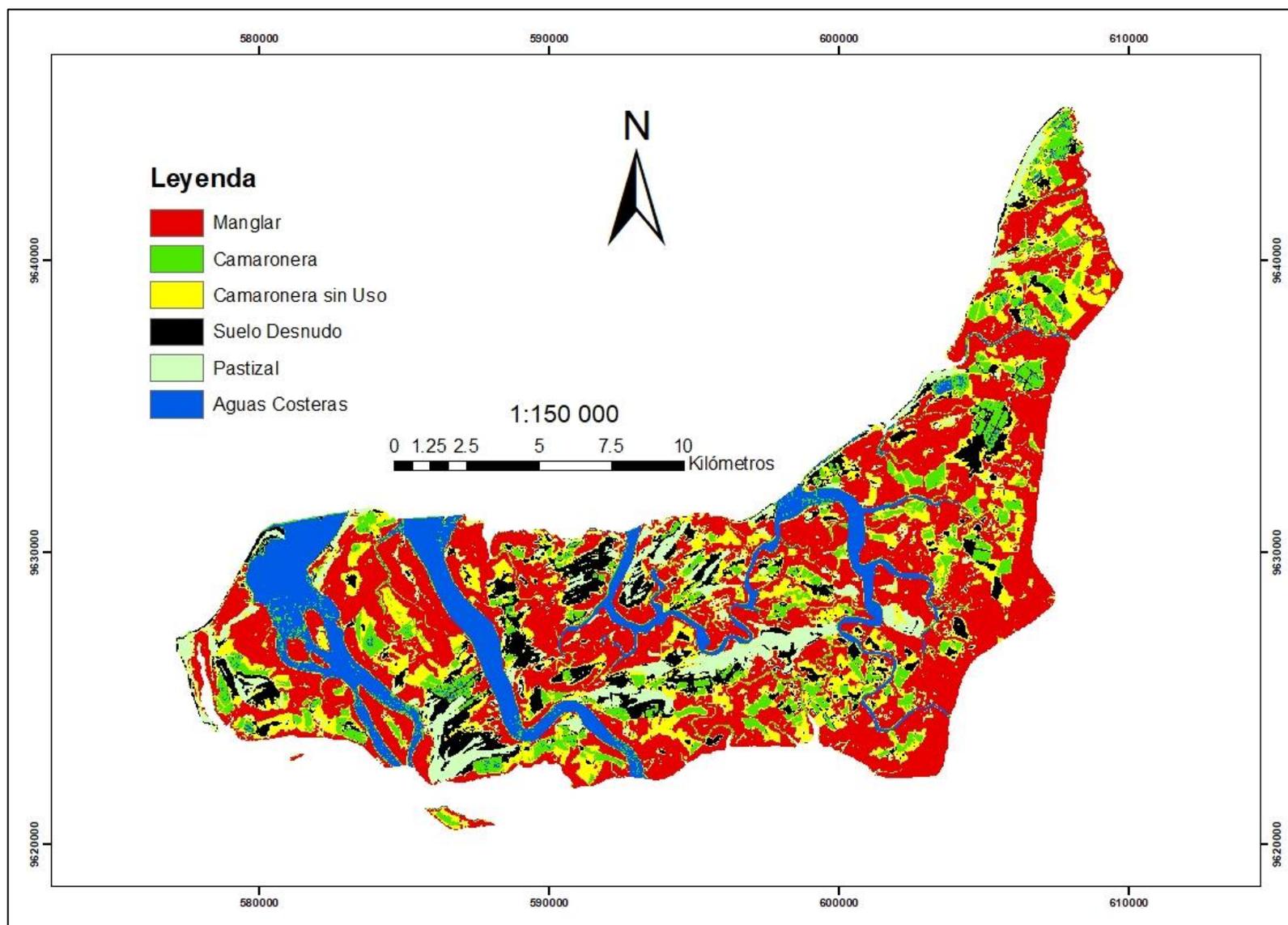
*Anexo 2. Total de áreas de camaroneras en el transcurso del tiempo*



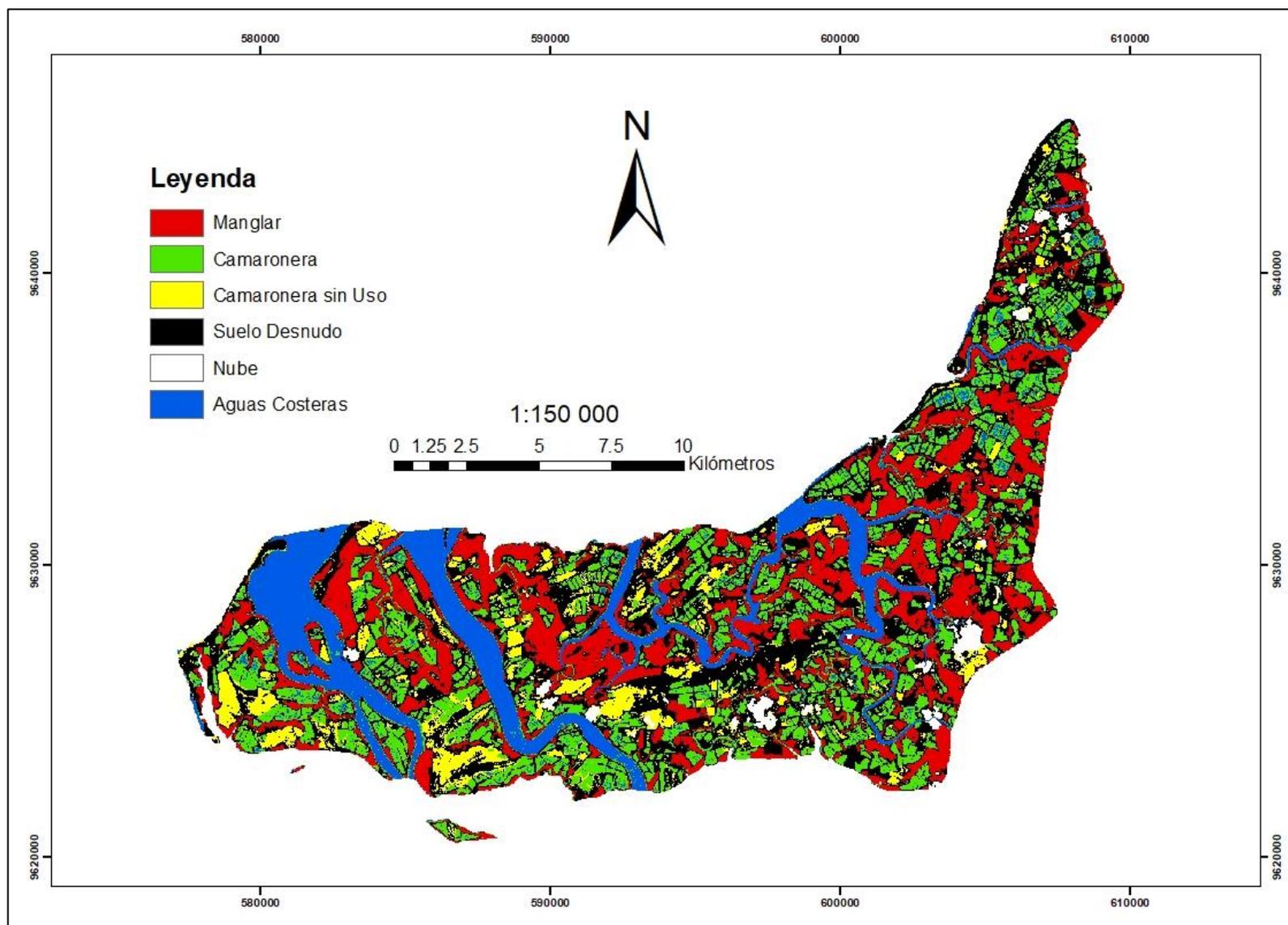
*Anexo 3. Total de áreas de suelo desnudo en el transcurso del tiempo*



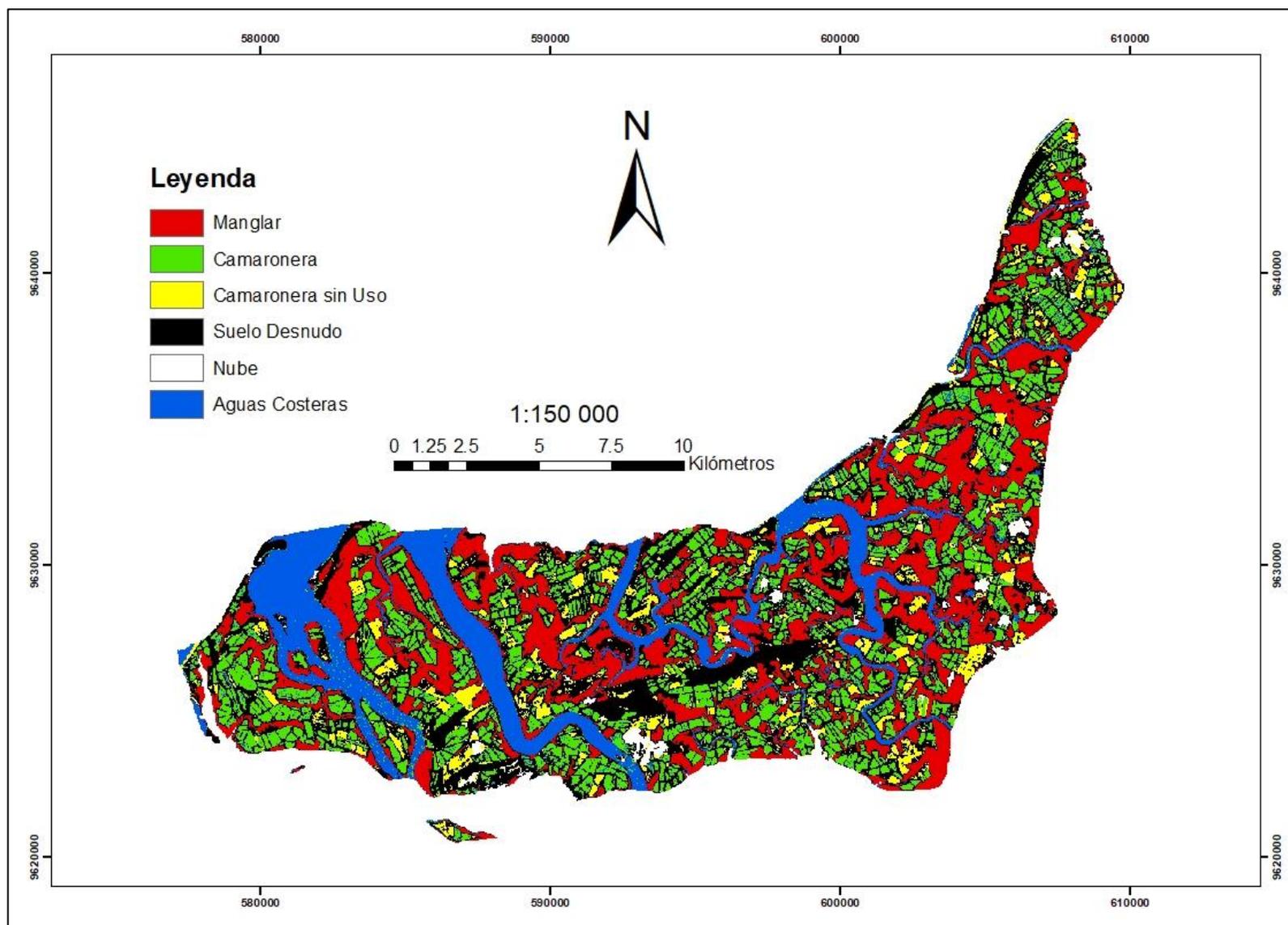
Anexo 4. Mapa de uso de Suelo del Archipiélago de Jambelí año 1985



Anexo 5. Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 1997



Anexo 6. Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 2003



Anexo 7. Mapa de uso del Suelo del Archipiélago de Jambelí año 2016

