Capítulo II. Identificación y Cambios Temporales en la Cobertura de Isla Santay

Resumen

La cobertura vegetal de la Isla Santay ha presentado una serie de cambios a partir de su transformación por actividades antrópicas asociadas a la agricultura y producción pecuaria que devastaron la vegetación natural, las cuales fueron suspendidas, y a partir de la década de los años 80, por un proceso de expropiación por parte del estado ecuatoriano, se ha producido su recuperación parcial. Mediante el análisis multitemporal de la cobertura vegetal existente en la Isla Santay, usando sensores remotos en diferentes intervalos de tiempo durante los últimos 54 años, se puede dar a conocer como fue el proceso de cambio sucesional, luego de la interrupción del impacto producido por la actividad antrópica. El análisis digital e las imágenes satelitales y fotografías aéreas, se verifico por reconocimiento de campo, evidenciando un aumento en la cobertura vegetal de la Isla Santay, apuntalado dicho cambio al ser incluida en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) como Área Nacional de Recreación, e internacionalmente como humedal Ramsar, favoreciendo las actividades de conservación y su recuperación.

Palabras Claves: *Análisis multitemporal, Cobertura Vegetal, Sensores remotos, Restauración.*

1. Introducción

El balance entre el entorno natural y el panorama humano podría determinar el futuro de la conservación de la diversidad biológica en grandes áreas del planeta. Las actividades antrópicas generan una enorme sobreexplotación en los recursos naturales produciendo así un gran impacto negativo en las áreas naturales.

Ya que no existen publicaciones referentes a la recuperación de la vegetación natural de la isla a lo largo del tiempo, en el proceso de sucesión ecológica, se propone estudiar los cambios de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, a partir del aparente abandono de su superficie, perturbada por actividades antrópicas hasta la presente fecha, mediante el uso de sensores remotos y sistemas de información geográficos.

La Isla Santay es considerada un humedal RAMSAR; cuya denominación es avalada por convenio internacional, el cual compromete a los países signatarios a mantener las características ecológicas de los estos.

En ese sentido, es necesario llegar a conocer como fue el desarrollo de la cubierta vegetal en la isla Santay a través de los años y cuáles son sus características actuales; clasificando la cobertura vegetal existente, y así poder conocer los tipos de vegetación que predominan, los porcentajes que ocupan cada uno de ellos dentro de la isla y como es su arreglo espacial luego de la perturbación por el hombre.

El análisis de cambio de la cubierta vegetal es una herramienta metodológica utilizada para determinar, cuantificar y estimar áreas que han sido perturbadas (Martínez, 2005; Chapa, Sosa y Alba 2008).

No obstante, pese a que se han realizado estudios preliminares respecto a las especies de plantas presentes en el lugar, no se ha realizado un estudio de la vegetación y de como esta se ha desarrollado a partir de la interrupción de las actividades antrópicas de alto impacto, mediante sistemas de información geográfica.

Las variaciones de la cobertura vegetal en la superficie, en determinados periodos de tiempo, es considerado un indicador ambiental en relación con la dinámica de los ecosistemas. Los sensores remotos han sido utilizados como una herramienta valiosa al momento de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales (Briceño, 2013).

Uno de los grandes aportes de los estudios ambientales mediante sensores remotos, es su capacidad de seguir procesos dinámicos debido a las características multiespectrales y multitemporales, dando como resultado posibles diferenciaciones en los tipos de cobertura vegetal (Gonzaga, 2014).

El análisis multitemporal a partir del cruce de las imágenes satelitales por el método de clasificación no supervisada nos ayudará a determinar cómo ha sido el proceso de recuperación de la vegetación (Hernández, 2012). Éste es uno de los métodos más eficaces para la comparación y determinación de cambios que se suscitan en un lapso de tiempo, y que generalmente se deben a la intromisión del hombre sobre el entorno (Labrada, 2015).

El análisis de cambio en la cobertura vegetal es una metodología que puede ser utilizada para determinar, estimar y cuantificar áreas que han sido fragmentadas a partir del abandono en las actividades agrícolas (Almeida, Duriavich, Napolitano, & Feoli, 2016).

En el caso de aplicación de análisis multitemporal, se usa esta técnica mediante dos o más imágenes del área de estudio, utilizándolas para generar un análisis, superponiendo en distintos planos de color con las mismas bandas de las fechas de las imágenes, lo que permitirá observar visualmente algunos de los rangos de cambio de la cobertura.

Aunque no se han realizado muchas investigaciones acerca del proceso de recuperación de la vegetación nativa en la isla, es innegable la importancia de conocer este proceso, facilitado por el uso de sensores remotos y sistemas de información geográfica. Este tipo de análisis y las herramientas que se utilizan para llevarlo a cabo permiten proyecciones de escenarios de lo que podría suceder a futuro (Almeida et al. 2016).

El objetivo de este trabajo es analizar la cobertura vegetal existente en la isla Santay, mediante el uso de sensores remotos en diferentes intervalos de tiempo durante los últimos 54 años, al interrumpirse el impacto producido por la actividad antrópica, a partir de la información aportada por Lara (2018).

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de Estudio

El humedal Santay tiene una extensión de 4705 ha, de las cuales 2179 corresponden a la superficie de las islas y 2505 a las aguas circundantes (Ficha Ramsar No. 1401) (Marechal et al, 2000). Limita al Sur con Las Esclusas y al oeste con la ciudad de Guayaquil, al norte y al este con la ciudad de Durán (Jaramillo et al. 2008), cuyas coordenadas geográficas se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

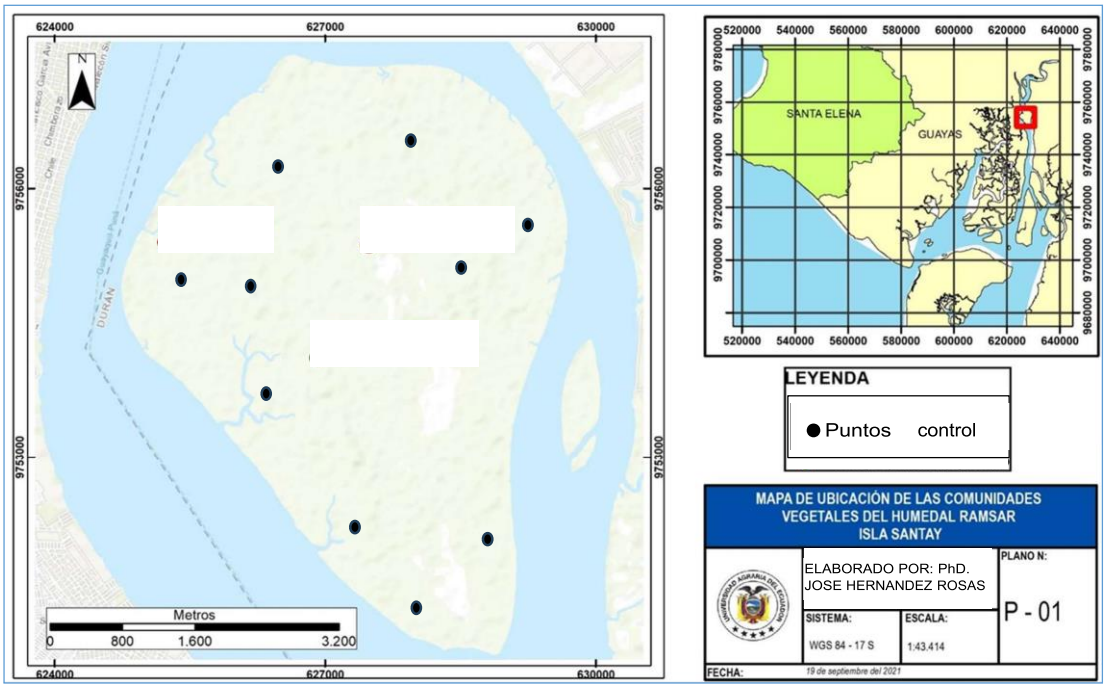
Ubicación Geográfica de la Isla Santay

LONGITUD	LATITUD	REFERENCIA
79°52’17,4’’	2°10’41,6’’	Prominencia rocosa del cerro Santa Ana
79°51’19,0’’	2°11’05,9’’	La Puntilla
79°51’48,4’’	2°15’23,6’’	Desembocadura del estero de las esclusas
79°49’31,4’’	2°16’02,5’’	Desembocadura de Estero Canta Gallo

Nota. Fuente: Ministerio del Ambiente [MAE] (2016)

Figura 19

Ubicación del área de estudio, señalando los puntos de control de campo



Nota. Fuente: Lara (2018).

En la representación de la ubicación del área de estudio, que equivale a la superficie de la isla Santay dentro del Área Nacional Recreacional (Figura 19), se señalan los diferentes puntos que posteriormente fueron visitados, con la finalidad de corroborar la información obtenida del análisis multitemporal, cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14

Coordenadas de trabajo de campo

N°	S	W	ALTURA(m)	Observación
1	02°12’51.1”	079°50’53.5”	6	Bosque manglar denso
2	02°12’41.3”	079°50’56.5”	8	Bosque abierto disperso
3	02°12’0.71”	079°51’09.0”	5	Vegetación herbácea
4	02°13.536’	079°52.059’	8	Bosque con alta densidad de palmas
5	02°13.525’	079°52.039’	7	
6	02°10.243’	079°36.046’	8	Bosque con baja densidad de palmas
7	02°10.236’	079°36.078’	6	

Nota. Fuente: Lara (2018).

2.2. Métodos y Técnicas

Para llevar a cabo esta investigación se tomó información recolectada en visitas a la Isla Santay y análisis de fotografías aéreas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a diferentes intervalos de tiempo en un rango de 54 años, en conjunto con software libre. Una vez obtenidos los datos se clasificó la vegetación presente en diferentes intervalos de tiempo en la Isla Santay, cuantificando el área en la que se encuentra.

A continuación, se describen las fases para obtener la información necesaria.

2.2.1 Obtención de Datos

El área de estudio es la isla Santay (Figura 19), perteneciente tanto al cantón Durán en el extremo Este como a la provincia del Guayas en el extremo Oeste, en la cual se determinará el cambio de la cobertura vegetal en un periodo de tiempo de aproximadamente de 54 años.

Se procuró que las imágenes utilizadas para el estudio presenten un porcentaje menor de cobertura nubosa dentro del área de estudio, y separándolas en rangos de tiempo. Las imágenes se las obtuvo del Instituto Geográfico Militar (IGM).

2.2.2. Tratamiento Básico de las Fotografías Aéreas

Las imágenes físicas obtenidas en archivos individuales se transformaron en digitales, en formato .jpg, las cuales fueron sometidas a una corrección geométrica mediante su georreferenciación.

Según Palacios Bermúdez (2015), la georreferencia de las imágenes satelitales es la corrección geométrica que en general permite que las imágenes satelitales utilizadas eliminen distorsiones geométricas indeseables y adaptarla a proyecciones cartográficas deseadas. Es de hacer notar que las imágenes contaban con su respectiva georreferenciación por lo que se procura su verificación observando en cada una de las fotográficas los datos respectivos de latitud y longitud, proyectando el mismo sistema de coordenadas de proyección (WGS 84) (Arias et al., 2014).

2.2.3. Clasificación de la Cobertura de la Superficie de la Isla Santay

La clasificación no supervisada es un método que se utiliza cuando se desconocen las características de la superficie terrestre; este es un procedimiento que permite mediante programas informáticos agrupar en diferentes clases espectrales los pixeles que no sean fácilmente reconocidos (Arango, Branch y Botero, 2005, Palacios Bermúdez, 2015).

Una clasificación no supervisada debe tener presente aspectos como:

- Contar con una imagen satelital multiespectral,
- Valorar los datos contenidos en la imagen, así como su calidad,
- Clasificar el área de estudio basados en algoritmo de agrupamiento de los pixeles,
- Representación tabular de la clasificación, tablas estadísticas, análisis de datos digitales; y,
- Evaluación de los resultados.

2.2.4. Análisis Multitemporal de las Fotografías Aéreas

A partir de las imágenes clasificadas para la isla Santay entre los años de 1962 y 2016, Lara (2018), buscó la detección de posibles cambios ocurridos en la cobertura vegetal en la isla durante el periodo seleccionado. Para su análisis preliminar y procesamiento espacial se utilizó un estereoscopio, y luego, por medio del software, se realizó la evaluación de la cobertura vegetal de la isla obtenida de fotografías aéreas a diferentes intervalos de tiempo.

2.2.5. Clasificación no Supervisada de las Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales utilizadas para el estudio corresponden a la plataforma gratuita de Google Earth, en la cual se seleccionó imágenes que no presentaron más del 10 % de cobertura de nubes, sobre el área de estudio. Esto permitió ahorrar tiempo en tratamientos correctivos y obtener una correcta clasificación y determinación de los cambios de la cobertura vegetal (Vázquez, 2015).

La clasificación no supervisada permite componer coberturas acordes a niveles digitales, lo que facilita la digitalización y la inspección de áreas con cobertura

vegetal. Con esta clasificación a medida que se añaden más clases, el nivel de detalle del resultado refleja los posibles cambios de cobertura, de la misma forma, al añadir detalles, también afectando así la depuración de la cobertura vectorial resultante (Chuvieco, 1995, Guerra Cerezo, 2010).

Una vez realizados los procedimientos primarios por Lara (2018), definiendo las proyecciones en el sistema de coordenadas a WGS 1984 UTM Zone 17S en las imágenes, a través de las herramientas del software ArcGIS 10.1, se realizó el procedimiento de la clasificación no supervisada en cada una de las fechas seleccionadas para el desarrollo de la investigación detallada a continuación:

1. Se empleó una herramienta del Arctoolbox llamada Iso Cluster la cual nos ayuda a colocar el número de clases a emplear para la clasificación de la imagen.
2. El siguiente proceso es el uso de la herramienta Maximum Likehood Classification dando así una firma de clases utilizadas para la clasificación con una máxima verosimilitud.
3. Convertir la imagen a polígonos con la herramienta Raster to polygon
4. Calcular el área en hectáreas
5. Para depurar los márgenes de errores se utiliza la herramienta llamada eliminate.
6. Luego se agrupan las clases empleando la herramienta Dissolve para así agrupar en un solo grupo cada una de las clases.

2.3. Análisis Estadístico

En el presente trabajo se utilizó un análisis estadístico descriptivo con información recolectada mediante fotografías aéreas y observaciones de campo, y para facilitar el tratamiento, manejo y análisis de la información base utilizada, se considera la siguiente etapa sugerida por Mena et al. (2011):

2.3.1. Cuantificación de Cobertura Vegetal

Se desarrolló un inventario de campo en los puntos señalados en la Figura 19, con la finalidad de corroborar las variables consideradas en la caracterización de la vegetación en la isla. De esta forma, se optó por el Muestreo Aleatorio Simple

debido a que no existen diferencias significativas en las imágenes con respecto a las especies vegetales.

El método seleccionado para completar las unidades muestrales faltantes corresponde a mediciones en estereoscopio mediante fotointerpretación, debido a que se logra una buena visibilidad de los individuos por cada unidad muestral seleccionada (García y Francois, 2008).

2.3.2. Tasa Anual de Cambio (TAC)

Con los datos de la superficie de cada área, se calcula la Tasa Anual de Cambio (TAC), para cada uno de los periodos.

Para estimar la TAC se utilizó la ecuación (Gonzáles, 2005), que indica el cambio de la cobertura en porcentaje de la superficie en el año de inicio y fin del estudio.

$$\delta = \sqrt[n]{\frac{S_1}{S_2} - 1}$$

Donde:

δ: Tasa Anual de Cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100)

S1: superficie del año de inicio del período S2: superficie al final del período n= número de años entre las dos fechas

El análisis multitemporal se realizó mediante la clasificación no supervisada de las imágenes, para luego sintetizar las medidas extraídas, considerando que los métodos y categorías deducidas se complementan (Rojas, 2011).

Para la detección de cambios que se dan por este método de clasificación, se emplea la comparación de imágenes clasificadas por separado, generando una tabla multitemporal, en donde se presentan las modificaciones que se producen en los periodos de tiempo, observando las zonas estables y dinámicas, así como las coberturas originales y actuales, lo que indica qué tendencias de cambios hubo en la zona de estudio.

A partir de la matriz generada se puede calcular las diferencias entre las fechas, considerando el grado de asociación entre filas y columnas, de igual manera podría analizar la información almacenada en un Sistema de Información geográfica (SIG).

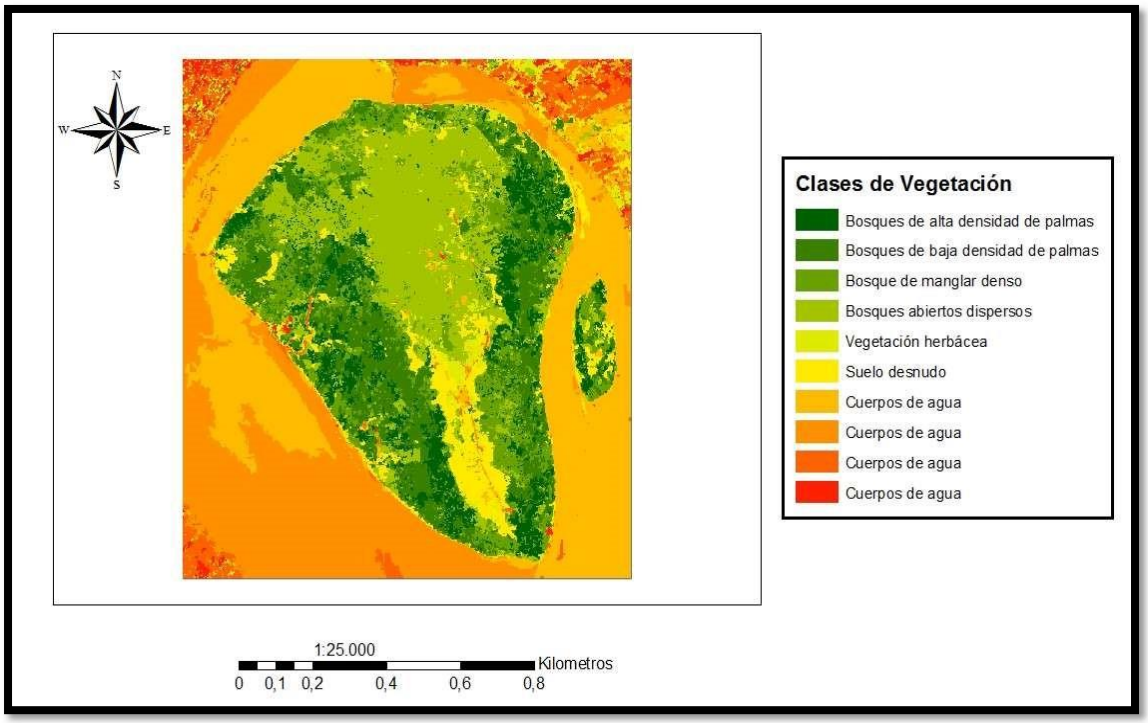
3. Resultados

3.1. Características Actuales de la Superficie de la Isla

Una vez realizado los pasos básicos, se logró un mapa que evidencia las características de la actual cobertura presente en la isla, el cual se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Cobertura de la superficie de Isla Santay del año 2016



Nota. Fuente: Lara (2018)

Al realizar la clasificación no supervisada usando 10 clases, se puede evidenciar una mayor precisión en los detalles (Martínez & Ruiz, 2017). Como se puede observar en la imagen de la Figura 20, buena parte de las áreas que representan los cuerpos de aguas, se refieren al río Guayas, las cuales se encuentran

representadas por las clases siete (7), ocho (8), nueve (9) y diez (10). Las clases encontradas corresponden a:

- Bosques con alta densidad de palmas, la cual se encuentra conformada por agrupaciones de la Palma Imperial (*Roystonea oleracea* (Jacq.) O.F. Cook).
- Bosques con baja densidad de palmas, conformadas por la palma imperial individuales o en pequeños grupos remanentes.
- Bosque de manglar denso, distribuida hacia los entornos de la isla caracterizada por tener diferentes tipos de mangle.
- Bosque abiertos dispersos.
- Vegetación herbácea, con pequeños arbustos.
- Suelo desnudo, tierras sin vegetación.
- Cuerpos de agua en la isla diferenciados por la profundidad.

Los porcentajes de cobertura de las diferentes clases (tipos de vegetación y de los cuerpos de agua), presentes actualmente en la Isla Santay, se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Clases de Cobertura Vegetal año 2016

Clase	Porcentaje	Tipos
1	20%	Bosques con alta densidad de palmas
2	17%	Bosques con baja densidad de palmas
3	25%	Bosque de manglar denso
4	17%	Bosque abierto disperso
5	10%	Vegetación herbácea
6	5%	Suelo desnudo
7	1%	
8	3%	
9	1%	Cuerpos de Agua
10	1%	
Total	100%	

Nota. Fuente: Lara (2018)

El porcentaje de cobertura de la superficie diferenciado en la isla Santay para el año 2016 se encuentra conformado por 25% de bosque de manglar denso

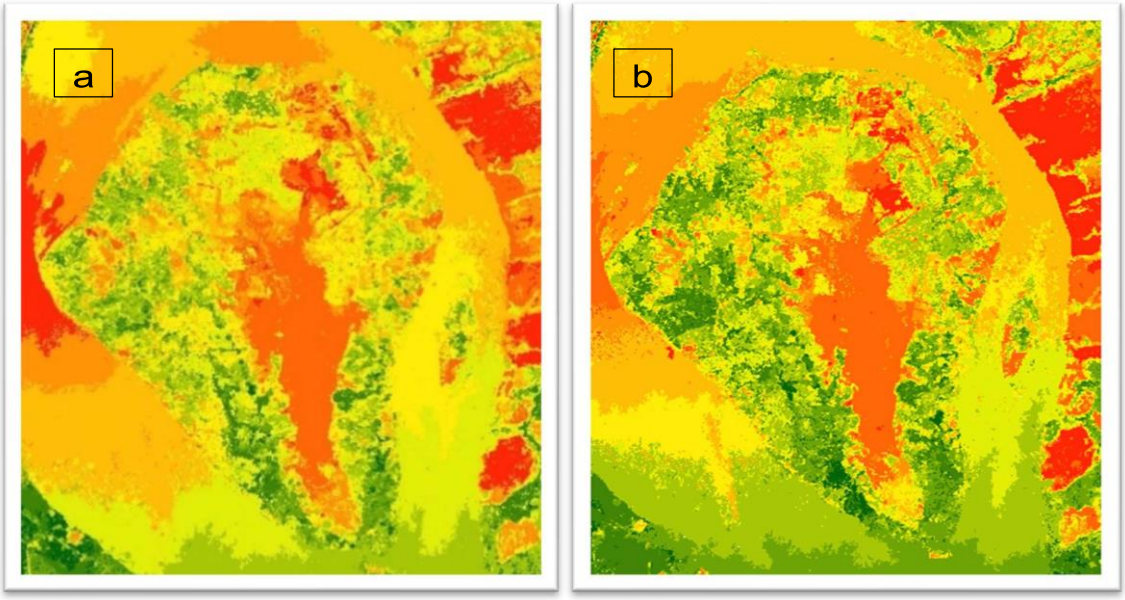
seguido por 20% de bosques con alta densidad de palmas, 17% de bosques con baja densidad de palmas, 17% de bosques abiertos dispersos, 10%; de vegetación herbácea, un 5% los suelos desnudos y 6% de cuerpos de agua.

3.2. Comparaciones de la Cobertura Entre los Años 1962 y 2016

Conforme a la información obtenida de estudios ejecutados por el INOCAR en el año de 1977, con el uso de sensores remotos, mostraron variaciones morfológicas en la isla en el año de 1961 (Jaramillo et al., 2008), por lo que, en nuestro estudio, se consideró importante iniciarlo, a partir de esta fecha o de una fecha cercana en la que se cuenta con información de sensores remotos, por lo cual se logró obtener la imagen de la fotografía aérea del año 1962.

Figura 21

Imágenes de la Isla Santay de los años 1962 (a) y 1970 (b) procesadas



Nota. Fuente: Lara (2018).

Para la comparación de la cobertura entre los años 1962 y 2016, se analizaron diferentes imágenes de la Isla Santay, obtenidas a varios intervalos de tiempo, mediante la obtención de los porcentajes de cobertura de cada uno de los tipos de vegetación.

En la Figura 21 se puede observar las imágenes procesadas con Software Libre en el rango de los años 1962 y 1970.

En la Tabla 16 se puede apreciar los porcentajes de cada una de las clases del año 1962 y 1970.

Tabla 16

Cambio de la cobertura de la superficie en el periodo 1962-1970

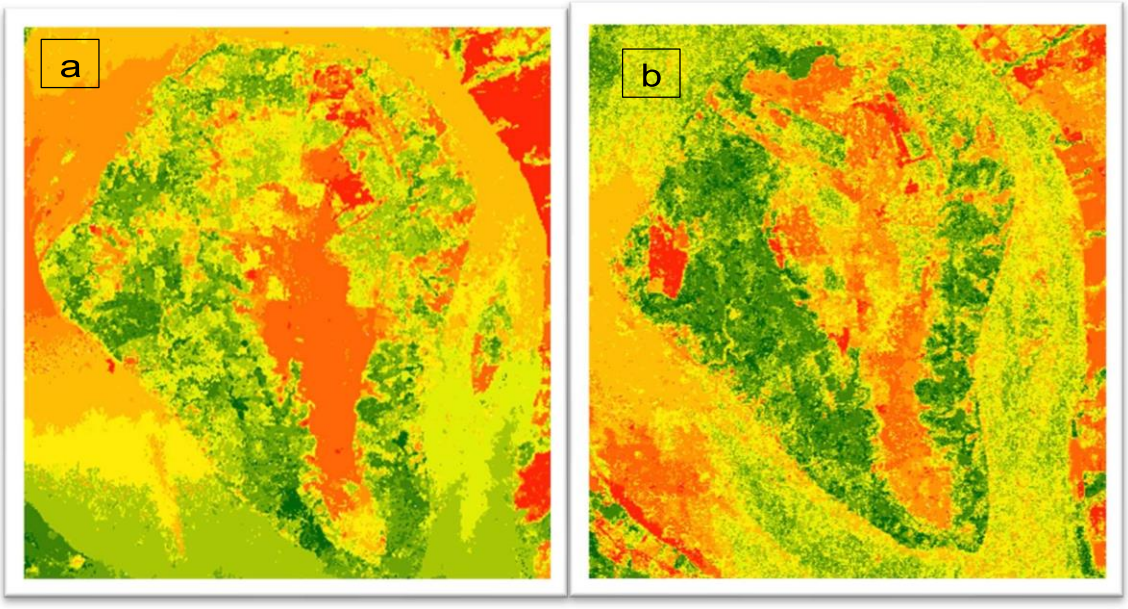
CLASES	1962 (%)	1970 (%)	DIFERENCIA		TIPO DE COBERTURA
			DISMINUCIÓN	AUMENTO	
1	0%	0%	-	-	Bosques con alta densidad de palmas
2	0%	0%	-	-	Bosques con baja densidad de palmas
3	25%	34%	-	8%	Bosque de manglar denso
4	10%	13%	-	3%	Bosque abierto disperso
5	15%	18%	-	3%	Vegetación herbácea
6	44%	28%	16%	-	Suelo desnudo
7	2%	2%	-	-	
8	2%	2%	-	-	Cuerpos de agua
9	1%	1%	-	-	
10	1%	2%	-	1%	

Nota. Fuente: Lara (2018)

En la Figura 22 se puede observar la isla Santay de los años 1970 y 1977, procesadas en Software Libre.

Figura 22

Imágenes de la isla Santay de los años 1970 (a) y 1977 (b) procesadas



Nota. Fuente: Lara (2018)

Mientras que en el año de 1969 el mayor porcentaje presente en la Isla Santay es el suelo desnudo con el 44%; seguido del bosque de manglar denso con el 25%; la vegetación herbácea con un 15%; y, con el menor porcentaje se encuentran los bosques abiertos dispersos con el 10%.

En el año 1970 el mayor porcentaje lo presentaba el manglar denso con el 34% en comparación al año de 1962 que aumentó un 8%. Mientras que el bosque abierto disperso mostró un aumento del 3% al igual que la vegetación herbácea mostró 3% de aumento y el suelo desnudo disminuyo el 16%.

En la Tabla 17 se puede apreciar los porcentajes de cada una de las clases en los años 1970 y 1977 y esto ha sido la diferencia en el trascurso de 7 años.

Tabla 17

Cambio de la cobertura de la superficie en el periodo 1970-1977

CLASES	1970 (%)	1977 (%)	DIFERENCIA		TIPO DE COBERTURA
			DISMINUCIÓN	AUMENTO	
1	0%	0%	-	-	Bosques con alta densidad de palmas
2	0%	0%	-	-	Bosques con baja densidad de palmas
3	34%	21%	13%	-	Bosque de manglar denso
4	13%	24%	-	11%	Bosque abierto disperso
5	18%	19%	-	1%	Vegetación herbácea
6	28%	6%	22%	-	Suelo desnudo
7	2%	2%	-	-	Cuerpos de agua
8	2%	2%	-	-	
9	1%	1%	-	-	
10	2%	1%	1%	-	

Nota. Fuente: Lara (2018).

En el año 1970 se apreció que la cobertura con mayor porcentaje es el bosque de manglar denso con un 34%, seguida de los suelos desnudos con un 28% y la cobertura con menor porcentaje fue observado en los bosques abiertos dispersos con un 13%

Mientras que en el año 1977 la cobertura con mayor porcentaje son bosques abiertos dispersos con un 24%, y la de menor porcentaje son suelos desnudos con el 6%. Pudiéndose observar que los suelos desnudos disminuyeron un 22%, 13% los bosques de manglar denso, mientras que los bosques abiertos dispersos aumentaron en un 11%.

En la Tabla 18 se observa la cobertura de la superficie de isla Santay en el año 1977 donde el bosque abierto disperso mostro 24%, seguido por 21% de bosque de manglar denso y, la vegetación herbácea con 19%.

En el año 1990 el mayor porcentaje se observó en el bosque abierto disperso con un 33%, aumentando un 7% comparado con el año 1977, los bosques densos de manglar presentaron un 33% con un aumento del 12% en el transcurso de 13 años (Tabla 18).

Tabla 18

Cambio de la cobertura de la superficie en el periodo 1977-1990

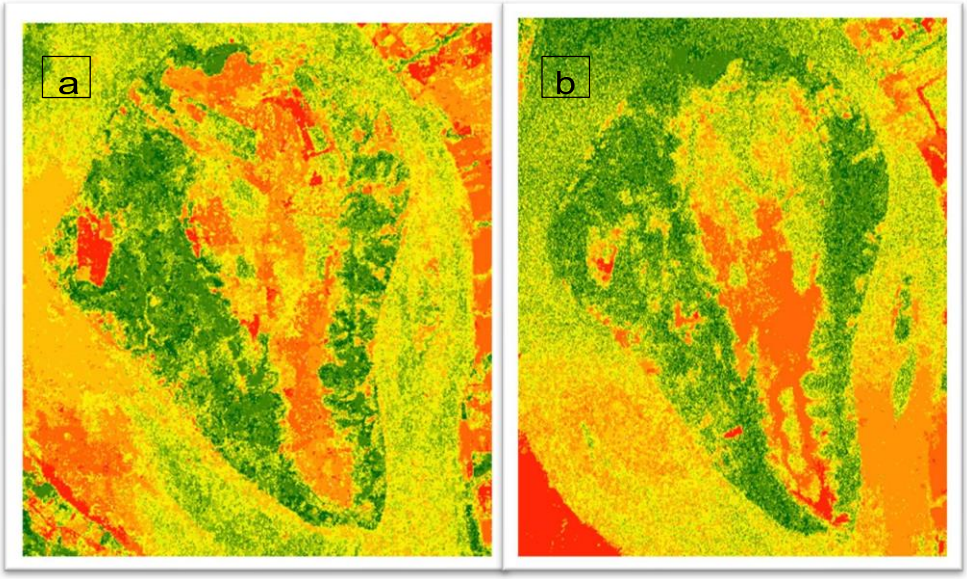
CLASES	1977 (%)	1990 (%)	DIFERENCIA		TIPO DE COBERTURA
			DISMINUCIÓN	AUMENTO	
1	0%	0%	-	-	Bosques con alta densidad de palmas
2	0%	0%	-	-	Bosques con baja densidad de palmas
3	21%	33%	-	12%	Bosque de manglar denso
4	24%	31%	-	7%	Bosque abierto disperso
5	19%	20%	-	1%	Vegetación herbácea
6	6%	8%	-	2%	Suelo desnudo
7	2%	2%	-	-	
8	2%	3%	-	1%	
9	1%	1%	-	-	Cuerpos de agua
10	1%	2%	-	1%	

Nota. Fuente: Lara (2018).

Durante este intervalo aún no se detecta la presencia de la cobertura vegetal de los bosques de palmas y que las otras clases de coberturas presentan un incremento en el porcentaje en el año 1990 respecto al año1977 (Tabla 18).

Figura 23

Imágenes de la isla Santay de los años 1977 (a) y 1990 (b) procesadas



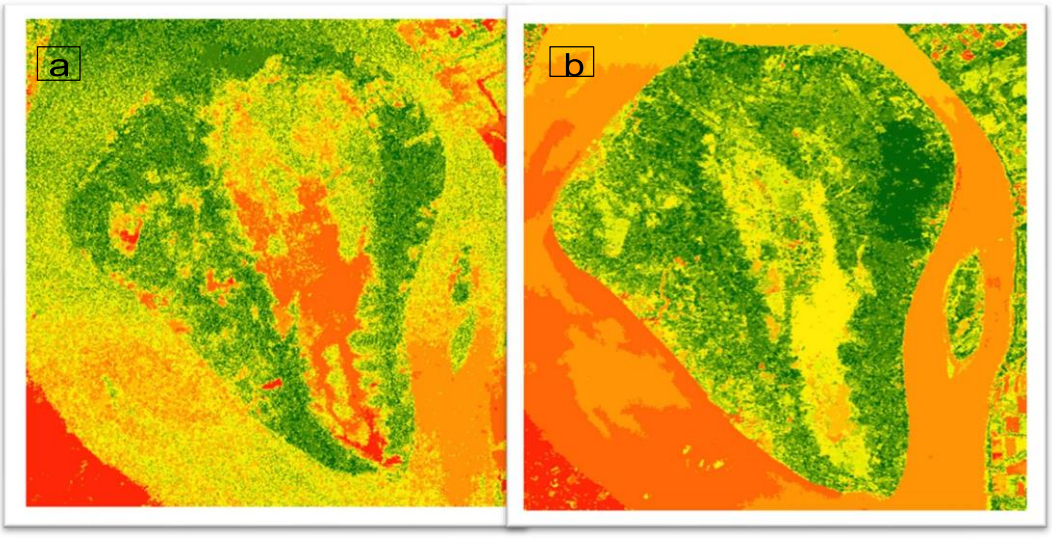
Nota. Fuente: Lara (2018)

En la Figura 23 se puede observar las imágenes de la Isla Santay de los años 1977 y 1990 procesadas con Software Libre, para conocer de esta manera cual es el porcentaje de cada una de las clases en cada año de estudio.

En la Figura 24 se puede observar las imágenes de los años 1990 y 2000 procesadas en Software Libre.

Figura 24

Imágenes de la isla Santay de los años 1990 (a) y 2000 (b) procesadas



Nota. Fuente: Lara (2018)

Durante el año 1990 (Tabla 19) la cuantificación en la cobertura presento un mayor porcentaje para el bosque de manglar denso con un 33%, seguido del 31% del bosque abierto disperso y con la menor cobertura el suelo desnudo con el 8%.

Mientras que para el año 2000 la cobertura de la superficie de la isla que presentaba el bosque con alta densidad de palmas fue del 13%, superior a la cobertura que presentó durante años anteriores la cual fue del 0%.

En la interpretación de las imágenes, para el año 2000, la cobertura de bosques con baja densidad de palmas tiene un 20%, el bosque de manglar denso disminuyo en 8%; el bosque abierto disperso disminuyo un 15%, y tanto la vegetación herbácea como el suelo desnudo tuvieron una disminución del 5%.

Los cuerpos de agua aumentaron el 1% Tabla 19.

Tabla 19

Cambio de la cobertura de la superficie en el periodo 1990-2000

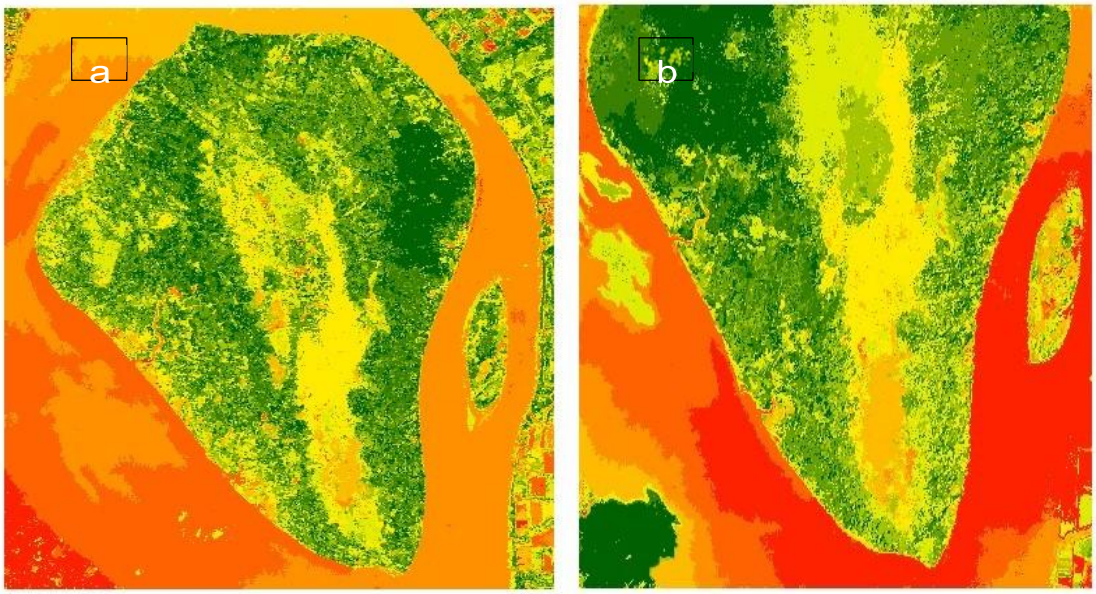
CLASES	1990 (%)	2000 (%)	DIFERENCIA		TIPO DE COBERTURA
			DISMINUCIÓN	AUMENTO	
1	0%	13%	-	13%	Bosques con alta densidad de palmas
2	0%	20%	-	20%	Bosques con baja densidad de palmas
3	33%	25%	8%	-	Bosque de manglar denso
4	31%	16%	15%	-	Bosque abierto disperso
5	20%	15%	5%	-	Vegetación herbácea
6	8%	3%	5%	-	Suelo desnudo
7	2%	1%	1%	-	
8	3%	2%	-	1%	Cuerpos de agua
9	1%	2%	-	1%	
10	2%	3%	-	1%	

Nota. Fuente: Lara (2018)

En la Figura 25 se puede observar las imágenes de los años 2000 y 2008 procesadas con Software Libre.

Figura 25

Imágenes de la isla Santay de los años 2000 (a) y 2008 (b) procesadas



Nota. Fuente: Lara (2018)

En la Tabla 20 las clases del año 2000, la cobertura con mayor porcentaje son los bosques abiertos dispersos con el 25%, seguida de los bosques con baja densidad de palma con el 20%; y, la cobertura con menor porcentaje es los suelos desnudos con el 3%.

Tabla 20

Cambio de la cobertura de la superficie en el periodo 2000-2008

CLASES	2000 (%)	2008 (%)	DIFERENCIA DISMINUCIÓN	AUMENTO	TIPO DE COBERTURA
1	13%	10%	3%	-	Bosques con alta densidad de palmas
2	20%	18%	2%	-	Bosques con baja densidad de palmas
3	25%	14%	11%	-	Bosque de manglar denso
4	16%	22%	-	6%	Bosque abierto disperso
5	15%	3%	12%		Vegetación herbácea
6	3%	7%	-	5%	Suelo desnudo
7	1%	6%	-	5%	
8	2%	2%	-	-	Cuerpos de agua
9	2%	13%	-	11%	
10	3%	5%	-	2%	

Nota. Fuente: Lara (2018)

Durante el año 2008 la cobertura con mayor porcentaje lo presentó el bosque abierto disperso con un 22% y el menor porcentaje lo alcanzó la vegetación herbácea con un 3%. Durante este lapso (8 años) el bosque abierto disperso y el bosque de manglar disminuyeron 11% y 12% respectivamente, y los suelos desnudos aumentaron 5%.

En la Tabla 21 el porcentaje mayor fue el 22% correspondiente al bosque abierto disperso; seguido de bosques con baja densidad de palmas con un 18%; los bosques con alta densidad de palmas con un 10%; la vegetación herbácea un 3%; y, el suelo desnudo 7%.

Tabla 21

Cambio de la cobertura de la superficie en el periodo 2008-2016

CLASES	2008 (%)	2016 (%)	DIFERENCIA DISMINUCIÓN	DIFERENCIA AUMENTO	TIPO DE COBERTURA
1	10%	20%	-	10%	Bosques con alta densidad de palmas
2	18%	17%	1%	-	Bosques con baja densidad de palmas
3	14%	25%	-	11%	Bosque de manglar denso
4	22%	17%	-	5%	Bosque abierto disperso
5	3%	10%	-	7%	Vegetación herbácea
6	7%	5%	2%	-	Suelo desnudo
7	13%	1%	12%	-	
8	5%	3%	2%	-	Cuerpos de Agua
9	6%	1%	5%	-	
10	2%	1%	1%	-	

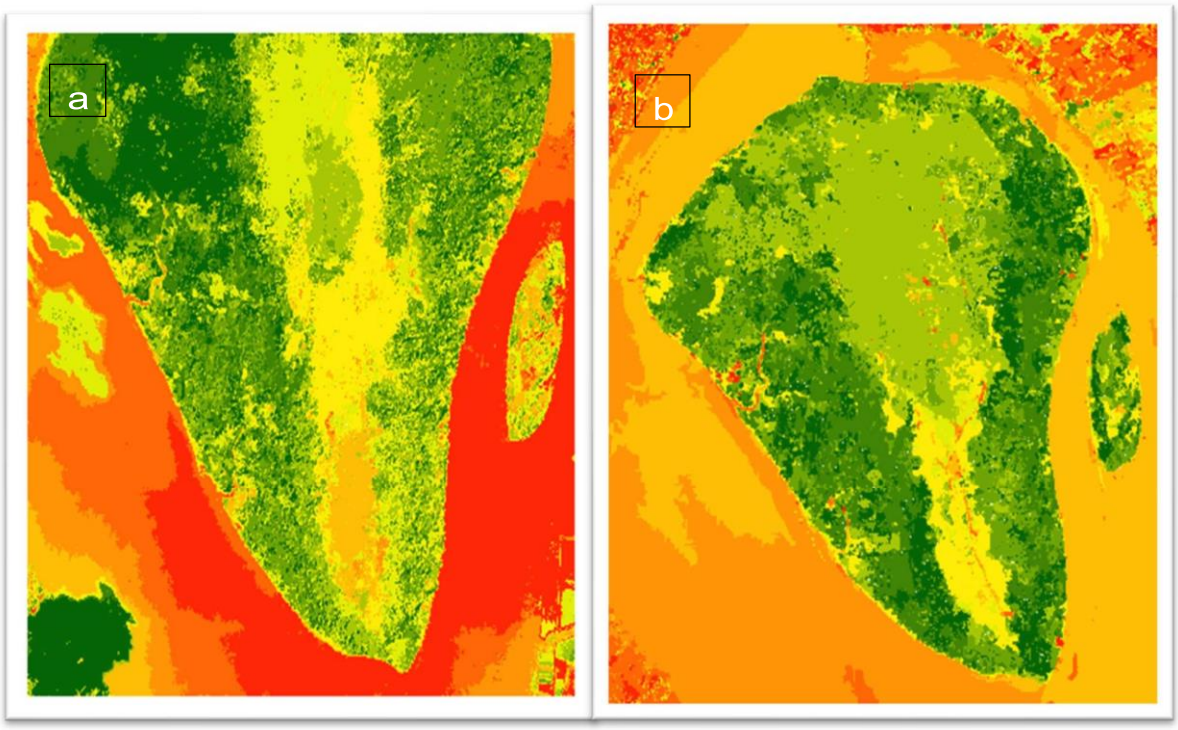
Nota. Fuente: Lara (2018)

Para el año 2016 los bosques de alta densidad de palmas tuvieron un aumento del 10% en su cobertura; los bosques con baja densidad de palmas disminuyeron 1% de su cobertura; por su parte los bosques de manglar denso presentaron un aumento del 11%; los bosques abiertos dispersos un aumento del 5%; y, por último, la vegetación herbácea un aumento del 7%.

La Figura 26 muestra las imágenes de la Isla Santay en los años 2008 y 2016 procesadas con Software Libre.

Figura 26

Imágenes de la isla Santay de los años 2008 (a) y 2016 (b) procesadas



Nota. Fuente: Lara (2018)

3.3. Análisis del Cambio de la Cobertura de la isla en el Periodo 1962-2016

La cuantificación del cambio en la cobertura en los diferentes intervalos de tiempo mediante un análisis multitemporal se realizó, mediante la determinación de la Tasa Anual de Cambio (TAC) de cada una de las clases de vegetación.

En la Tabla 22 se puede observar la tasa anual de cambio de las clases de cobertura, apreciando las variaciones en los diferentes rangos de tiempo. Para el Bosque con alta densidad de palmas (Clase 1), la Tasa Anual de Cambio en el tiempo, a partir de una escasa o nula presencia, alcanza valores importantes de cobertura con un incremento de la Tasa Anual de Cobertura del 1.35 %.

Tabla 22

Tasa Anual de Cambio de las clases de cobertura

Clase de Cobertura	Periodo	Diferencia	Rango de tiempo (Años, N)	TAC (%) Aumento	Descenso
1.Bosques con alta densidad de palmas	1962/1970	0	8	-	-
	1970/1977	0	7	-	-
	1977/1990	0	13	-	-
	1990/2000	12.199	10	1.28	-
	2000/2008	0.239	8	0.84	-
	2008/2016	11.319	8	1.35	-
2.Bosques con baja densidad de palmas	1962/1970	0	8	-	-
	1970/1977	0	7	-	-
	1977/1990	0	13	-	-
	1990/2000	18.276	10	1.34	-
	2000/2008	0.048	8	0.68	-
	2008/2016	32.655	8	1.55	-
3.Bosque de manglar denso	1962/1970	1.959	8	1.88	-
	1970/1977	0.825	7	0.97	-
	1977/1990	1.938	13	1.05	-
	1990/2000	1.673	10	1.05	-
	2000/2008	0.239	8	0.84	-
	2008/2016	7.117	8	1.28	-
4.Bosque abierto disperso	1962/1970	1.289	8	1.03	-
	1970/1977	5.065	7	1.26	-
	1977/1990	1.909	13	1.05	-
	1990/2000	0.618	10	0.95	-
	2000/2008	1.022	8	1.00	-
	2008/2016	1.900	8	1.08	-
5.Vegetación herbácea	1962/1970	2.385	8	1.12	-
	1970/1977	14.164	7	1.46	-
	1977/1990	1.245	13	1.02	-
	1990/2000	0.692	10	0.96	-
	2000/2008	0.104	8	0.75	-
	2008/2016	25.628	8	1.49	-
6.Suelo desnudo	1962/1970	4.378	8	1.20	-
	1970/1977	0.467	7	0.90	-
	1977/1990	1.782	13	1.05	-
	1990/2000	0.597	10	0.95	-
	2000/2008	0.754	8	0.96	-
	2008/2016	0.619	8	1.06	-

Nota. Fuente: Lara (2018)

En el caso de la Tasa Anual de Cambio del Bosques con baja densidad de palmas (Clase 2), observamos que los tres primeros rangos de tiempo la Tasa Anual de Cambio son igual a cero, teniendo dos TAC altas e intermedia una baja entre los años2000-2008, con la tasa más alta en el último rango de tiempo.

En relación con la Tasa Anual de Cambio de la cobertura del Bosque de manglar denso (Clase 3), durante los últimos 54 años, en el segundo intervalo de tiempo se obtuvo un descenso, y en los siguientes periodos trata de estabilizarse al aumentar la velocidad de incremento de su cobertura.

Por otra parte, como se muestra en la Tabla 22, la Tasa Anual de Cambio de la cobertura vegetal de Bosques abiertos dispersos (Clase 4), a lo largo del periodo de estudio, se presenta como la más baja en el período comprendido entre los años 1990-2000 con el 0.95% y la más alta de 1.26% en el período 1970-1977.

La Tasa Anual de Cambio de la cobertura de Vegetación herbácea (Clase 5), varía desde la mayor tasa registrada para el período 2008-2016 con el 1.49%, a la menor tasa de aumento en el período 2000-2008 con un valor de 0.75%.

Por su parte, la Tasa Anual de Cambio del suelo desnudo (Clase 6), inicialmente muestra valores relativamente elevados de 1.20% en el período de los años 1960-1970 pero en los últimos años se mantiene en equilibrio.

En la Tabla 23 se presenta la Tasa Anual de Cambio en el período de estudio, en la cual se observa que en cada una de las clases se presenta un aumento en la cobertura a lo largo del tiempo.

Tabla 23

Tasa Anual de Cambio de los periodos 1962-2016

Clase (Cobertura Vegetal)	Periodo	Diferencias	Rango de tiempo (N)	TAC (%)
Bosques con alta densidad de palmas	1962/2016	48,379/1.46	26	1.14
Bosques con baja densidad de palmas	1962/2016	42,484/1.49	26	1.14
Bosque de Manglar denso	1962/2016	46,766/5.23	54	1.04
Bosques abiertos dispersos	1962/2016	41,165/2.80	54	1.05
Vegetación herbácea	1962/2016	32,752/0.42	54	1.08
Suelo desnudo	1962/2016	5,368/2.02	54	1.02

Nota. Fuente: Lara (2018)

En el caso de los bosques con alta densidad de palmas, se registra una TAC del 1.14% seguido de los bosques con baja densidad de palmas con una TAC del

1.14%, mientras que la TAC con menor valor es la obtenida para el suelo desnudo con el 1.02%.

En la Tabla 24 se observan los porcentajes y el área estimada de cada una de las clases de cobertura en los años 1962 y 2016. En el año de 1962 el mayor porcentaje de cobertura es el del suelo descubierto con el 36% del área total de la isla, y la de menor cobertura con el 7% es la vegetación herbácea.

Mientras que, en el año 2016, el mayor porcentaje de cobertura de la superficie de la isla es el del Bosque de manglar denso con el 25%, y el de menor porcentaje es el suelo descubierto con el 5%.

Tabla 24

Área de cobertura de las clases analizadas en la isla Santay

Clases	1962 (ha)	Porcentaje	2016 (ha)	Porcentaje
1. Bosques con alta densidad de palmas	0	0%	0.436	20%
2.Bosques con baja densidad de palmas	0	0%	0.370	17%
3.Bosque de Manglar denso	0.326	15%	0.545	25%
4.Bosques abiertos dispersos	0.501	23%	0.370	17%
5.Vegetación herbácea	0.152	7%	0.218	10%
6.Suelo desnudo	0.784	36%	0.109	5%
7.Cuerpos de agua	0.130	6%	0.022	1%
8.Cuerpos de agua	0.153	7%	0.065	3%
9.Cuerpos de agua	0.044	2%	0.022	1%
10.Cuerpos de agua	0.088	4%	0.022	1%
Total	2.179	100%	2.179	100%

Nota. Fuente: Lara (2018).

4. Discusión

Diversas investigaciones recalcan la estimación y análisis multitemporal para conocer los cambios de la vegetación, ya sea por pérdida o ganancia de la cobertura vegetal (Martínez & Ruiz, 2017).

El análisis evidenció que en el periodo de estudio 1962-2016 referente al análisis de la Tasa Anual de Cambio de las diferentes clases de cobertura a lo largo de

los 54 años, oscilan entre 1.02% a 1.14%, sin embargo, si consideramos períodos de tiempo más cortos, estas son menores (Tabla 23).

Según Villegas & Muñoz (2011), en el Parque Nacional Pico de Orizaba, ubicado en Veracruz-México, las tasas anuales estimadas del periodo (20032011) en un rango de tiempo de 8 años, para la vegetación de manglar y la de áreas sometidas a actividades antrópicas fueron respectivamente entre 0.1 y 1.3% respectivamente, la cual es similar a la obtenida en el presente estudio de isla Santay, tomando un rango de tiempo igual a 8 años, para el bosque de manglar denso de 0.84 % (Tabla 22).

A lo largo del tiempo las coberturas muestran un incremento consistente, llegando en algunos de los casos a mostrar cierta estabilidad. En los bosques de alta densidad de palmas y bosques de baja densidad de palmas en un principio se encontraban aparentemente ausentes, mostrando tasas de cambio iguales a 0 y al paso de los años, esos valores van aumentando, ampliando así la cobertura de la superficie de la isla (Tabla 22).

La prohibición de las actividades antrópicas en el área de estudio, a partir de su designación como: Sitio Ramsar N° 1041 en el año 2000 (Jaramillo et al., 2008) y Área Natural de Recreación Isla Santay y Gallo en el año 2010, son dos de las razones principales del aumento en la cubierta vegetal, la cual tiende a ser más alta en áreas protegidas en comparación a áreas no protegidas.

Martínez López (2010) en el estudio del cambio multitemporal de la cobertura en manglares del Golfo de Fonseca, Honduras, indica que en el año 1990 existía 17,251 ha de cobertura manglar, pero para el año 2002, solo se encontraron 16,020 ha, mostrando una reducción de 1,230 ha, las cuales fueron ocupadas para la industrialización en actividades acuícolas.

En isla Santay, el bosque de manglar denso tuvo un aumento en su cobertura, mostrando en el año 1962 una superficie de 0.326 ha (15%), mientras que en el año 2016 la cobertura aumento al 0.545 ha (25%), aumentado un 10% de la cobertura inicial.

El mayor porcentaje de cobertura, obtenido del análisis de las imágenes del año 2016, es del bosque de manglar denso con el 25%, los bosques con alta densidad de palmas con un 20%; seguido del 17% correspondientes a los bosques abiertos dispersos y con igual porcentaje a los bosques con baja densidad de palmas; y, con el 10% a la vegetación herbácea.

Dichos porcentajes corresponden a los seis tipos de clases en la cual se separó la vegetación existente de la isla, que, al compararlos con los obtenidos en intervalos de tiempo iniciales, muestran un consistente incremento de la cobertura boscosa y una reducción de las áreas con suelos descubiertos de vegetación, durante el transcurso de los últimos 54 años.

Según Guevara Romero & Montalvo Vargas (2015), los cambios del uso de suelo y vegetación que se han dado en el territorio de Sierra-Puebla, muestran que en su periodo de estudio 1980-2010, a pesar de ser una zona inicialmente dedicada principalmente a la agricultura, hay repercusiones en el entorno natural del lugar. El análisis del deterioro del suelo pasó de agricultura industrializada a producción agrícola de uso doméstico.

La recuperación de la vegetación secundaria arbustiva pasó a vegetación primaria arbórea, en el periodo de 1993-2010, por consiguiente, al denominar la zona como área protegida, su recuperación parece ser más evidente, en comparación a zonas intervenidas (Guevara Romero & Montalvo Vargas, 2015).

En nuestro caso, si consideramos que la superficie de la isla con una cobertura de Bosque con alta densidad de palmas más la superficie identificada con una cobertura de Bosques con baja densidad de palmas representa el 37% de la superficie de la isla para el año 2016, y reconociendo que la palma en cuestión (Roystonea oleracea) es una especie potencialmente invasora (Herrera et al., 2017a), es evidente que la recuperación de la cubierta vegetal de la isla Santay está ocurriendo en un proceso que debe ser controlado, con la finalidad de que su recuperación ocurra por vegetación nativa.

5. Conclusiones

La superficie de isla Santay, muestra una clara recuperación de la cobertura vegetal en el período de observación, a partir del abandono de las actividades agropecuarias, al ser expropiadas las haciendas y recibir denominaciones como área protegida y como humedal Ramsar.

Los tipos de vegetación presentes en el área son: Bosques con alta densidad de palmas, Bosques de baja densidad de palmas, Bosques de manglar denso, Bosques abiertos dispersos, Vegetación herbácea y suelos desnudos aumentando y disminuyendo su cobertura en los últimos 54 años.

El incremento de las coberturas más evidentes son las de bosque con alta densidad de palmas aumentando un 20% y la del Bosque con baja densidad de palmas con el 17% evidenciada a partir de los años 90, los bosques de manglar denso aumentaron del 23% al 25%, los bosques abiertos dispersos del 17% a 23%. Mientras que las disminuciones más evidentes fueron: la vegetación herbácea del 10% a 7% y los suelos desnudos del 36% a 5%.

En la recuperación de la cobertura vegetal de la superficie de isla Santay, es evidente el desarrollo de una cubierta vegetal en donde al menos una especie introducida, Roystonea oleracea, genera un tipo de comunidad artificial, con características no nativas, que puede ser considerado como un antroma.