



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

EFFECTOS DE CICLONES TROPICALES SOBRE LA
CUBIERTA VEGETAL DE LA CUENCA BAJA Y
ESTERO DE SAN JOSÉ DEL CABO, B.C.S., MÉXICO.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Ecología de Zonas Áridas)

P r e s e n t a

Marcos Yoshio Shiba Reyes

La Paz, Baja California Sur, octubre de 2019.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 14:00 horas del día 31 del Mes de octubre del 2019, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

" Efectos de ciclones tropicales sobre la cubierta vegetal de la cuenca baja y estero de San José del Cabo, B.C.S., México."

Presentada por el alumno:

Marcos Yoshio Shiba Reyes

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Ecología de Zonas Áridas**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Co-Director de Tesis

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Director de Tesis

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón
Tutor

Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

Comité tutorial

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Co-Director de tesis

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Co-Director de tesis

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Co-Tutor de tesis

Comité revisor de tesis

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Dr. Enrique Troyo Diéguez
Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

Jurado de examen

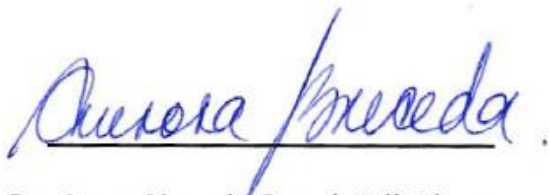
Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Dr. Enrique Troyo Diéguez
Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

Suplente

Dra. Yolanda Lourdes Maya Delgado

Resumen

Los ciclones tropicales afectan anualmente las costas de Baja California Sur entre junio y octubre, aunque generan un aporte de agua importante en la entidad también generan disturbios naturales que modifican la estructura y composición de los ecosistemas. Los pronósticos de cambio climático indican que dichos eventos serán más intensos y frecuentes, por lo que es necesario conocer la resiliencia de los ecosistemas. En el presente estudio se evalúa la capacidad de resiliencia de la cuenca baja y el estero San José del Cabo a los ciclones tropicales utilizando como indicador cambios en la cobertura vegetal. Durante el periodo 2013-2017 los efectos de los ciclones tropicales fueron analizados mediante imágenes previas y posteriores de cada evento registrado. Se utilizaron 19 imágenes Landsat-8, con 30 metros de resolución y dos imágenes Spot-6 con resolución de 1.5 metros para el ciclón tropical *Lidia*. Se consideraron como indicadores de vegetación los valores del NDVI ≥ 0.2 . Se analizaron imágenes previas y posteriores para obtener las áreas que presentan ganancia, estabilidad y pérdida de cubierta vegetal. En el periodo estudiado se presentaron 11 eventos, siendo *Odile* (2014) y *Lidia* (2017) los que ocasionaron mayor pérdida en la cobertura vegetal con 35.4% y 20.5% respectivamente, siendo la vegetación herbácea, vegetación urbana y matorral sarcocaulé las más afectadas. Para estimar la resiliencia se analizó la recuperación en la siguiente temporada de secas de la cubierta vegetal perdida. Para el evento de *Odile*, el área que mostró recuperación vegetal fue de 8.5% y 25.4% para *Lidia*. El tipo de vegetación que presentó una mayor recuperación fue carrizo-tule, zonas agrícolas y vegetación arbórea. Utilizando dos imágenes Spot-6 se realizó un análisis del ciclón tropical *Lidia* en el área del estero San José del Cabo donde se presentó una pérdida de cobertura vegetal correspondiente al 17%, de la cual la vegetación herbácea, carrizo-tule y palmar fueron las más afectadas. Mediante imágenes de Google Earth se realizó un seguimiento del palmar en el estero presentando una pérdida total en el cauce principal del arroyo. Se observó que el principal causante de pérdida de cobertura vegetal es la acción de la precipitación y el cauce del arroyo que fluye con gran fuerza, esto provoca cambios en la composición de especies favoreciendo el crecimiento de especies invasoras como *Arundo donax* (carrizo) y *Tamarix sp* (pino salado). Se presenta una recuperación de la cobertura vegetal a estos eventos, pero la frecuencia de próximos ciclones tropicales junto con el deterioro provocado por el cambio de uso de suelo, incendios forestales y diferentes formas de contaminación compromete la resiliencia de este ecosistema.



Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Co-Director de Tesis



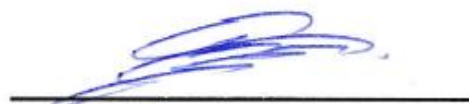
Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Director de Tesis

Summary

Annually, tropical cyclones affect the coast of Baja California Sur, between June and October. Although they generate an important contribution of water in the entity, they also generate natural disturbances that modify the structure and composition of the ecosystems. The Climate Change predictions indicate that these events will be more intense and frequent, therefore is necessary to know the resilience of ecosystems. In this study, the resilience of the lower basin and the San Jose del Cabo estuary was evaluated using as an indicator the changes in vegetation cover. During the 2013-2017 period the effect of tropical cyclones were analyzed using satellite images before and after each registered event. Nineteen Landsat-8 images were used with 30 m of spatial resolution and two Spot-6 images with 1.5 m of spatial resolution for the tropical cyclone *Lidia*. An NDVI value ≥ 0.2 was considered as vegetation indicator. The NDVI values were analyzed in images before and after each event in order to obtain areas that show gain, stability and loss of vegetation cover. Eleven events were registered during the studied period, *Odile* (2014) and *Lidia* (2017) were the ones that caused the greatest loss in vegetation cover with 35.4% and 20.5% respectively, being the herbaceous vegetation, urban vegetation and sarcocaulous scrub the most affected. The resilience was determined analyzing the loss vegetation cover and the recovery in the next dry season. For *Odile*, the area that showed vegetation recovery was 8.5% and 25.4% for *Lidia*. The vegetation that show a major recovery was reed-typha, agricultural areas and arboreous vegetation. With two spot-6 images, an analysis of tropical cyclone Lidia was realized in the San Jose del Cabo estuary, where there was a loss of vegetation cover corresponding to 17%: herbaceous vegetation, reed-typha and palm grove were the most affected. The palm grove present in the estuary was monitored through Google Earth images, presenting a total loss in the main stream. The main cause of loss vegetation was the action of precipitation and the great force of the stream flow. This causes change in the composition of species favoring the growth of invasive species such as *Arundo donax* (giant reed) and *Tamarix sp* (saltcedar tree). There is a recovery of the vegetation cover to these events, but the frequency of future tropical cyclones along with the deterioration caused by the change of land use, forest fires and different forms of pollution compromise the resilience of this ecosystem.



Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Co-Director de Tesis



Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Director de Tesis

Dedicatoria

A mi familia:

Por siempre estar al pendiente de mí, su apoyo en este posgrado, sin ellos esto no hubiera sido posible.

A mis amigos:

Por todos los momentos de risas, pláticas, juegos y felicidad.

Laika:

Por siempre recibirme con felicidad al llegar a casa y compartirla conmigo.

Agradecimientos

A CONACYT por la beca número 858718 otorgada para realizar este posgrado.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. por la oportunidad para realizar esta maestría.

Este estudio fue realizado con el apoyo económico del “Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua, Proyecto Número 0249265”.

En colaboración con el Consorcio Agua – CONACYT.

A toda mi familia por toda la paciencia, ánimos y apoyo en esta aventura.

A la Dra. Aurora Breceda por todo el apoyo y tiempo dedicado, sus regaños y palabras de motivación para siempre exigirme a mejorar como alumno y persona.

Al Dr. Enrique Troyo por su codirección, recomendaciones y asesorías para realizar esta tesis.

Al Dr. Raúl Martínez por compartir sus conocimientos conmigo, y tomarse el tiempo para ayudarme a resolver mis dudas.

A mis amigos que me acompañaron en todo momento, las risas y pláticas fuera y dentro del CIB.

Al M.C. Christian Silva por su apoyo en salidas de campo.

Al Laboratorio de SIG por siempre tener las puertas abiertas para resolver dudas.

Al Ing. Horacio Sandoval por todo su apoyo durante mi estancia en CIBNOR.

Contenido

Resumen.....	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos.....	iv
Contenido	v
Lista de figuras	vi
Lista de tablas.....	vii
Lista de anexo.....	vii
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- ANTECEDENTES	3
3.- JUSTIFICACIÓN	10
4.- HIPÓTESIS	11
5.- OBJETIVO	12
5.1.- General.....	12
5.2.- Específicos.	12
6.- MATERIALES Y MÉTODOS	12
6.1- Área de estudio.....	12
6.2.- Metodología.....	14
7.- RESULTADOS	22
8.- DISCUSIÓN.....	42
9.- CONCLUSIÓN.....	55
9.1.- Recomendaciones	56
10.- LITERATURA CITADA	58
11.- ANEXOS	63

Lista de figuras

Figura 1 .Área de estudio localizada en la cuenca baja y estero San José del Cabo.....	16
Figura 2: Áreas digitalizadas de palmar en estero San José del Cabo con fecha 2013-05-04 y cuadrantes de muestreos.....	20
Figura 3.- Ubicación de los cuadrantes muestreados en el año 2017 (A) y 2018 (B) en el estero San José del Cabo. Imagen con fecha 27-03-2018.....	21
Figura 4.- Evolución de la cobertura vegetal obtenida de imágenes Landsat durante el periodo de estudio 2013-2017.	25
Figura 5.- Comportamiento de la cobertura vegetal (en superficie) posterior a lo ciclones tropicales.....	25
Figura 6.- "Pérdida, estabilidad y ganancia" de la cobertura vegetal por evento. ...	26
Figura 7.- Diagrama de caja y bigote de los datos de pérdida de cobertura vegetal, removiendo los valores extremos (Odile y Lidia). Línea sólida = Mediana, Caja = 1er y 3er cuartil, Bigotes = Mediana ± 1.5 *Rango intercuartílico.	30
Figura 8.- Coeficiente de variación. Expresado en porcentajes donde 0% indica una nula variación y 100% máxima variación.	31
Figura 9.- Diagrama de caja y bigote del porcentaje de recuperación por tipo de cobertura. Línea sólida = Mediana, Caja = 1er y 3er cuartil, Bigotes = Mediana ± 1.5 *Rango intercuartílico..	33
Figura 10.- Pérdida, estabilidad y ganancia del ciclón tropical Lidia sobre el estero San José del Cabo.....	34
Figura 11.- Porcentaje de Pérdida, estabilidad y ganancia por clase, utilizando el sensor SPOT para la zona del estero San José del Cabo.....	35
Figura 12.- Imagen inicial (04-05-2013) y final (27-03-2018) utilizadas para el monitoreo de la cobertura de palmar en el estero San José del Cabo.	39
Figura 13.- La imagen de la izquierda previa al ciclón Lidia con fecha 21 de mayo de 2017, imagen de la derecha posterior a Lidia con fecha 27 de marzo de 2018	40
Figura 14.- Zona de palmar existente dentro del área izquierda del estero donde se presentó un incendio forestal.....	40
Figura 15.- Invasión de pino salado en el estero San José del Cabo	51
Figura 16.- Vegetación cercana al cuerpo de agua del estero.....	52
Figura 17.- Cambios de uso de suelo en el margen derecho del estero San José del Cabo correspondiente a palmar. A la izquierda imagen de Google Earth de mayo de 2013, a la derecha orthomosaico generado a partir de imágenes de drone en junio de 2019 proporcionado por Raúl Martínez-Rincón.	53

Lista de tablas

Tabla I. Listado de imágenes Landsat; con *, se indican las imágenes repetidas.	15
Tabla II.- Muestra la interpretación de los valores de la ecuación para conocer el cambio de cobertura vegetal (Pérdida, estabilidad y ganancia).	17
Tabla III. Características de ciclones tropicales, categoría y su relación con la precipitación anual. Pp = Precipitación, Vel. Max = Velocidad máxima.	23
Tabla IV.- Tabla de pérdida, estabilidad y ganancia. Nos muestra el comportamiento de la vegetación posterior al ciclón tropical.	27
Tabla V.- Porcentaje de pérdida por tipo de vegetación usando como base la clasificación supervisada Landsat con fecha 26 de junio de 2013. Veg. = Vegetación, Arb. = Arbórea y Herb. = Herbácea.	29
Tabla VI.- Área de vegetación perdida del último evento de cada año y área recuperada en mayo del siguiente año.	32
Tabla VII.- Cobertura promedio del palmar por zona en seis imágenes analizadas de Google Earth	37
Tabla VIII.- Forma de crecimiento de las especies registradas.	41

Lista de anexo

Anexo 1.- Valores de ONI (Oceanic Niño Index) de 2010 a 2019, tomados del Climate Prediction Center. Periodos cálidos (rojo) y fríos (azules) basados en un umbral de +/- 0.5°C para el ONI.	63
Anexo 2.- NDVI de imágenes Landsat, los valores van de 0 a 1.	63
Anexo 3.- Vegetación y uso de suelo (Clasificación supervisada) Landsat con fecha 2013-06-29	64
Anexo 4.- Área de pérdida de cobertura vegetal (ha) del último evento del año por tipo de vegetación y su recuperación en mayo del siguiente año.	65
Anexo 5.- Imagen SPOT del estero de San José del Cabo previo y posterior al ciclón tropical Lidia.	65
Anexo 6.- Vegetación y uso de suelo (Clasificación supervisada) SPOT del área del estero San José del Cabo con fecha 2017-05-21.	66
Anexo 7.- Porcentajes de cobertura de Palmar en estero San José en los 19 cuadrantes analizados.	67
Anexo 8.- Listado florístico de muestreo en campo 2017-2018.	68
Anexo 9.- Listado de especies por sitio	69

1.- INTRODUCCIÓN

Los ciclones tropicales, históricamente han sido uno de los mayores factores de disturbio naturales, y juegan un papel fundamental en determinar los patrones de funcionamiento y paisaje de los ecosistemas (Boose *et al.*, 1994).

Al respecto, los disturbios naturales son eventos que ocurren de manera discreta en el tiempo, e influyen fuertemente en el estado, estructura y composición de los ecosistemas, son definidos por la frecuencia, severidad, tamaño e intensidad (Manson, R y Jardel, E., 2009; Cada *et al.*, 2016; Gill *et al.*, 2017). Dichos eventos causan mortalidad de especies y generan nuevas oportunidades de establecimiento (Cada *et al.*, 2016), y constituyen a la dinámica de los ecosistemas naturales los cuales se modifican continuamente, presentando cambios complejos en diferentes procesos evolutivos, como adaptación de los organismos y biodiversidad (Manson, R y Jardel, E., 2009).

Los ecosistemas se recuperan de los citados disturbios a través de procesos naturales y el tiempo de recuperación variará de acuerdo a la intensidad del disturbio (Krebs, 2001). Un aspecto importante es la resistencia que es la habilidad del sistema de no cambiar su función y estructura en respuesta a un disturbio y la resiliencia, que es la capacidad de regresar a un estado de equilibrio después de una perturbación. La resiliencia es una propiedad de los ecosistemas conservados y está asociada con la regeneración y composición de la comunidad vegetal, productividad, biomasa, la acumulación de nutrientes en el suelo y la diversidad ecológica (Cuevas-Reyes, 2010).

Los ciclones tropicales, nombre que reciben las depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes, según sea su magnitud, se caracterizan por formarse en aguas oceánicas cercanas al ecuador. Se manifiestan por vientos intensos y cambiantes de dirección, oleajes, mareas altas y lluvias torrenciales. Se clasifican por su intensidad de acuerdo a la escala Saffir/Simpson que toma la velocidad del

viento como indicador y su magnitud puede ser medida por imágenes satelitales (Lugo, 2008).

Los daños socioambientales que provocan son múltiples, producen inundaciones y severos daños a la infraestructura física. En la vegetación, los efectos más comunes son, defoliación, rompimiento de ramas y desraizamiento provocado por el efecto directo del viento sobre la vegetación (Lugo, 2008; Taner *et al.*, 2008). Se afecta la dinámica natural al incrementar la tasa de mortalidad, reclutamiento y crecimiento de poblaciones que componen las comunidades, y en consecuencia pueden modificar la composición y estructura. El impacto de estos fenómenos sobre la vegetación, estará influenciado por la cobertura existente, así como la precipitación, viento y topografía del lugar (Boose *et al.*, 1994). A nivel individual el daño dependerá de las características de cada especie como sería el tamaño, profundidad de sus raíces y densidad, haciendo así unas especies más vulnerables que otras (Navarro-Martínez *et al.*, 2012).

Baja California Sur es la entidad que tiene mayor superficie costera y recibe una mayor incidencia de ciclones tropicales en México (Farfán *et al.*, 2013). A pesar de ser una de las principales fuentes de agua para el recargo de mantos acuíferos (Wurl e Imaz, 2016) también son uno de los principales factores de disturbio de la región, provocando severos daños a la infraestructura urbana, comunidades rurales y zona costera.

Se considera que el régimen de disturbios climáticos ha sido alterado y estos eventos meteorológicos se volverán más frecuentes e intensos por consecuencia del cambio climático (Martínez-Yrizar *et al.*, 2018). En la región se tiene pocos trabajos que evalúen directamente el efecto de ciclones tropicales (Breceda y Pérez, 2014), siendo la mayoría enfocados en el manejo y conservación del área de estudio.

Bajo escenarios del cambio climático donde los océanos se volverán más cálidos, se prevé un incremento en la frecuencia e intensidad de estos fenómenos, comprometiendo los ecosistemas costeros. Es por ello que es importante analizar el impacto de estos fenómenos sobre los ecosistemas costeros y su capacidad de resiliencia, para poder contribuir a un correcto manejo forestal para la conservación de la biodiversidad y el ecosistema.

La presente investigación tiene como objetivo estimar la resiliencia de la cuenca baja y estero San José del Cabo mediante un análisis remoto a diferentes escalas, utilizando cambios en la cobertura vegetal posterior al paso de un ciclón tropical como indicador. Para cuantificar estos cambios se utilizará el NDVI y visitas de verificación en campo, presentando una metodología novedosa y sencilla para el seguimiento de este tipo de fenómenos.

2.- ANTECEDENTES

El término resiliencia proviene del latín *resiliens* que tiene como significado “saltar hacia atrás, rebotar, replegarse”, a lo largo de las décadas ha sido utilizada de diversas formas en distintas disciplinas. Fue hasta la publicación de Holling (1973) donde se enfoca dicho concepto a la ecología, quien conceptualizó la resiliencia como la persistencia de un sistema y su habilidad de absorber cambios provocados por distintos disturbios y perdurar a lo largo del tiempo. En este sentido, la estabilidad es la habilidad de un sistema de mantenerse en un equilibrio después de un disturbio temporal. Entre más rápido vuelva a su equilibrio, más estable será el sistema. Con estos conceptos Holling menciona que es posible tener un ecosistema altamente resiliente que perdurará a través del tiempo, pero con una estabilidad baja que hará que su equilibrio se pierda constantemente. En 1996, Holling mencionó que existen dos enfoques distintos para la resiliencia, el primero es un concepto ingenieril que hace mención al tiempo que tarda el ecosistema en volver a un equilibrio después de un disturbio y que tan grande debe ser el disturbio para romper su estado de equilibrio. El segundo es un

concepto enfocado a la ecología donde menciona que un disturbio afecta de tal manera que pueda romper la estabilidad del sistema, pero éste volverá a uno nuevo igual o diferente al anterior.

En años posteriores Gunnarson (2000) fortaleció la definición de Holling (1996) definiendo a la resiliencia como el tiempo que un ecosistema requiere para volver a un estado de equilibrio y estabilidad posterior a un disturbio, esto asumiendo que solo existe un estado de equilibrio para cada ecosistema. Gunnarson incorporó el concepto de resiliencia ecológica, el cual se define como la magnitud de un disturbio que puede ser absorbida antes de que el sistema redefina su estructura, cambiando variables y procesos. Dicho concepto presume la existencia de múltiples dominios de estabilidad dentro del sistema y que el paso de disturbios moverá esta estabilidad a otra diferente, indicando que la estabilidad es dinámica y variable.

La resiliencia dentro de un ecosistema refleja la complejidad del sistema para adaptarse y reorganizarse en respuesta a disturbios (Folke *et al.*, 2004). En algunos casos los cambios son irreversibles, un ejemplo sería la pérdida de árboles en un bosque, donde la ausencia del follaje de los árboles no detendría la humedad necesaria para el crecimiento de nuevas especies. Cuando la resiliencia de un ecosistema empieza a perderse, el mismo, se vuelve más vulnerable, de tal forma que aún los eventos más pequeños pueden provocar daños más grandes. La diversidad de especies es crítica para mantener una resiliencia elevada. Las especies mediante la evolución se adaptan a los disturbios más frecuentes de la zona desarrollando herramientas y estrategias que ayudan a que perduren (Folke *et al.*, 2004).

Los ecosistemas desempeñan funciones que resultan esenciales para su mantenimiento y organización, los cuales son afectados por distintos disturbios, si la resiliencia del ecosistema no fuera suficiente, empezaría una degradación del ambiente. Un ecosistema conservado tendrá siempre una mayor resiliencia que uno degradado. Ante esto es la importancia de encontrar indicadores que ayuden

a medir la resiliencia. Algunos indicadores propuestos son la fragilidad del sistema, fragmentación, reclutamiento de especies, sobrevivencia, establecimientos de propágulos, cobertura vegetal y biodiversidad de especies. Algunos eventos que disminuyen la resiliencia del ecosistema son principalmente acciones causadas por el hombre, la transformación del sistema e introducción de especies (Cuevas-Reyes, 2010).

La resiliencia es una propiedad ecosistémica que deriva de la biodiversidad a múltiples escalas, que va desde lo genético hasta lo paisajístico Thompson (2011). Al concepto anterior se le añade uno nuevo, el de resistencia que se define como la capacidad del ecosistema de resistir alteraciones menores a lo largo del tiempo. Estos ecosistemas pueden ser resilientes, pero poco resistentes o al revés. No siempre los ecosistemas se recuperarán de los disturbios, ya sea por un disturbio con gran impacto o varios prolongados. Cuando un ecosistema pierde su capacidad de recuperación se llama punto de inflexión o umbral ecológico. Estos puntos de inflexión pueden suceder de manera súbita o gradual. El punto de inflexión es difícil de calcular, suelen detectarse después de que han sido alcanzados, y cuando sus repercusiones ya son muy evidentes (Thompson, 2011). Una reducción en las tasas de recuperación a un disturbio indica que el ecosistema está en transición y la recuperación dependerá de la magnitud del disturbio y el intercambio de recursos entre la zona afectada y cercana (Van de Leemput *et al*, 2018).

Con respecto al estudio de ciclones tropicales y sus diferentes impactos se tienen diversos estudios que abordan estos fenómenos con diferentes enfoques y metodologías. Uno de los factores más analizados es la acción del viento, el cual provoca afectaciones severas en los ecosistemas, provocando una pérdida de dosel, desraizamiento y rompimiento de ramas. Los árboles con troncos más gruesos serán más resistentes al viento, por el contrario, los árboles con un diámetro menor a 30 centímetros son más propensos a desenraizarse (Walker, 1991; Isbele, 2009, Navarro-Martínez, 2012). La cercanía y duración de los

ciclones, la cantidad de precipitación, la velocidad del viento y diversos factores bióticos y abióticos como topografía, geomorfología, humedad del suelo, composición y estructura de especies determinaran la cantidad de daño que un evento pueda provocar (Ackerman, 1991; Boose *et al*, 1994; Doyle *et al*, 2009). Los sitios más afectados serán los cercanos a la costa y los cercanos a la trayectoria del ojo del ciclón (Doyle *et al*, 2009). La precipitación provocada por ciclones tropicales es importante para los diversos ecosistemas áridos y semi-áridos en la región, pero al presentarse con una gran intensidad en un periodo tan corto provoca una escorrentía que genera arrastre de vegetación y suelo (Maass *et al*, 2018)

Según lo antes expuesto, los daños provocados ciclones tropicales serán mayores en áreas no conservadas donde la fragmentación y sitios con claros abiertos dejan expuesta a la vegetación a la acción del viento, de igual manera si los años previos al ciclón fueron anormalmente secos, los daños serán mayores (Isbele *et al*, 2009; Navarro-Martínez *et al*, 2012; Jiménez – Rodríguez *et al*, 2018).

La recuperación dependerá de la intensidad del ciclón tropical, del estado de conservación previo a este, y de las especies existentes, esta recuperación puede no existir o variar desde meses hasta décadas, (Ackerman, 1991; Walker, 1991; Parker *et al*, 2018). Algunas especies presentan adaptaciones que las hacen más resistentes a estos eventos, otras aprovecharan los claros abiertos para desarrollarse y colonizar nuevos sitios, provocando cambios en la estructura y composición de la comunidad vegetal (Ackerman, 1991; Walker, 1991; Navarro-Martínez *et al*, 2012; Jiménez- Rodríguez *et al*, 2018), en algunos lugares la aparición de especies no nativas o invasoras en estos nuevos parches provocan una simplificación del paisaje, por lo que hay presentar mayor atención a estas especies (Negrón-Juárez *et al*, 2014, Jiménez – Martínez, 2019), la precipitación posterior a ciclones tropicales intensos ayudará a una recuperación vegetal más rápida (Parker *et al*, 2018).

El régimen de disturbios mundial ha sido alterado, por lo cual se prevé que los eventos extremos climáticos y meteorológicos se volverán más frecuentes e intensos (Martínez-Yrizar *et al* 2018). Diversos estudios muestran que derivado de un calentamiento global aumentará la temperatura oceánica favoreciendo la creación de ciclones tropicales aumentando su frecuencia, tiempo de vida e intensidad (Sobel *et al*, 2017; Zhang, 2017, Maass *et al*, 2018). El fenómeno del Niño (ENSO) es uno de los principales factores en el comportamiento de ciclones tropicales, en su fase cálida (Niño) favorece la formación e intensidad de ciclones tropicales (Romero-Vadillo, 2006; Farfán *et al*, 2013). La trayectoria de ciclones tropicales hacia la península de Baja California Sur es favorecida por el evento Niño en el Pacífico (Díaz, 2010)

A nivel regional, Farfán *et al* (2014) analizó la frecuencia de ciclones tropicales en México en el periodo 1970-2010 y mencionó que de 171 eventos contabilizados la península de Baja California Sur fue el estado más afectado con 36 eventos. Baja California Sur tiene un clima semi árido por lo que los ecosistemas terrestres y costeros de estas regiones son más sensibles a cambios en la frecuencia e intensidad de la precipitación ocasionada por ciclones tropicales.

Una de las maneras de evaluar cambios provocados por disturbios es mediante el uso de percepción remota, la cual es una rama de la geomática que tiene como premisa operacional trabajar con información que ha sido colectada sin entrar en contacto directo con ella, y se puede definir como “la ciencia de la observación a distancia”. La percepción remota ha sido utilizada para la detección de perturbaciones desde la aparición de la tecnología satelital, pudiendo estudiar de manera temporal y espacial estos fenómenos utilizando diversos tipos de índices, siendo capaces de poder discriminar vegetación del suelo y detectar cambios en el follaje y mortalidad de la vegetación (McDowell, 2015).

Un ejemplo de ello es el estudio realizado por Palacios – Oponete (2010) el cual utiliza imágenes satelitales para evaluar los cambios en la línea de costa posterior al paso de ciclones tropicales. Negrón-Juárez *et al* (2014) utiliza imágenes

Landsat y MODIS para evaluar el daño de tres ciclones tropicales en el Golfo de México y dos en Australia analizando imágenes previas y posteriores, discute que la pérdida y recuperación de la vegetación dependerá del tipo de especie, y que mediante imágenes Landsat es posible medir el nivel de resiliencia de estos ecosistemas al poder observar los cambios posteriores a estos eventos. Sí se conoce qué especies son las más vulnerables, es posible realizar estrategias para un manejo post ciclón. El uso del indicador NDVI para analizar dichos fenómenos es de suma utilidad, pero presentan variaciones importantes en la época de transición de lluvias y secas, pero permite observar a detalle la recuperación del verdor y la cubierta de la vegetación (Parker, 2018). Nagendra *et al* (2013) propone el uso de percepción remota mediante imágenes de alta resolución (SPOT y Landsat) e información complementaria *in situ* para analizar y evaluar los esfuerzos de conservación y apoyar la toma de decisiones, observando los cambios temporales en varias décadas.

A nivel regional se tienen dos estudios que realizan un análisis de la tendencia de NDVI mediante imágenes MODIS, donde se describe la presión que enfrenta la vegetación, principalmente en la zona sur del estado (La Paz-Los Cabos) y la variabilidad que presenta a distintos fenómenos ambientales como son la temporada de lluvias y El Niño, siendo temporada de lluvias y años Niño donde se presentan mayores valores de NDVI, el uso de estos métodos de percepción remota para la evaluación del ecosistema es muy valiosa debido a que permite describir cambios de vegetación espacio-temporales de varios años (Zavala *et al*, 2017; Gómez, D., 2019).

Otro estudio importante en temas de percepción remota en la región es el de Bañuelos (2017) en el cual se evaluó mediante imágenes satelitales SPOT los cambios en la línea de costa entre Cabo San Lucas y San José del Cabo, entre los años 1993-2014 en respuesta a la infraestructura construida. Dicho autor, concluyó que el principal aporte de sedimento en la zona es el arroyo San José del Cabo, siendo vital para playas adyacentes. En una línea de investigación similar,

Rojas (2018) en su tesis de maestría evaluó cambios en la barra arenosa del estero San José, mediante levantamientos topográficos con dron y modelaje de los cambios en la barra arenosa. El ciclón tropical Lidia modificó la barra arenosa y aportó 200, 000 m³ de sedimento, este aporte se distribuye a lo largo de la barra principalmente en la zona oeste. La ruptura fue ocasionada por el aporte de agua del arroyo San José. Lidia provocó una pérdida de la playa del estero que se fue recuperando con el paso de los meses, pero no vuelve a su forma original.

En el estero San José del Cabo, Breceda y Pérez (2004) presentaron un estudio sobre el efecto del huracán Juliette, este ciclón impactó en 2001 como categoría 4 con vientos hasta de 200 kph y una precipitación total cercana a 450 mm. En la zona del estero San José del Cabo, el citado evento ciclónico ocasionó pérdidas de vegetación, enterró suelo original y modificó la forma y topografía del área. Se realizó una comparación de la vegetación entre 1993 y 2002, para lo cual se efectuaron muestreos de campo para conocer la composición y estructura de la vegetación. Se reportó que 31% del área estudiada presentó vegetación afectada, además de remover vegetación existente la pérdida del suelo original ocasiona que se lleven semillas y renuevos. Las unidades de vegetación más afectadas fueron el carrizal, palmar y bosque de guamúchil, pero en proporción el tular y el bosque de guamúchil fueron los más dañados. Después del huracán el carrizo empezó a introducirse en zonas de palmar afectado. El bosque de guamúchil fue afectado en 89% de su cobertura, siendo también el cambio de uso de suelo otro factor importante. El bosque de mezquite fue uno de las comunidades menos afectadas ya que se ubica alejado de los escurrimientos. Se presenta una sucesión de vegetación anual o de vida corta en lugares donde la escorrentía eliminó por completo a la vegetación. El cambio de uso de suelo incrementa los daños provocados por ciclones tropicales por lo que recomiendan disminuir esta práctica y empezar procesos de reforestación, vigilancia y limpieza en el sitio.

Se realizó un estudio sobre el riesgo de inundación en la parte baja de la cuenca San José (Mendoza, 2014), donde se concluye que la región de San José del

Cabo es vulnerable a inundarse en la parte baja y este riesgo disminuye a poco inundable a los 140 msnm. Aun cuando el clima de la región es árido los ciclones tropicales presentan lluvias extraordinarias siendo ésta la principal amenaza de riesgo de inundaciones. Al existir un gran crecimiento exponencial de la población esta zona y el poco planeamiento incrementa el riesgo sobre la zona urbana.

En seguimiento a la línea de estudios sobre efecto de ciclones tropicales en la entidad, Muria-Vila *et al* (2018) analizó los daños provocados por el huracán Odile a la infraestructura de Baja California Sur, huracán de categoría 4 que provocó múltiples daños. Después del evento, postes de distribución eléctrica y cientos de transformadores quedaron dañados dejando al 95% de los habitantes de la península sin electricidad, con suministro de agua fue interrumpido, 30% de las parcelas agrícolas afectadas, 1800 casas dañadas, colapso de puentes y carreteras por arroyos, los daños fueron provocados principalmente por los vientos. El citado estudio concluyó que, al ser una zona vulnerable a la influencia de ciclones tropicales, la infraestructura debe diseñarse y construirse con materiales que soporten este tipo de fenómenos, siendo que en la realidad numerosas casas habitación y construcciones no contaban con esto. Odile ha sido uno de los huracanes más destructivos y el daño monetario fue de 1,654 millones de dólares aproximadamente. A lo largo del mundo los daños por huracanes se han incrementado debido al crecimiento de la población y la infraestructura en zonas costeras.

3.- JUSTIFICACIÓN

Los ciclones tropicales se presentan de manera anual durante el periodo de junio a noviembre en México. Baja California Sur es una de las entidades con mayor incidencia de este tipo de fenómenos, (Farfán *et al.*, 2014).

En la región de Baja California Sur se presentan principalmente condiciones de aridez, donde las lluvias son efímeras y torrenciales, siendo el impacto de ciclones

tropicales, los que definen el régimen predominante de lluvias en verano (Armenta, 2015). Si bien son disturbios naturales que pueden presentar daños importantes en la entidad, el 50% de la precipitación total anual en el área de la cuenca San José del Cabo proviene directamente de ellos (Wurl e Imaz, 2016).

De acuerdo al IPCC con la tendencia de un calentamiento oceánico en el siglo XXI se proyecta un incremento en la intensidad y frecuencia de ciclones tropicales (Sobel *et al*,2017; Zhang, 2017, Maass *et al*,2018), es importante conocer la capacidad de resiliencia de una de las áreas naturales más emblemáticas y de mayor importancia socio-ecológica de la península como es el estero San José del Cabo a este tipo de disturbios naturales.

La presente investigación tiene como finalidad estimar la resiliencia de la cuenca baja y estero San José del Cabo mediante un análisis remoto a diferentes escalas, utilizando cambios en la cobertura vegetal como indicador. Para cuantificar estos cambios en la cobertura vegetal se utilizó el NDVI y visitas de verificación en campo, presentando una metodología novedosa y sencilla para el seguimiento de este tipo de fenómenos.

Preguntas de investigación

¿Cuál es el efecto de los ciclones tropicales sobre la vegetación de la cuenca baja y estero San José del Cabo? ¿Es el estero de San José del Cabo un ecosistema resiliente a estos eventos?

4.- HIPÓTESIS

La cuenca baja y estero de San José del Cabo presenta pérdida de cobertura vegetal y resiliencia por efecto de los ciclones tropicales

5.- OBJETIVO

5.1.- General.

Determinar si el ecosistema del estero de San José del Cabo es resiliente al efecto de los ciclones tropicales

5.2.- Específicos.

1.- Analizar los cambios en la cobertura vegetal de la cuenca baja y estero San José del Cabo antes y después de ciclones tropicales.

2.- Evaluar los cambios por tipo de vegetación para conocer cuáles son las más afectadas y recuperación de la cubierta vegetal.

6.- MATERIALES Y MÉTODOS

6.1- Área de estudio

El área de estudio es la cuenca baja y el estero de San José del Cabo (23.18°N, 109.7°O y 23.04°N, 109.67°O) ubicado en el municipio de los Cabos en Baja California Sur, México. Se encuentra dentro de la cuenca hidrogeológica de San José del Cabo. El estero está compuesto por un cuerpo de agua dulce superficial y una barra arenosa que lo separa del Golfo de California. La fuente de alimentación es la escorrentía superficial y subterránea proveniente de la cuenca, la cual converge con el arroyo San José del Cabo y desemboca en el estero (Armenta, 2015; Wurl e Imaz, 2016), dicho arroyo es uno de los más importantes de la región y es propenso a sufrir cambios geomorfológicos drásticos por el efecto de ciclones tropicales (Pronatura, 2010),

La barra arenosa del estero represa temporalmente escorrentía de la cuenca San José del Cabo dando lugar al cuerpo de agua, cuando esta barra presenta una ruptura el nivel del agua dentro de estero desciende y se combina con el agua salada, conforme se va depositando sedimento vuelve a aumentar su nivel de agua dulce. Este ciclo se ha ido modificando por estructuras costeras como Puerto

Los Cabos y cambio de uso de suelo que provocan que el arroyo San José fluya con más fuerza y sedimento (Rojas, 2018).

El acuífero San José del Cabo es el principal del sur del estado, ya que provee agua a la segunda población más grande de la entidad. La Reserva Ecológica Estatal alberga una gran diversidad biológica siendo importantes corredores y refugios para la flora y la fauna, por esto se le han otorgado diversos títulos en tema de conservación (Breceda *et al.*, 2016). En 1993 fue catalogado como Reserva Ecológica Estatal con una superficie de 4, 729,736.74 has, también como un Área de Importancia para Conservación de Aves (AICA no. 59), Área de importancia de aves (IBA por sus siglas en inglés) por contener la población más importante del ave conocida como “mascarita peninsular” (*Geothlypis beldingi*). En 2009 fue designado como Humedal de importancia internacional por la convención Ramsar, con el nombre “Sistema Ripario de la Cuenca y estero San José del Cabo”. (Pronatura Noroeste, 2010).

Los principales grupos faunísticos registrados en la cuenca San José del Cabo donde se incluye el estero San José del Cabo están representados por peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Se registraron tres especies de langostinos, 30 especies del orden Odonata (Libélulas), 14 especies de peces, 4 especies de anfibios, diferentes especies de reptiles, así como fuente de anidación de tortuga laúd en las playas. Mamíferos como liebres (*Lepus californicus xanti*), conejos (*Sylvilagus audobonii confinis* y *Sylvilagus bachmani peninsularis*), la zorra (*Urocyon cinereoargenteus*), la ardilla (*Ammospermophilus leucurus extimus*), la rata (*Neotoma lepida atenacea*), y ratones (*Perognathus arenarius* y *Peromyscus eva eva*). Se registraron 331 especies de aves en la región, de las cuales 210 existen en la cuenca a la que pertenece el estero San José, destacando cuatro especies endémicas como son mascarita peninsular (*Geothlypis beldingi*), chuparrosa de xantus (*Hylocharis cinereum*), gaviota de patas amarillas (*Larus livens*) y el cuiltlacoche peninsular (*Toxostoma cinereum*). Otras especies

importantes son el galito marino superior (*Sternula antillarum*) el cual está en riesgo de extinción (Pronatura Noroeste, 2010).

En la cuenca San José del Cabo se distribuyen cuatro tipos de vegetación que varían a lo largo del gradiente latitudinal, siendo matorral sarcocaulé el de mayor extensión, selva baja caducifolia, bosque de pino-encino y vegetación riparia (Breceda *et al.*, 2002). En la zona del estero San José del Cabo las especies destacan por su abundancia son el carrizo (*Phragmites australis*), el tule (*Typha domingensis*), palma real (*Washingtonia robusta*), Guamuchil (*Pithecellobium dulce*) y mezquite (*Prosopis articulata*) (Breceda y Pérez Navarro, 2014).

6.2.- Metodología

1.- Analizar los cambios en la cobertura vegetal de la cuenca baja y estero San José del Cabo antes y después de los ciclones tropicales.

Las modificaciones a la condición del estero de San José del Cabo, previa y posterior a los ciclones tropicales, se analizaron mediante imágenes del satélite Landsat 8. Se utilizó el sensor Landsat por ser de libre acceso y porque cuenta con una resolución de 30 m; el periodo de toma de imágenes en el área de estudio es cada ocho días, las imágenes fueron descargadas de la página <https://earthexplorer.usgs.gov/> del Sistema Geológico de los Estados Unidos.

El registro histórico de ciclones tropicales que afectaron la península de Baja California Sur, se obtuvo de la base de datos del National Hurricane Center (NHC) de Estados Unidos. El periodo estudiado abarca de 2013-2017, se eligiéndose el año 2013 porque corresponde al inicio de operaciones del satélite Landsat 8. Se contabilizaron todos los ciclones tropicales con una distancia menor a 500 km.

Se solicitó información de precipitación a CONAGUA de la estación meteorológica San José del Cabo para el periodo estudiado, se calculó la precipitación anual y por ciclón tropical en la zona de estudio.

Se detectaron 13 ciclones tropicales, los cuales se catalogaron en 11 eventos por cercanía de fechas, así que para el año 2013 el ciclón tropical Juliette se agrupó con Lorena como un solo evento, y en el año 2014 Odile se agrupó con Polo. Se utilizaron 19 imágenes Landsat las cuales fueron etiquetadas con el formato de fechas año, mes y día (aaaa-mm-dd).

Tabla I. Listado de imágenes Landsat; con *, se indican las imágenes repetidas.

Evento	Imagen Previa	Imagen Posterior
Erick	20130629	20130715
Juliette-Lorena	20130809	<u>20130910*</u>
Manuel	<u>20130910*</u>	20130926
Octave	20131003	20131019
Norbert	20140828	<u>20140913*</u>
Odile-Polo	<u>20140913*</u>	20140929
Blanca	20150527	20150612
Sandra	20151119	20151205
Javier	20160630	<u>20160817*</u>
Newton	<u>20160817*</u>	20160909
Lidia	20170820	20170905

*Imágenes repetidas por nubosidad y cercanía de fechas

Las imágenes Landsat fueron corregidas atmosféricamente mediante el método Dos-1 o método Chávez para reducir los problemas de reflectancia ocasionados por la atmósfera, esta corrección atmosférica es recomendada en Landsat para comparar imágenes de distintas fechas (Aguilar *et al*, 2014). Se asignó el sistema de coordenadas WGS 84 UTM 12N, y se realizó un recorte al área de estudio (Figura 1) utilizando como criterio el último afluyente del arroyo San José que desemboca en el estero y las zonas adyacentes, evitando la zona urbana. Los

softwares utilizados para procesar estas imágenes fueron Qgis (QGIS developteam, 2019) y diferentes librerías del lenguaje de programación R (R Core Team, 2015).



Figura 1.- Área de estudio localizada en la cuenca baja y estero San José del Cabo.

Para analizar los cambios en la cobertura vegetal provocado por ciclones tropicales se realizó el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) para cada imagen, éste se tomó como indicador para vegetación y es definido por la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{\text{Infrarojo cercano} - \text{Rojo}}{\text{Infrarojo cercano} + \text{Rojo}} \quad (1)$$

En este trabajo se clasificó como vegetación a valores de NDVI igual o superior a 0.2 similar a lo propuesto por (Muñoz, 2013; Díaz, 2015; De Nova Vázquez *et al*, 2018) donde se menciona que valores inferiores a 0.2 corresponden a ramas, suelos, rocas y agua, valores cercanos a 0.2 corresponden a vegetación.

Los valores obtenidos de NDVI fueron reclasificados de manera binaria a modo de presencia-ausencia de vegetación. Donde se asignó el valor de 1 a vegetación ($NDVI \geq 0.2$) y 0 a suelo. Con esta clasificación binaria se calcularon las coberturas vegetales correspondientes a cada imagen.

Se utilizó la siguiente ecuación para determinar el cambio en la cobertura vegetal posterior a cada ciclón tropical dando como resultado los siguientes escenarios (Tabla II).

$$\text{Diferencia} = \text{Imagen Posterior} - \text{Imagen Previa} \quad (2)$$

Tabla II.-Muestra la interpretación de los valores de la ecuación para conocer el cambio de cobertura vegetal (Pérdida, estabilidad y ganancia).

Valor posterior	Valor previo	Diferencia	Interpretación
1	0	1	Se gana vegetación
1	1	0	Estabilidad
0	0	0	
0	1	-1	Se pierde vegetación

Se realizó una clasificación supervisada correspondiente al sensor Landsat con una resolución de 30 m para toda el área de estudio con la fecha 29 de junio de 2013, fue realizada en el software Qgis mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2016). La clasificación supervisada Landsat fue tomada como imagen base y fue comparada con la pérdida, estabilidad y ganancia de cada evento registrado y con la recuperación de cada año, para así conocer por clase vegetal cual es la más afectada y en cual se presenta mayor recuperación. Las clases utilizadas para la clasificación fueron:

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1.- Cuerpos de agua | 6.- Vegetación quemada |
| 2.- Suelo | 7.- Carrizo – tule |
| 3.- Palmar | 8.- Zona agrícola |
| 4.- Vegetación arbórea | 9.- Vegetación urbana |
| 5- Vegetación herbácea | 10.- Matorral |

Se realizaron tres salidas de campo en las fechas 11 de julio de 2018, 21 de septiembre de 2018 y 21 de febrero de 2019, para marcar puntos de verificación que sirven de campos de entrenamiento para mejorar la clasificación supervisada. Se digitalizaron zonas agrícolas y zonas urbanas para evitar su confusión con otras clases.

Con el NDVI de las 19 imágenes se creó un mapa de coeficiente de variación (CV) (Salinas-Zavala *et al.*, 2017), donde se muestra la variación de los valores de NDVI en los píxeles, esto es expresados en porcentajes. Donde valores cercanos al 100% significaría mayor variación, y valores cercanos a 0% una menor variación. Esto fue realizado con la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{\text{Desviación Estandar (NDVI)}}{\text{Promedio (NDVI)}} \quad (3)$$

Con la finalidad de analizar la recuperación de la cubierta vegetal después de 11 eventos estudiados se comparó el último ciclón tropical del año y la imagen del año siguiente correspondiente al mes de mayo. La imagen de mayo fue clasificada de manera binaria y comparada con la vegetación pérdida, obteniendo así el área de recuperación de cada ciclón tropical.

2.- Conocer cambios en la cobertura vegetal en el estero San José del Cabo

Debido a la importancia biológica y social del estero San José del Cabo se realizó un análisis de mayor resolución espacial para dicha zona; para ello se obtuvieron dos imágenes SPOT con una resolución de 1.5 m con fechas 27 de mayo de 2017 y 06 de octubre de 2017, correspondientes a antes y después del ciclón tropical Lidia. Estas imágenes fueron cortadas al área del estero de San José del Cabo y procesadas de igual manera que las imágenes Landsat (obtención de NDVI, clasificación binaria y "Pérdida, estabilidad y ganancias"). La imagen previa al ciclón tropical Lidia fue clasificada de manera supervisada mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2016) y fue

comparada con la “Pérdida, estabilidad y ganancia” obtenida con este sensor para conocer por tipo de vegetación cual fue la más afectada por el ciclón tropical Lidia.

Las áreas en la imagen se clasificaron utilizando las siguientes clases:

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1.- Cuerpos de agua | 7.- Carrizo – tule |
| 2.- Suelo | 8.- Zona agrícola |
| 3.- Palmar | 9.- Vegetación urbana |
| 4.- Vegetación arbórea | 10.- Matorral |
| 5- Vegetación herbácea | |
| 6.- Vegetación quemada | |

Con la finalidad de conocer los cambios en el palmar en el estero de San José del Cabo se monitorearon cambios en su cobertura mediante imágenes georreferenciadas de Google Earth, para lo cual se utilizaron seis imágenes con las siguientes fechas: 2013-05-04, 2014-06-19, 2014-09-22, 2016-12-13, 2017-04-30 y 2018-03-27. El área se dividió en cuatro secciones A, B, C y D (Figura 2). Se utilizó la imagen del 2013-05-04 como base y se digitalizó el área correspondiente a palmar, se realizaron 19 cuadrantes de 30 m x 30 m donde se midió el porcentaje de cobertura, estos cuadrantes se compararon con las imágenes posteriores para conocer la variación de la cobertura del palmar.



Figura 2: Áreas digitalizadas de palmar en estero San José del Cabo con fecha 2013-05-04 y cuadrantes de muestreos.

Con el objeto de conocer cambios en la estructura de la vegetación del estero se realizaron muestreos de campo antes y después del ciclón tropical Lidia, se utilizaron 10 cuadrantes de 10 x 10 metros, cinco correspondientes a 2017 previo al ciclón Lidia y cinco correspondientes al 2018 posterior al ciclón Lidia. Se buscó que estos sitios estuvieran lo más cercanos entre sí (Figura 3).

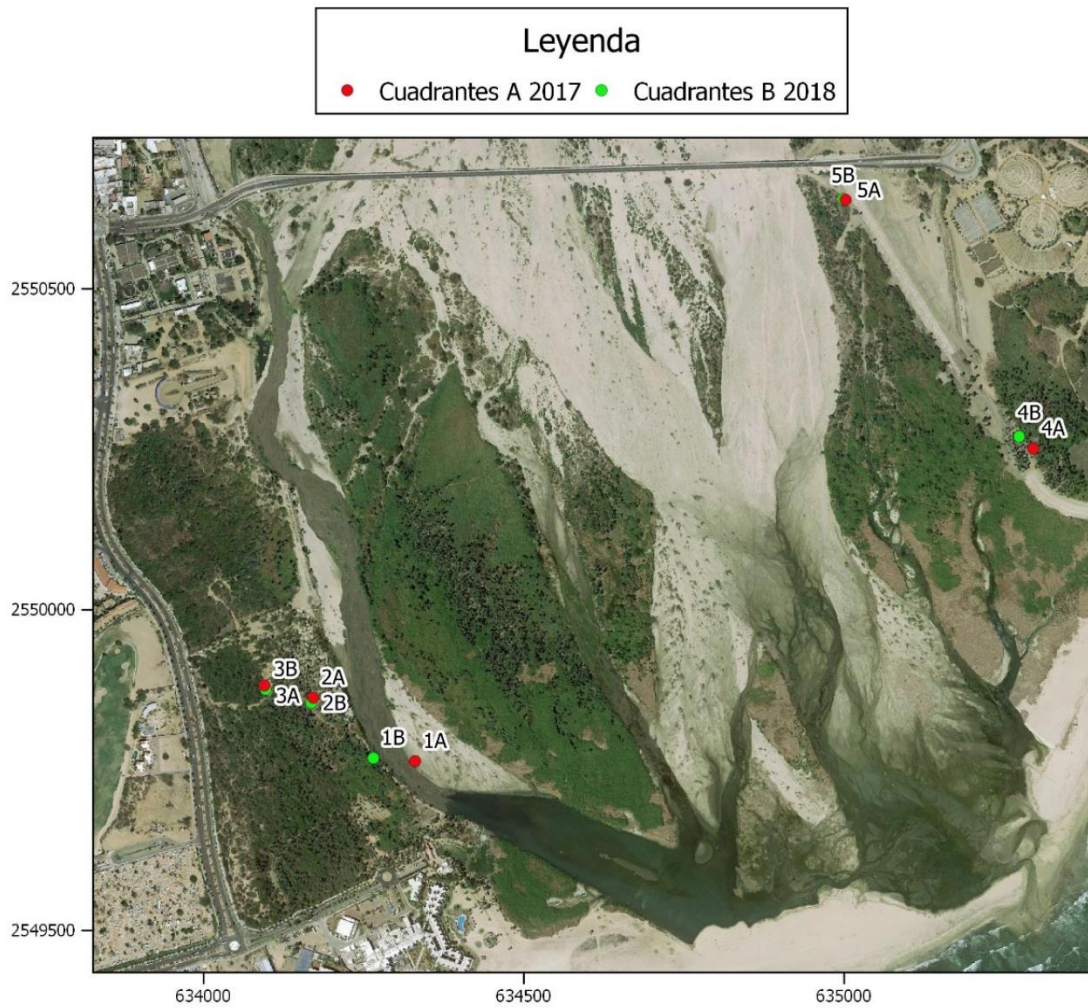


Figura 3.- Ubicación de los cuadrantes muestreados en el año 2017 (A) y 2018 (B) en el estero San José del Cabo. Imagen con fecha 27-03-2018.

7.- RESULTADOS

Durante el periodo analizado (2013-2017) se registraron 13 ciclones tropicales (Tabla III) con una distancia menor a 500 km de la zona de estudio, dando un promedio de 2.6 ciclones tropicales por año. El año con mayor número de eventos fue 2013 con cinco eventos, seguido de 2014 con tres, el año con menor número de eventos fue 2017 con uno. La temporada de ciclones más extensa fue en 2015 la cual empezó con Blanca el 31 de mayo y terminó con Sandra el 28 de noviembre. El ciclón tropical más lejano al área de estudio fue Octave con 425 km; en tanto que Odile, Newton y Lidia tocaron tierra en el estero San José. La precipitación de los ciclones tropicales en la zona corresponde a 70% en el año 2013, 73% en 2014, 20% en 2015, 60% en 2016 y 73% en 2017. Odile fue categoría 4 y tuvo precipitaciones de 265 mm correspondiendo al 47% de la precipitación anual registrada para 2014. Newton tocó tierra como huracán categoría 1 dejando lluvias de 68 mm, Lidia dejó lluvias históricas de 400mm en tres días correspondiente a un 73% de la precipitación anual. Es importante señalar que la categoría de los ciclones tropicales está dada por la velocidad del viento y no por la precipitación, por lo que podemos tener eventos de categoría alta como Blanca (categoría 4) el cual dejó sólo 7 mm de precipitación o eventos de baja categoría como Lidia (Tormenta tropical) con lluvias de 400 mm.

El Índice oceánico el Niño (ONI, por sus siglas en inglés) es utilizado para determinar si el fenómeno el Niño se presenta en su fase cálida o fría (Anexo 1). Este índice catalogó el año 2013 como neutral presentando poca intensidad en los meteoros, en este año el evento más intenso fue categoría 1. El año 2014 presentó dos ciclones tropicales de alta intensidad, Norbert categoría 3 y Odile categoría 4, este año presenta una fase cálida del Niño para los meses de septiembre en adelante, y presentando el año con mayor precipitación total anual. Todo el año 2015 presentó condiciones cálidas del Niño siendo uno de los años más extremos, se registraron dos ciclones tropicales de alta intensidad (categoría

3 y 4 respectivamente) siendo este año el que presenta la temporada más larga. En junio de 2016 empieza una fase fría del Niño que dura hasta el final de este año, se reportan sólo dos eventos categoría 1 y tormenta tropical, en este año se presentó la menor precipitación del periodo estudiado. En el año 2017 se presentaron fases neutrales hasta agosto y en septiembre empieza de nuevo una fase fría, en la región se presentó solamente un ciclón tropical, pero con lluvias atípicas (cerca de 400 mm).

Tabla III. Características de ciclones tropicales, categoría y su relación con la precipitación anual. Pp = Precipitación, Vel. Max = Velocidad máxima.

Evento	Categoría	Año	Fecha	Pp (mm) por evento	Vel. Max. del viento(mph)	Pp total anual (mm)	Distancia estero (km)
Erick	1	2013	4-9 de jun.	5.5	70	364	106
Juliette + Lorena	TT y TT	2013	28-30 ago./ 5-8 sep,	20/64	55 - 45	364	82/116
Manuel	1	2013	13-20 de sep.	37	65	364	180
Octave	TT	2013	12-16 oct.	128	55	364	425
Norbert	3	2014	2-8 de sep.	117	105	558.5	240
Odile + Polo	4 y 1	2014	10-17 sep./16-22 sep.	265/25	115-65	558.5	0/192
Blanca	4	2015	31 may-9 jun	7	85	301.5	191
Sandra	3	2015	23-28 nov.	53	100	301.5	163
Javier	TT	2016	7-9 ago.	42	55	184.5	83
Newton	1	2016	4-7 sep.	68	70	184.5	0
Lidia	TT	2017	29 ago-3 sep.	400	55	547	0

Los resultados de los cambios en la cobertura vegetal a partir del análisis de NDVI (Anexo 2) y su reclasificación considerando que los valores ≥ 0.2 corresponden a vegetación (Se muestran en figura 4). En la figura 5 se observa que durante 2013 el área cubierta por vegetación es la mayor del periodo analizado con 2,727 ha, a pesar de ser el año con mayor actividad ciclónica (5 eventos) pero de baja intensidad, siendo 128 mm la máxima precipitación registrada para estos eventos. En el año 2014 con la incidencia del huracán Odile (categoría 4 con una precipitación superior a 265 mm) se presenta una reducción importante de la cobertura vegetal bajando a 1,710 ha, misma que no vuelve a recuperarse en su totalidad durante todo el periodo analizado (figura 5). En el año 2016 existe un incremento de cobertura vegetal hasta 2,236 ha, pero con el ciclón tropical Lidia (con más de 400 mm de precipitación) redujo nuevamente esta cobertura hasta 1,491 ha. Durante el periodo analizado hay disminución de la cubierta vegetal, no obstante, los eventos que marcan esta reducción son Odile y Lidia los cuales presentan una precipitación de 265 y 400 mm, siendo este el principal factor de la pérdida de cubierta vegetal.

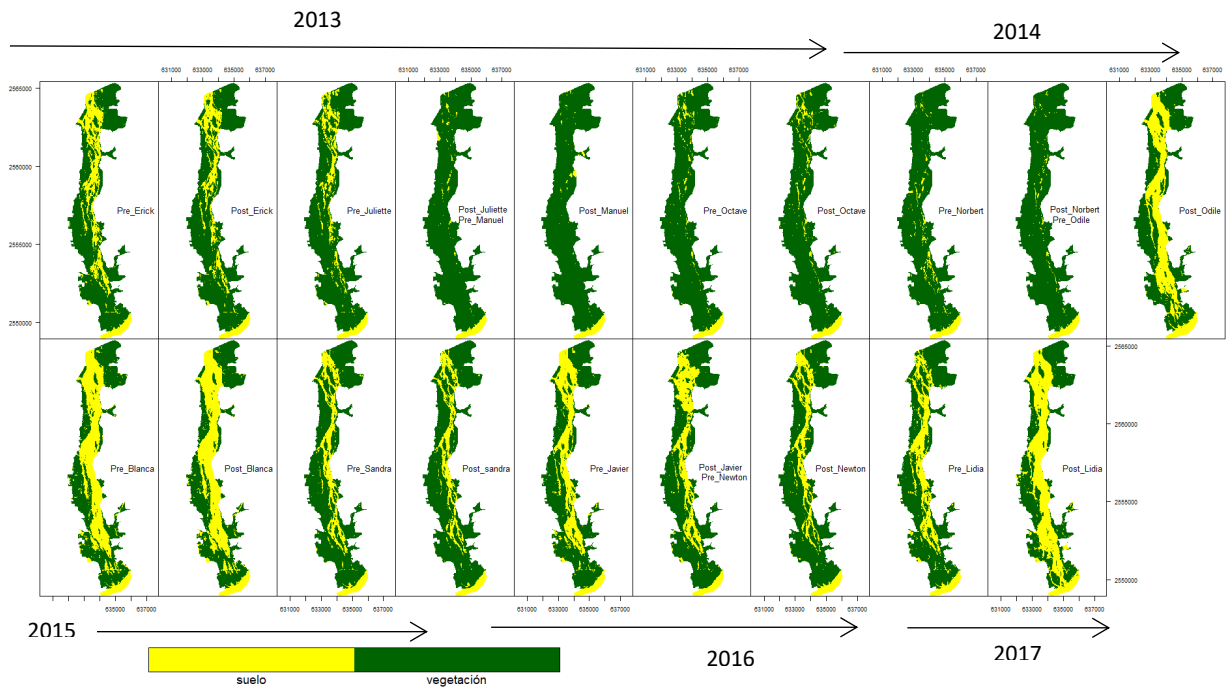


Figura 4.- Evolución de la cobertura vegetal obtenida de imágenes Landsat durante el periodo de estudio 2013-2017.

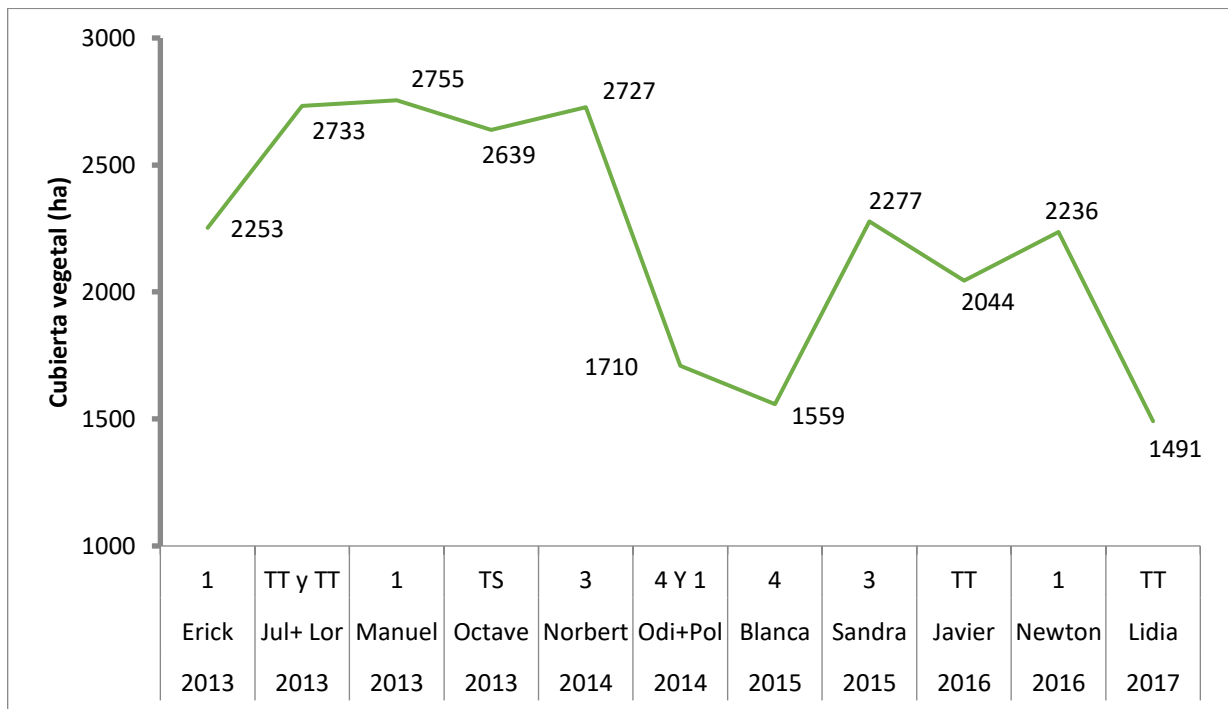


Figura 5.- Cobertura vegetal (en superficie) posterior a los ciclones tropicales.

Con la finalidad de identificar los cambios en la cubierta vegetal derivado de la incidencia de ciclones se realizó la diferencia entre la cobertura posterior y previa

a cada evento para conocer las áreas donde existe pérdida, estabilidad y ganancia (figura 6). En tabla IV se observa que en el periodo analizado predomina la estabilidad en la zona con 90% en promedio, siendo Odile y Lidia los que presentaron la menor estabilidad con 64% y 78.5% respectivamente. Se presenta una ganancia de cobertura vegetal en eventos de baja intensidad como son Erick (5.60%), Juliette - Lorena (12.31%), Javier (7%) y Newton (9%) siendo Erick y Newton con categoría 1 los más intensos de este grupo. Odile y Lidia presentan una pérdida importante en la cubierta vegetal con 35.5% y 20.6%, Odile fue categoría 4 y Lidia una tormenta tropical pero la característica que tienen en común es que presentan una gran precipitación, siendo Lidia la que mayor presentó (400 mm), esta pérdida de cubierta vegetal está asociada principalmente al cauce del arroyo que crece con las altas precipitaciones.

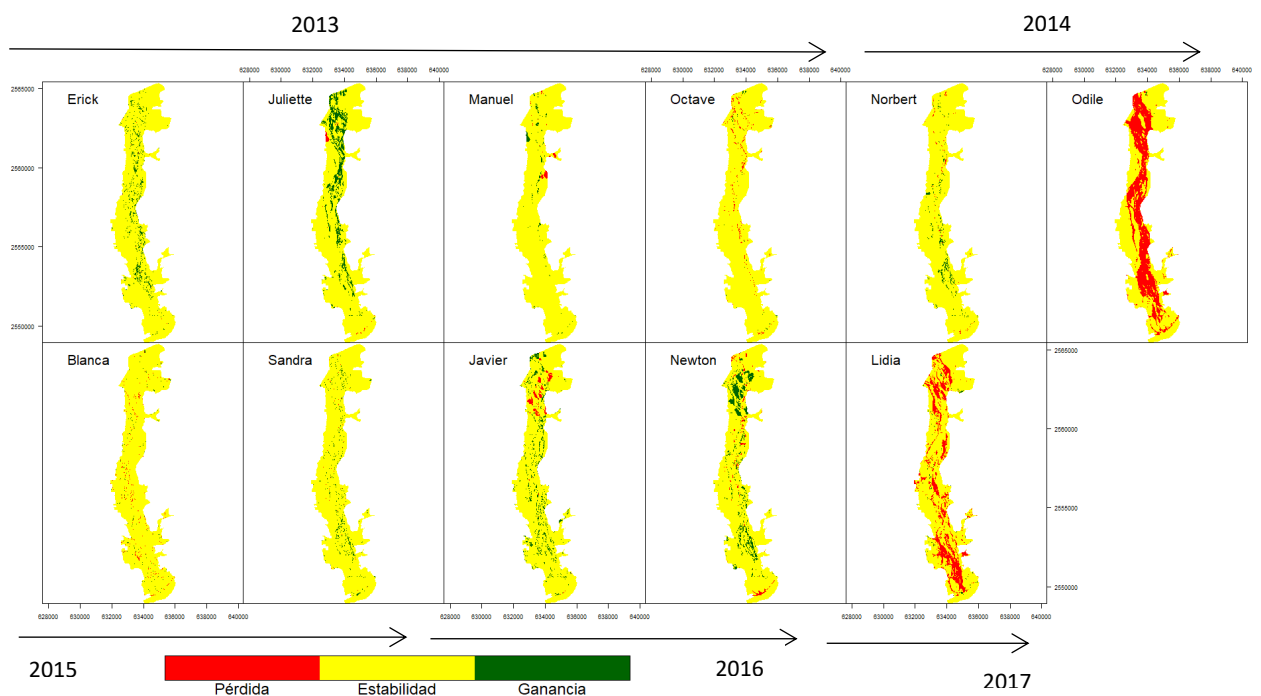


Figura 6.- "Pérdida, estabilidad y ganancia" de la cobertura vegetal por evento.

Tabla IV.- Tabla de pérdida, estabilidad y ganancia. Nos muestra el comportamiento de la vegetación posterior al ciclón tropical.

Año	Evento	Pérdida (ha)	Estabilidad (ha)	Ganancia (ha)	Pérdida (%)	Estabilidad (%)	Ganancia (%)
2013	Erick	3.17	2724.14	161.87	0.11	94.29	5.60
2013	Juliette- Lorena	16.31	2517.21	355.66	0.56	87.13	12.31
2013	Manuel	21.94	2821.39	45.86	0.76	97.65	1.59
2013	Octave	61.67	2816.48	11.03	2.13	97.48	0.38
2014	Norbert	21.24	2790.90	77.04	0.74	96.60	2.67
2014	Odile- Polo	1027.82	1858.73	2.63	35.57	64.33	0.09
2015	Blanca	51.84	2813.33	24.01	1.79	97.37	0.83
2015	Sandra	7.67	2792.68	88.83	0.27	96.66	3.07
2016	Javier	68.29	2617.38	203.51	2.36	90.59	7.04
2016	Newton	63.11	2569.07	257.00	2.18	88.92	8.90
2017	Lidia	595.98	2269.62	23.58	20.63	78.56	0.82
Promedio		176.28	2599.18	113.73	6.10	89.96	3.94

Para evaluar qué tipo de vegetación se localiza en las áreas más afectadas por el paso de ciclones tropicales, se procedió a elaborar una clasificación supervisada con la imagen Landsat previa a Erick en el año 2013 (Anexo 3), siendo esta la imagen base a comparar con la pérdida y ganancia de los demás eventos. Debido al efecto de la temporalidad de las imágenes se decidió no utilizar la clase de suelo ya que presenta una gran variación en las imágenes posteriores a los ciclones tropicales debido a la dinámica de la vegetación anual que crece en temporada de lluvias y desaparece en temporada de secas.

El porcentaje de las clases vegetales que presentan pérdida en su cubierta vegetal se muestran en tabla V. El ciclón tropical Odile-Polo fue el más devastador provocando una gran pérdida de la cobertura asociada a vegetación herbácea (60%) de área ocupada por este tipo de vegetación, 27% en vegetación asociada a zonas urbanas (Jardines en patios y vegetación de ornato), matorral (12%) y palmar (9%). Para el ciclón tropical Lidia la clase más afectada fue de nuevo vegetación herbácea (31%), vegetación urbana (20%), palmar (19%) y matorral (19%). Los demás eventos presentan pérdidas de cobertura vegetal por debajo de 5% para todas las asociaciones vegetales. La figura 7 muestra el agrupamiento de los datos en una gráfica de caja y bigote, se removieron los valores extremos que correspondieron a los eventos Odile y Lidia, indicando que son los dos eventos que presentan mayor pérdida de cobertura vegetal, los datos restantes no presentan pérdidas superiores al 5% de cobertura vegetal, si bien en un promedio la vegetación asociada a carrizo-tule fue la menos afectada, en los eventos intensos (Odile y Lidia) sufrió una pérdida de 4% y 10% de su cobertura total.

Tabla V.- Porcentaje de pérdida por tipo de vegetación usando como base la clasificación supervisada Landsat con fecha 26 de junio de 2013. Veg. = Vegetación, Arb. = Arbórea y Herb. = Herbácea.

Clases de vegetación (ha)							
Evento	Palmar	Veg. Arb.	Veg. Herb.	Carrizo-Tule	Zona Agrícola	Veg. Urbana	Matorral
Erick	0.00	0.00	0.20	0.00	0.03	1.85	0.00
Juliette-Lorena	0.00	0.00	0.36	0.00	0.09	0.00	1.09
Manuel	0.04	0.66	0.38	0.00	1.17	0.00	1.13
Octave	0.00	0.01	1.03	0.00	1.16	2.38	0.04
Norbert	0.00	0.01	0.38	0.00	0.67	0.00	0.04
Odile-Polo	9.13	7.19	60.52	4.38	3.88	27.51	12.77
Blanca	0.14	0.43	2.41	0.15	1.55	4.76	1.94
Sandra	0.04	0.13	0.34	0.06	0.23	0.53	0.08
Javier	0.04	0.01	4.40	0.00	1.86	0.00	1.41
Newton	1.80	1.33	1.92	0.46	1.65	1.32	0.43
Lidia	19.36	16.84	31.10	10.18	8.77	20.37	19.43
Promedio	2.78	2.42	9.37	1.38	1.91	5.34	3.49

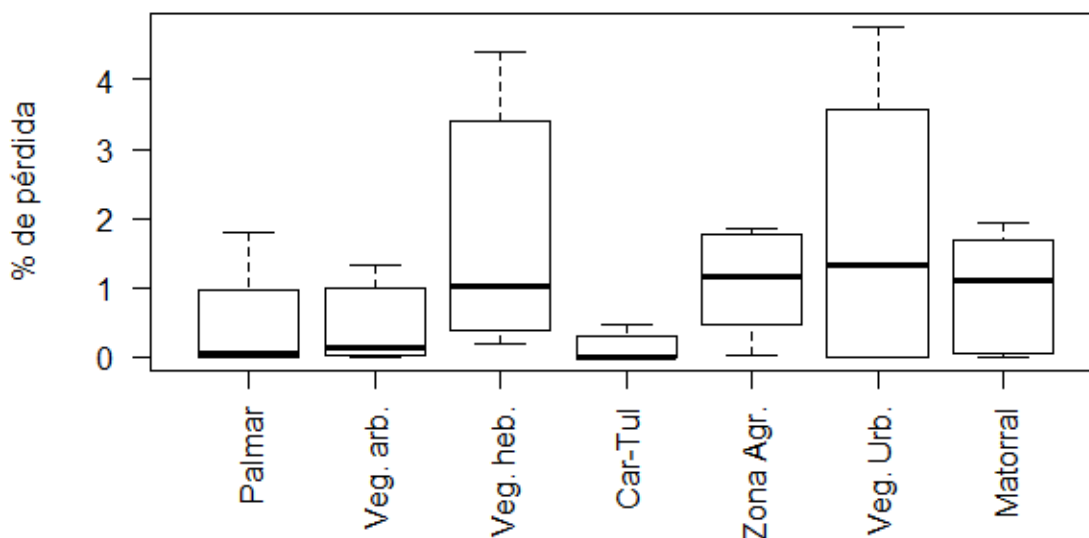


Figura 7.- Diagrama de caja y bigote de los datos de pérdida de cobertura vegetal, removiendo los valores extremos (Odile y Lidia). Línea sólida = Mediana, Caja = 1er y 3er cuartil, Bigotes = Mediana ± 1.5 *Rango intercuartílico.

Mediante el uso de NDVI (anexo 2) se procedió a calcular el Coeficiente de Variación con las 19 imágenes analizadas (figura 8). Las zonas del estero San José del Cabo y Poza de Santa Rosa presentan una variación entre 0-25% indicando que en estos sitios su promedio de NDVI varían poco, es decir zonas estables a lo largo del periodo estudiado, en estos sitios la vegetación presente son palmares, tulares y vegetación arbórea como mezquites. Las zonas cercanas al cauce del arroyo San José del Cabo presentan una variación entre 25-50% indicando cambios menores en el promedio de NDVI, pero zonas dentro del cauce presentan una variación entre 50-75% y el margen derecho (este) al norte de Santa Rosa presenta una variación del 75-100%, esta zona de alta variación es parte del cauce principal en donde se presentan inundaciones en caso de haber lluvias importantes, indicando que los valores de NDVI en estos pixeles son muy variables a lo largo del periodo estudiado, mostrando el gran dinamismo que tiene este ambiente ripario. Los bordes del cuerpo de agua del estero también presentan una variación alta indicando cambios en su morfología en el periodo estudiado.

Coeficiente de variación (CV)

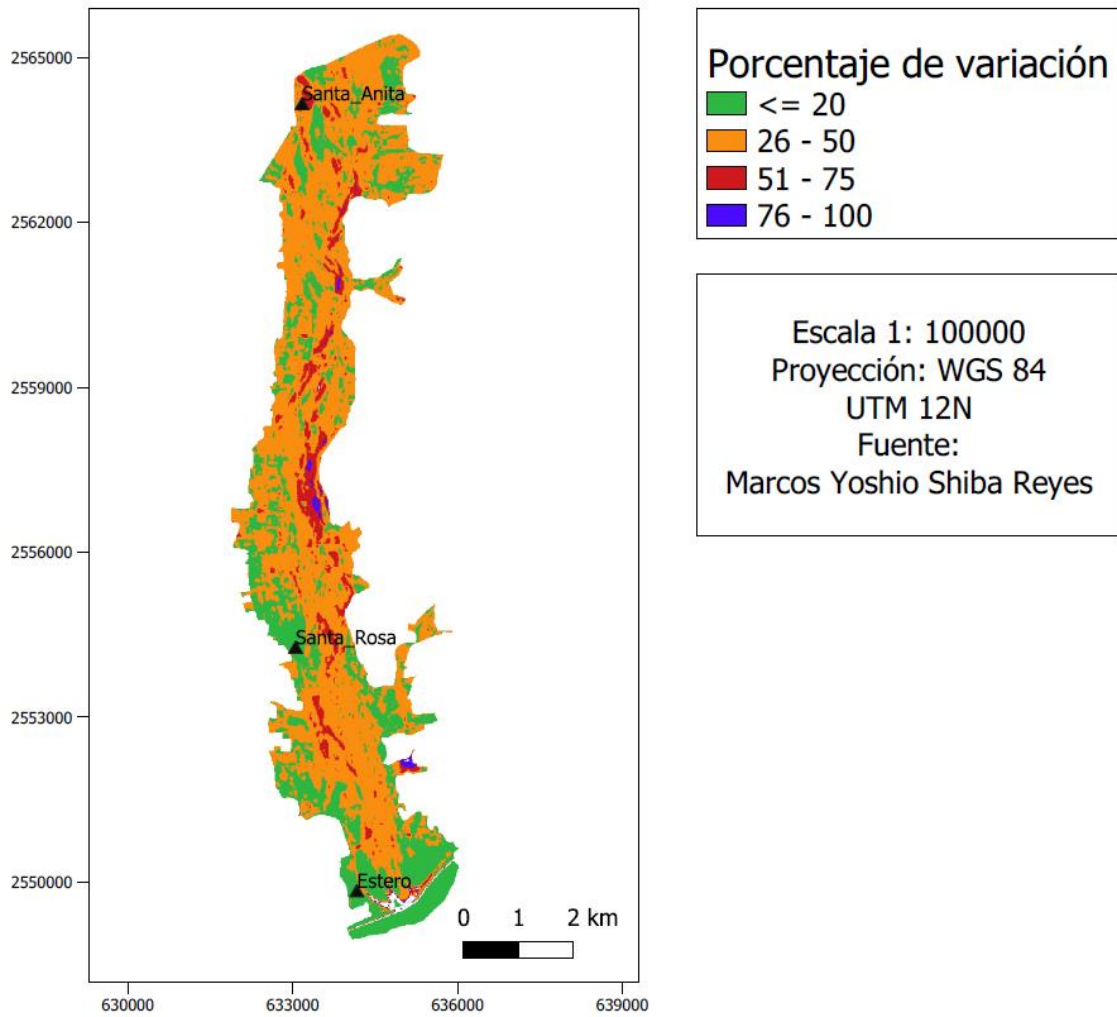


Figura 8.- Coeficiente de variación. Expresado en porcentajes donde 0% indica una nula variación y 100% máxima variación.

Con el propósito de conocer la recuperación de la cubierta vegetal post- ciclón tropical, se utilizó como referencia el último evento de cada año y la imagen correspondiente al mes de mayo del siguiente año. En la Tabla VI se observa que en promedio en el periodo estudiado se presenta una pérdida de 349.40 ha, y una recuperación promedio de 52.20 ha, dando un porcentaje de recuperación de 15%. En el año 2014 en el cual se presentó el ciclón Odile se perdieron 1,028 ha de cubierta vegetal, recuperándose solo el 8.46%. Para Lidia en el año 2017 se perdieron 590 ha de cubierta vegetal y presentó una recuperación de 25.42%.

Tabla VI.- Área de vegetación perdida del último evento de cada año y área recuperada en mayo del siguiente año.

Año	último evento del año	Área de vegetación perdida (ha)	Mayo Recup. (ha)	Porcentaje de recuperación
2013	Octave	60	7	11.67
2014	Odile	1028	87	8.46
2015	Sandra	8	2	25
2016	Newton	61	15	24.59
2017	Lidia	590	150	25.42
Promedios		349.40	52.20	15

El anexo 4 muestra el porcentaje de recuperación por cada clase vegetal tomando como base la clasificación supervisada Landsat del año 2013, para los años posteriores en las zonas donde existe una recuperación en la cobertura vegetal no se tiene la certeza si esta recuperación corresponde a la clase previa o si es sustituida por otra cobertura vegetal. La vegetación que presentó una menor tendencia en su recuperación (Figura 9) fue la herbácea y el matorral, esto puede ser debido a que las imágenes usadas para la recuperación de vegetación fueron tomadas en el mes de mayo, el cual corresponde a la temporada de secas de la región. Este tipo de vegetación es muy sensible a la falta de lluvia por lo que su presencia se ve reducida. Los demás tipos de vegetación presentan una recuperación por arriba del del 60% del área perdida, siendo carrizo-tule él que presenta mayor recuperación.

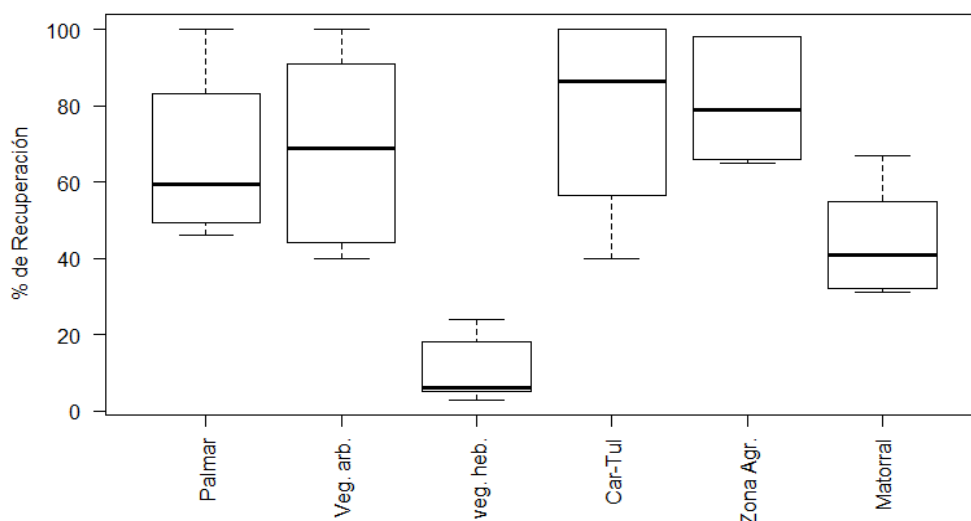


Figura 9.- Diagrama de caja y bigote del porcentaje de recuperación por tipo de cobertura. Línea sólida = Mediana, Caja = 1er y 3er cuartil, Bigotes = Mediana ± 1.5 *Rango intercuartílico.

Dada la relevancia socio ecológica del estero de San José del Cabo se analizó a una escala geográfica más fina la afectación de esta zona por el ciclón tropical Lidia (segundo evento más relevante en términos de pérdida de cubierta vegetal durante el periodo analizado), para ello se utilizaron dos imágenes SPOT que cubren el ciclón Lidia (anexo 5). En la imagen previa a Lidia con fecha 27 de mayo de 2017 es importante señalar que se observan los restos de un incendio forestal en la parte izquierda del centro del estero San José del Cabo en el área de Palmar. En la imagen posterior con fecha 06 de octubre de 2017 se observa como el cauce del arroyo ocasionó arrastre de sedimento provocando que se pierda vegetación y se abra la barra arenosa.

Con la imagen previa a Lidia realizó una clasificación supervisada del sensor SPOT (anexo 6). Esta clasificación fue comparada con la pérdida, estabilidad y ganancia realizada mediante ambas imágenes SPOT (Figura 10).

La característica principal de Lidia fue la gran cantidad de precipitación que presentó (400 mm) siendo el evento registrado en este periodo con más lluvia. En la figura 10 se presenta la pérdida, estabilidad y ganancia, el 17% corresponde a pérdida de vegetación, 78% a estabilidad y ganancia a 5%. Se observa como la pérdida de cobertura vegetal está completamente asociada al cauce del arroyo, afectando principalmente la zona central del estero y el margen izquierdo (oeste) el cual colinda con el centro histórico de San José del Cabo. Este margen sufrió una modificación importante arrastrando parte de la infraestructura existente ahí. La ganancia de vegetación se presenta en el área donde existió un incendio forestal meses atrás y en la parte noreste de la imagen.

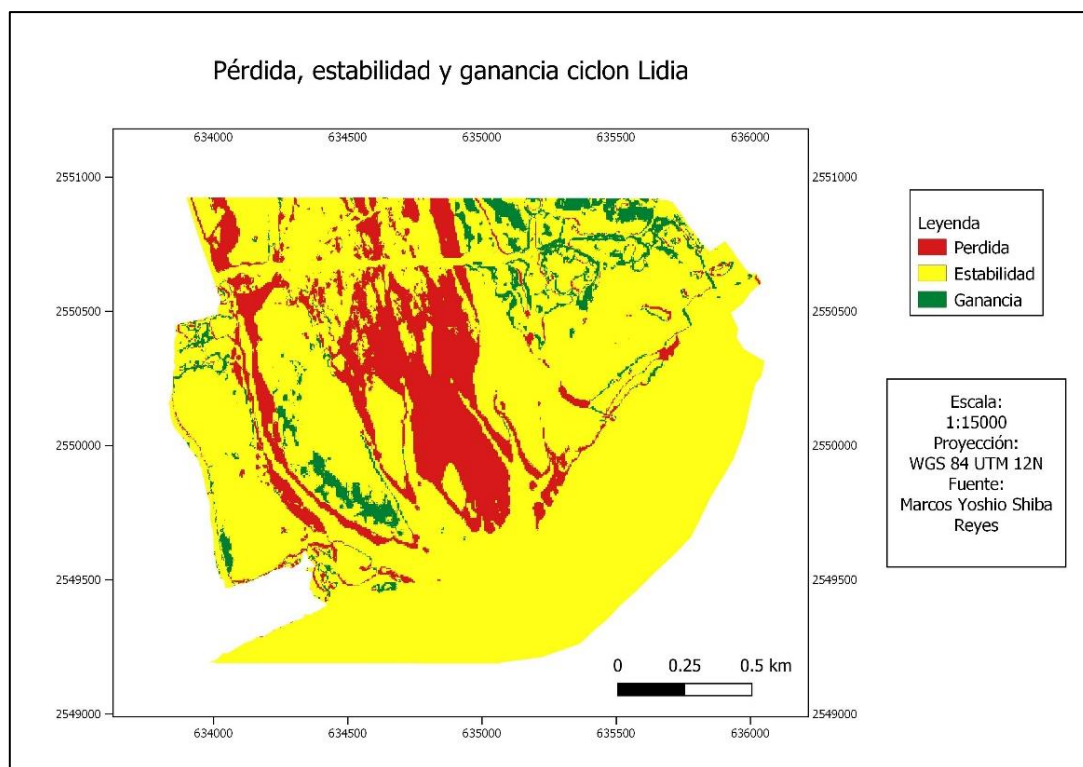


Figura 10.- Pérdida, estabilidad y ganancia del ciclón tropical Lidia sobre el estero San José del Cabo.

La figura 11 se observa que predomina la estabilidad en la mayoría de las clases (superior al 50%). Las clases más afectadas son vegetación herbácea y carrizo tule (38%), seguido por palmar (26%). Las menos afectadas son cuerpos de agua (4%) y vegetación urbana (7%). El área donde aparece la cobertura de vegetación quemada presenta un gran incremento de vegetación (36%) y vegetación herbácea (4%) y vegetación urbana (6%) un menor incremento.

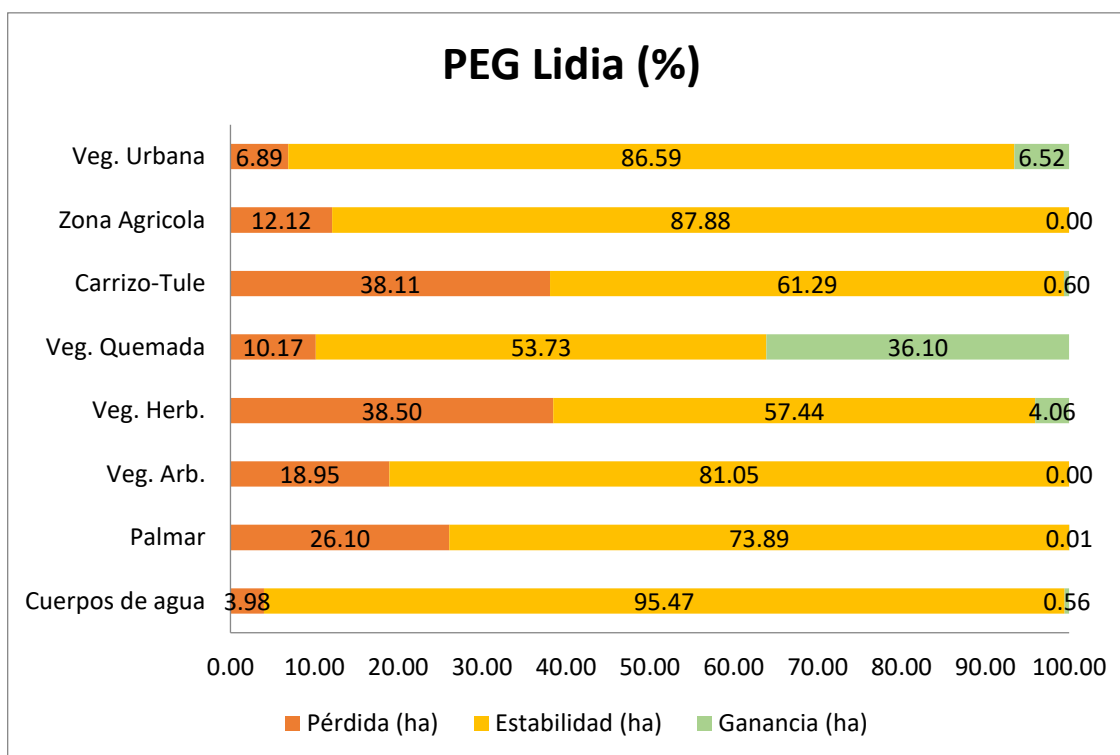


Figura 11.- Porcentaje de Pérdida, estabilidad y ganancia por clase, utilizando el sensor SPOT para la zona del estero San José del Cabo.

Con la finalidad de conocer como es afectado el palmar, el cual es la vegetación más representativa de este ecosistema, se realizó un monitoreo mediante seis imágenes Google Earth, estas imágenes fueron divididas en cuatro zonas y se realizaron 19 cuadrantes en los cuales se monitoreo la cobertura de palmar en ese lapso de tiempo (Figura 12).

La zona A se encuentra en el margen oeste del estero, esta zona es de suma importancia socioeconómica debido a que colinda con el centro histórico de San José y con el área turística FONATUR, presenta vegetación importante como palmar, carrizo y mezquite, aquí se llevan a cabo diferentes actividades socioeconómicas. La zona B se presenta dentro del cuerpo de agua del estero y se encuentra al oeste del cauce principal del arroyo, aquí se encuentra un área importante de palmar bien conservado y grandes parches de carrizo. La zona C es la más dinámica, ahí fluye el cauce principal del arroyo cuando se presentan precipitaciones altas, presenta arrastre de sedimento y vegetación. La Zona D se presenta en el margen este del cauce principal, aquí se presenta la mayor estabilidad en cuanto a cambios por el efecto de ciclones tropicales, pero presenta una fuerte presión antropogénica al estar cerca de desarrollos turísticos importantes.

La tabla VII presenta los promedios por zona de la cobertura de palmar en las diferentes fechas estudiadas, donde se observa una disminución de la cobertura de palmar entre la imagen inicial y final, la zona más afectada fue la C con una disminución de cobertura vegetal de 76% al 17%, en las zonas restantes se perdió cerca del 50% aproximadamente. En promedio las coberturas de palmar más bajas se encuentran después del ciclón tropical Odile con fecha 2014-09-22 donde en la zona A se pierde en promedio 75% de cobertura, 60% en zona B, en zona C se pierde por completo la cobertura de palmar bajando de 88% a 0, y 55% en zona D. La siguiente imagen disponible es 2016-12-13 aquí es posible observar cómo se presenta la recuperación de estas coberturas de palmar. La recuperación se presenta en todas las zonas, en A se recupera 47%, B presenta 24% más de cobertura, C aumenta 34% al igual que D. Con el ciclón tropical Lidia la imagen posterior es de 2018-03-17 casi nueve meses después del evento y se presenta una disminución en las zonas A (16%), C (21%) y D (19%).

Tabla VII.- Cobertura promedio del palmar por zona en seis imágenes analizadas de Google Earth

Fecha	Zona			
	A	B	C	D
20130504	100.00%	98.00%	76.00%	100.00%
20140619	100.00%	99.00%	88.00%	98.75%
¹ 20140922	24.00%	39.00%	0.00%	45.00%
20161213	71.00%	63.00%	34.00%	78.75%
20170430	73.00%	56.00%	38.00%	71.25%
² 20180317	57.00%	56.00%	17.00%	55.00%

¹ Posterior al ciclón Odile

² Posterior al ciclón Lidia

La zona que resultó más afectada por los ciclones tropicales fue la C, perdiendo gran parte del palmar y no presentando recuperación a sus coberturas originales, la menos afectada por ciclones tropicales fue la zona D, pero aquí se presenta mucha presión por el cambio de uso de suelo, en el cual se tala una gran parte del palmar entre 2017 y 2018. La zona A presenta una buena recuperación a ciclones tropicales, pero no se ha recuperado del todo, presentando espacios de palmares muy abiertos, la zona más constante es la zona B donde después de la pérdida de palmar por Odile presentó una buena recuperación y sus valores no han variado a pesar de presentar un incendio forestal en 2017.

De manera general se observa que el ciclón tropical Odile fue el que causó mayor pérdida de cobertura de palmar en 2014 pero a pesar de provocar una pérdida importante presenta una recuperación posterior, el ciclón tropical Lidia en 2017 fue otro evento importante en la pérdida de palmar, afectando principalmente mediante el cauce del arroyo.

Mediante dicho análisis se observan cambios en diferentes zonas, la modificación de la morfología del estero inicial en 2013 comparado con la imagen final de 2018 (Figura 12), donde parte del palmar de la zona A ahora se encuentra cubierto de agua y en la zona C encontramos que la influencia del cauce del arroyo removi6 y cubrió gran parte de la vegetación que ahí existía. Previo al ciclón tropical Lidia se presentó un incendio en la Zona B, aquí se presentó una gran recuperación la cual

se observa en la figura 13 donde la ganancia de vegetación reportada en el análisis SPOT corresponde a esta zona, la verificación en campo realizada en junio de 2019 muestra que en dicha zona existen brotes de *Washingtonia robusta* y ejemplares de distintas alturas, indicando un palmar saludable y en regeneración (Figura 14). El desmonte que se realizó del lado este (derecho) del estero (zona D) para la creación de un camino removió tanto palmar como carrizo, dando un área aproximada de 1.4 ha perdidas.

Con el paso de diferentes disturbios, incluyendo ciclones tropicales, incendios y algunos desmontes se puede observar que la cobertura de palmar está disminuyendo. Si bien tuvo una recuperación importante después de Odile, el ciclón tropical Lidia hizo que gran parte de esta cobertura se volviera a perder. En las distintas imágenes observadas de Google Earth se observa como en algunas zonas donde el palmar es afectado y sustituido por carrizo, manteniendo la cobertura vegetal, pero presentando cambios en la estructura de la vegetación.



Figura 12.- Imagen inicial (04-05-2013) y final (27-03-2018) utilizadas para el monitoreo de la cobertura de palmar en el estero San José del Cabo.



Figura 13.- La imagen de la izquierda previa al ciclón Lidia con fecha 21 de mayo de 2017, imagen de la derecha posterior a Lidia con fecha 27 de marzo de 2018.



Figura 14.- Zona de palmar existente dentro del área izquierda del estero donde se presentó un incendio forestal.

Con la finalidad de identificar cambios en la estructura de la vegetación del estero provocados por el ciclón tropical Lidia se realizando diez muestreos de vegetación, cinco previo a este evento y cinco posteriores, se buscó que los cuadrantes previos y posteriores estuvieran lo más cercano entre sí (Figura 3). Es importante señalar que el sitio 1 por motivos del cauce del arroyo y el gran volumen de agua que precipitó modificó la morfología del estero de tal manera que el sitio 1 A quedó sumergido en el cuerpo de agua, por lo que en 2018 el muestreo más cercano posible tuvo una distancia de 60 m de diferencia.

En ambos muestreos (Listado florístico en anexo 8) se registraron un total de 31 especies, pertenecientes a 29 géneros y 18 familias diferentes. La familia que más especies presenta es Fabaceae con 6 especies distintas de las cuales 3 están presentes en ambos años. De 31 especies registradas se registraron 23 en 2017 previo al ciclón Lidia y 18 en 2018 de las cuales 10 especies se encontraron en ambos sitios. Las formas de crecimiento observados con más frecuencia fueron herbácea perenne con 11 especies, arbóreo con 8 y arbustos con 7 (Tabla IIX). Dando como resultado un área mayormente heterogénea donde los cambios son principalmente en vegetación herbácea.

Tabla VIII.- Forma de crecimiento de las especies registradas.

Forma de crecimiento	No. de especies	Especies 2017	Especies 2018	Especies compartidas
Arbóreo	8	6	6	4
Arbusto	7	4	4	1
Herbácea perenne	11	10	5	4
Pasto perenne	2	2	1	1
Trepadora	3	1	2	0
Total	31	23	18	10

Para los muestreos previos a Lidia en 2017 es posible observar (anexo 9) que las especies dominantes son *Typha dominguensis*, *Wahingtonia robusta*, *Prosopis articulata* y *Arundo donax*, en los muestreos posteriores se mantiene la dominancia de estas especies sin presentar cambios importantes a excepción de *Typha dominguensis* la cual no se reportó al verse modificado el punto donde fue observada previo a Lidia.

8.- DISCUSIÓN

El estudio del efecto de ciclones tropicales sobre los ecosistemas ha propuesto diferentes metodologías e indicadores, este estudio se enfocó en el uso de sensores remotos que nos permiten estudiar a diferentes escalas tanto espaciales como temporales estos fenómenos mediante índices de vegetación (Mcdowell *et al*, 2015). Nagendra *et al* (2013) utiliza la percepción remota como una herramienta importante para monitorear áreas naturales, en este trabajo se eligió trabajar con imágenes satelitales para evaluar los daños provocados por ciclones tropicales similar a lo realizado por (Negrón – Juárez *et al*, 2014, Parker *et al*, 2018) quienes también utilizaron imágenes Landsat previas y posteriores a ciclones tropicales, en ambos casos se empleó el NDVI como indicador de disturbio, otros trabajos (Savage *et al*, 2017) también recomiendan el uso de NDVI para el monitoreo de disturbios. Uno de los sensores más recomendados es Landsat debido a su libre acceso, para el área del estero San José del Cabo es posible obtener imágenes cada ocho días por lo que es una herramienta muy útil para realizar estudios dentro de esta zona.

Al estar en una zona árida los valores de NDVI son muy variables en los meses de transición entre secas y lluvias, en este trabajó se utilizó el valor de $NDVI \geq 0.2$ como vegetación tomando este umbral de diferentes estudios (Muñoz, 2013; Díaz, 2015; Vázquez *et al*, 2018), es importante señalar que es un valor aproximado ya que en él campo es posible que exista vegetación por debajo de este umbral. La clasificación binaria a modo de presencia y ausencia de vegetación también fue utilizada por Bakr *et al*. (2010) usando como umbral $NDVI > 0$. La clasificación de imágenes Landsat para estudiar cambios por tipo de vegetación fue usada previamente por Giri *et al*. (2007) para evaluar cambios multi temporales en un bosque de manglar y por (Bakr *et al*, 2010) para monitorear cambios de uso de suelo en un área de Egipto, en nuestro estudio se evalúa qué tipo de cobertura vegetal es la que presentó mayor daño o pérdida.

Al momento de analizar la frecuencia de ciclones tropicales que tocaron tierra en México, Díaz (2010) mencionó que se registraron 153 ciclones entre 1963-2009, Baja California Sur obtuvo la mayor incidencia con 21.5% (33 ciclones) promediado 0.7 eventos por año. A su vez Farfán *et al* (2014) también describió que Baja California Sur es la entidad de México con mayor incidencia de ciclones tropicales. En un periodo de 40 años de 1970 a 2010, 36 ciclones tropicales tocaron tierra, para un promedio de 0.9 ciclones por año. Cabe mencionar que, el periodo estudiado en la presente investigación fue más corto, estimándose un promedio de 2.6 ciclones tropicales que se acercaron a menos de 500 km del área de estudio, promediando 0.6 eventos por año. Al tomar en cuenta todos los eventos que tocaron tierra en alguna parte de la península, se confirma que suman siete (Juliette, Octave, Odile, Blanca, Javier, Newton y Lidia) dando como resultado 1.4 eventos por año, promediando más de lo descrito por Farfán *et al* (2014) y Díaz (2010). Aun cuando el periodo de estudio fue corto en comparación con lo descrito por Díaz (2010) y Farfán *et al* (2014). Es importante analizar en un futuro mediante líneas de tiempo más extensas si la tendencia va hacia un aumento en frecuencia en la zona.

Al respecto, Farfán (2013) mencionó que la fase cálida del Niño favorece la formación e intensidad de los ciclones tropicales. En los meses finales de 2014, y todo el año 2015 y mediados de 2016 fueron catalogados como Niño presentando su mayor intensidad en los meses junio de 2015 a abril de 2016. Aquí se localizaron los eventos con mayor intensidad (Odile, Blanca y Sandra). La presencia del evento Niña estuvo en los meses de junio a diciembre de 2016 y se presentaron dos eventos siendo huracán categoría 1 el más intenso, para los años neutrales sólo se tiene registrado a Norbert (categoría 3) como el más intenso, los demás son tormentas tropicales o categoría 1. Los ciclones tropicales de categoría 3 o mayor presentan más días de vida en la fase cálida del Niño (Romero-Vadillo *et al*, 2007) y también se favorece a que su trayectoria sea por la parte central de

la península de Baja California (Díaz,2010) por lo que en años Niño se tendrá una mayor probabilidad de que ciclones tropicales toquen tierra en la entidad.

A la fecha no existe una evidencia clara que muestre que se incrementó la frecuencia e intensidad de ciclones tropicales derivado del calentamiento global (Díaz, 2010). Los modelos y proyecciones sobre el calentamiento global sugieren escenarios futuros con un incremento en la temperatura de los océanos, favoreciendo la intensidad y frecuencia de ciclones tropicales (Sobel *et al*, 2016; Zhang *et al*, 2017; Mass *et al*, 2018), debido al calentamiento oceánico, los ciclones tendrán una mayor duración y afectarán en gran medida la zona del Pacífico Norte y Norteamérica (Zhang *et al*, 2017), también se pronostica que algunas trayectorias sean atípicas afectando sitios donde usualmente no hay este tipo de fenómenos (Díaz, 2010).

Otro factor a considerar es el PDO (Pacífico Decadal Oscillation), el cual resume la variación en la temperatura del océano Pacífico en latitudes superiores a los 20° N. Raga *et al* (2013) encuentra una correlación mayor para PDO (0.31) que para el fenómeno del niño (0.22) al estudiar ciclones tropicales entre 1850-2010 en la zona del Pacífico, esto indica que el PDO influye más sobre el impacto de los ciclones tropicales en la península que el fenómeno del Niño

Según las mencionadas proyecciones, donde se espera una mayor intensidad, frecuencia y duración de ciclones tropicales comprometen la resiliencia de los ecosistemas costeros, y toda vez que Baja California Sur es la entidad con mayor longitud de costa será uno de los más vulnerables a estos cambios climáticos.

En la cuenca de San José del Cabo el 50% de la precipitación anual depende de ciclones tropicales (Wurl e Imaz, 2016), los porcentaje de lluvias que dejaron los ciclones tropicales en la zona fueron y durante el periodo analizado fueron, 70% en 2013, 73% en 2014, 20% para 2015, 60% para 2016 y 73% para 2017, lo que confirma las proyecciones propuestas por Wurl e Imaz (2016) y muestra la relevancia de estos fenómenos meteorológicos para el balance hídrico de la

región, siendo el principal aporte de agua dulce superficial y de recarga de mantos acuíferos.

Con el análisis de imágenes Landsat con 30 metros de resolución donde se obtuvo la pérdida, estabilidad y ganancia de coberturas vegetales, se observa que la zona permanece estable en promedio 90% y su valor más bajo de estabilidad corresponde es 60% correspondiente a Odile, por lo que hablamos de una zona mayormente estable a este tipo de eventos a excepción de ciclones tropicales con altos volúmenes de precipitación, siendo este factor más relevante que la intensidad (categoría), tal como fueron los casos de Odile y Lidia. La principal limitante de la vegetación en zonas áridas es la disponibilidad del agua por lo que la frecuencia de ciclones tropicales de baja intensidad ayudara a un desarrollo e incremento de verdor de la vegetación existente como fue el caso del evento Juliette el cual aumentó la cobertura vegetal 12%.

Ackerman (1991) explicó que los daños provocados por huracanes dependerán de la cercanía del ciclón y su intensidad, en este estudio se muestra como dos ciclones tropicales de diferente categoría provocaron una gran cantidad de daño, Odile categoría 4 presentó pérdida de 1,710 ha (36% del área de estudio) de cobertura vegetal y Lidia catalogado como ciclón tropical provocó cerca de 500 ha (24%), ambos tienen en común que presentaron una gran cantidad de precipitación Odile 265 mm y Lidia 400 mm, por lo que la pérdida de cobertura vegetal está determinada principalmente por el volumen y la fuerza de la corriente de agua. Boose *et al* (1994) reporta que la topografía y diferentes condiciones abióticas son las que determinaran el daño por ciclones tropicales, en el área de estudio una gran cantidad de precipitación provoca que el cauce del arroyo San José fluya con gran fuerza generando arrastre de vegetación y aporte de sedimento, siendo éste el principal factor de pérdida de cobertura vegetal por encima de la acción del viento.

Se analizó el impacto del ciclón tropical Lidia a una escala más fina con imágenes SPOT (1.5 m de resolución) se observó que el estero de San José del Cabo muestra el mismo patrón, una gran estabilidad en el área de 78% correspondiente a 246 ha, pérdida de 17% correspondiente a 57 ha y ganancia de 5% correspondiente a 15 ha. Al ser el sitio donde desemboca el arroyo San José del Cabo la pérdida de vegetación está asociada dicho cauce, el cual remueve y entierra la vegetación existente.

La mayoría de los estudios sobre el efecto de ciclones tropicales en la vegetación han evaluado los daños provocados principalmente por el viento, reportando que el más común es la defoliación de árboles y el desenraizamiento, esto dependerá de las especies existentes y sus características individuales, los daños observados a nivel especie dependerán de las características individuales de cada individuo, árboles con mayor densidad serán más resistentes al viento, árboles menos densos serán más propensos a desenraizarse y sufrir rompimiento de ramas, la vegetación será menos resistente a dichos eventos cuando ocurren posterior a sequías (Walker, 1991; Isbele *et al*, 2009; Navarro-Martínez *et al*, 2012; Jiménez-Rodríguez *et al*, 2018). En este estudio se evaluó el daño sobre la cubierta vegetal ocasionado por la escorrentía, sin embargo, en análisis a escala fina y visitas de reconocimiento a campo, se observaron que los daños del ciclón Lidia sobre el palmar son árboles caídos y doblados por acción del viento.

Lugo (2008) mencionó que uno de los principales cambios que ocurren por el impacto de ciclones tropicales es la pérdida de cobertura vegetal y la modificación física del ambiente. En los casos de Odile y Lidia la pérdida de cobertura vegetal fue evidente, y la modificación del ambiente se dio por la influencia del arroyo y la gran cantidad de sedimento que transportó, provocando un cambio total en el cauce del arroyo y el rompimiento de la barra arenosa. Palacios-Oponete (2010) menciona que la ruptura o apertura de barras arenosa por el efecto de un ciclón tropical es un indicador de que se presentó un fenómeno intenso ya sea por un exceso de lluvias en la región o la acción del oleaje en la costa. El rompimiento de

la barra arenosa es frecuente en casos de lluvias extremas en el estero de San José del Cabo y ocurre de manera natural, esto fue registrado en eventos extremos como Odile y Lidia, los cuales presentaron 265 mm y 400 mm cada uno. Bañuelos (2017) reporta que este rompimiento de barra arenosa ocurrió de manera similar en 2001 con el ciclón tropical Juliette el cual presentó lluvias de 470 mm. El ciclón tropical Odile impactó en septiembre de 2014 y la barra se cerró en el mes de noviembre (Observado mediante Google Earth) y Lidia en 2017 provocó un rompimiento de igual manera, la imagen más actual de Google Earth con fecha 27-03-2018 muestra que no se ha cerrado por completo, también menciona que la creación de estructuras costeras artificiales en la región del Cabo afecta la transportación de sedimento en la costa, por lo que construcciones en Los Cabos o el corredor turístico afectará la cantidad de sedimento que pueda llegar a transportarse hacia la barra arenosa del estero. La erosión estimada por Bañuelos (2017) fue de 21,635 t/año presentándose principalmente en época de ciclones, esta pérdida de sedimento ocurre en serranías y es transportada por el arroyo hasta la cuenca baja. Este flujo de sedimento es fuertemente influenciado por cambios en la cobertura vegetal en cuenta alta.

Respecto a las notorias precipitaciones provocadas por ciclones tropicales, Mendoza (2014) mencionó que la parte baja y media de la cuenca es susceptible a inundarse debido a su bajo relieve, por lo que el aumento en la frecuencia de eventos de lluvias extraordinarias pone en un alto grado de vulnerabilidad al centro histórico de San José, por lo que es importante tener atención y cuidado en el manejo de este cauce. En visitas a campo fue posible observar un gran número de asentamientos humanos irregulares a lo largo de cauce cuenca arriba y una gran cantidad de desechos, otra problemática existente es la presencia de distintos bancos de materiales que modifican el cauce y la topografía del arroyo. Es importante el manejo integral de esta zona debido a que al fluir el agua por efecto de lluvias muchas construcciones irregulares son destruidas y junto con los desechos existentes en la zona son arrastrados cuenca abajo, terminando en el

cuerpo de agua del estero y sus alrededores. Dicho flujo aumenta el nivel del cuerpo de agua llegando a inundar tanto el centro histórico como desarrollos turísticos en FONATUR. Los pobladores originarios de San José del Cabo mencionan la importancia del rompimiento de la barra arenosa tanto de manera natural como provocada para disminuir este riesgo por inundación.

Mediante el coeficiente de variación se observa que el cauce del arroyo es la zona que presenta valores más cambiantes de NDVI esto indica el gran dinamismo que existe en el área, la zona de vegetación existente en los márgenes del estero San José del Cabo presenta una estabilidad menor al 25% igual que el área de la Posa de Santa Rosa, esto es debido a que el cauce del arroyo no fluye por estas áreas y que el tipo de vegetación existente es más resistente, el cual es principalmente palmar, carrizo y vegetación arbórea como mezquites y guamúchil. Por lo que es importante dar un seguimiento a los posibles cambios en el cauce del arroyo y evitar que en un futuro pueda afectar estas áreas estables tanto de vegetación como la zona urbana.

En el análisis realizado para el ciclón Lidia mediante las imágenes SPOT la vegetación herbácea y carrizo-tule son las más afectadas con 38% en ambos casos, seguido de palmar (26%), en ambas escalas se mantiene la vegetación herbácea como la más afectada pero el carrizo-tule presenta un comportamiento distinto, siendo a esta escala donde presenta más superficie perdida que para las imágenes Landsat, esta pérdida de cobertura vegetal sigue el mismo patrón espacial que los análisis anteriores, donde el cauce del arroyo provoca arrastre de vegetación. Es importante señalar que el cambio a una escala más fina se obtiene un mejor detalle de cambios y procesos, por lo que es importante analizar a diferentes niveles espacio-temporales los ecosistemas para poder integrar los diferentes niveles de información y llegar a mejores conclusiones (Galicia, 2002).

Breceda y Pérez (2004) realizaron un estudio sobre los impactos del huracán Juliette en la zona del estero San José, este ciclón impacto las costas sudcalifornianas en septiembre de 2001 como categoría 4 con una precipitación

aproximada de 449 mm siendo esta precipitación aún mayor a la reportada en Lidia. El área de estudio fue similar a la analizada para el ciclón tropical Lidia con el sensor SPOT. De acuerdo a los resultados se afectaron 81.5 ha correspondiente al 31% del área del estero en 2001 y para Lidia en 2017 en él se reporta una pérdida de 53 ha (17%). Estos daños provocados corresponden al efecto de la corriente del arroyo y sedimentos que ocasionó la remoción de la cubierta vegetal, esta remoción también cambia la composición y contenido del suelo, arrastrando semillas y plántulas (Breceda y Pérez, 2004). En la figura 13 es posible observar la imagen previa y posterior al ciclón Lidia observando como la zona central y parte del margen oeste (izquierdo) es modificado por completo por el cauce del arroyo. Las unidades vegetales que presentan mayor superficie afectada fueron carrizal, palmar y tular en ambos estudios.

Los resultados generados a múltiples escalas y temporalidades muestran que la cobertura vegetal de la cuenca baja y estero San José del Cabo presenta una gran estabilidad en su permanencia; sin embargo, frente a eventos ciclónicos que presentan un gran volumen de agua por arriba de los 250 mm, la fuerza de la corriente afecta severamente a la vegetación, si bien existe una rápida recuperación de la cubierta vegetal, los eventos extraordinarios como Odile y Lidia no se recuperaron por completo.

Después de un disturbio el ecosistema busca regresar a su estado previo mediante renovación y reorganización de recursos, un ecosistema conservado logrará volver a este estado de manera más rápida y sencilla (Folke, 2004). La recuperación de la cobertura vegetal fue tomada en el mes de mayo mediante imágenes Landsat debido a que, al ser plena temporada de secas, la vegetación anual no se encontrará presente, si esta recuperación muestra vegetación en este mes es posible que se mantenga durante el resto del año. De los eventos donde se presentó mayor pérdida de cobertura en el que menos recuperación se presentó fue Odile (9%), Lidia presentó 25% de recuperación posterior. Aquí debemos señalar que por la resolución del sensor solo sabemos el área de

cobertura vegetal que se recupera, pero no sabemos con exactitud qué tipo de vegetación es la que aparece. Al ser una zona árida la vegetación responde de manera positiva a los impulsos de lluvia por lo que la precipitación posterior a ciclones tropicales ayudará a una recuperación de la cubierta vegetal más rápida (Álvarez- Yépiz *et al*, 2018).

Se realizó una verificación en campo donde se hicieron recorridos por las diferentes zonas afectadas. El éxito en la recuperación de la vegetación depende por sus diferentes tasas de crecimiento y recuperación, las especies más rápidas aprovecharán la disponibilidad de recursos para favorecer su establecimiento (Walker, 1991). En la zona más dinámica del cauce se observó que la recuperación corresponde principalmente a especies invasoras como *Tamarix sp.* (Pino salado) (Figura 15), también se observan las dos especies de carrizo existentes en el sitio (*Arundo donax* y *Phragmites australis*), *Arundo donax* cubre mayor área al ser una especie más terrestre, demanda condiciones de humedad pero no de inundación permanente, por el contrario *Phragmites australis* se encuentra normalmente en zonas cercanas al cuerpo de agua o con abundancia de agua subterránea ya que tiene requerimientos hídricos más altos que *Arundo donax* (Armenta, 2005). En la zona del cauce del arroyo el cual es una de las zonas más afectadas predomina la existencia de *A. Donax*, pequeños brotes de palma (*Washingtonia robusta*) y vegetación típica de arroyo como Romerillo (*Baccharis sarothroides*).

El pino salado es una especie invasora que se encuentra principalmente en hábitats riparios, su capacidad por extenderse rápidamente de diferentes maneras provoca cambios físicos de los ecosistemas llegando a competir y afectar la biota nativa existente, esta especie tiene un alto requerimiento hídrico (Whitchcraft *et al*, 2006). *Arundo donax* también es catalogado como una especie de carrizo invasora que se encuentra principalmente en hábitats riparios al igual que *Tamarix sp.* (Pino salado), su facilidad para esparcirse y crecer lo hacen un competidor directo con

especies locales, además sus requerimientos de agua son de tres a diez veces más que las especies nativas (CONABIO, 2016; Flores *et al*, 2008).



Figura 15.- Invasión de pino salado en el estero San José del Cabo

La composición típica de la vegetación en las zonas cercanas al cauce que no mostraron indicios de ser afectados es *Tamarix sp*, carrizo (*Arundo Donax* y *Phragmites australis*), romerillo (*Baccharis sarothroides*), *Washingtonia robusta* y especies arbóreas como Guamuchil (*Pithecellobium dulce*), vinoramas (*Acacia farnesiana*) y mezquites (*Prosopis articulata*). En la zona sur del cauce cercano al cuerpo de agua del estero encontramos una gran cantidad de pastos, vegetación herbácea y carrizos, aquí el suelo presenta una gran cantidad de humedad por lo que favorece el crecimiento y que estas especies se mantengan durante todo el año, también es probable que al existir un flujo de agua inunde esta zona (Figura 16).



Figura 16.- Vegetación cercana al cuerpo de agua del estero.

Los eventos hidrometeorológicos intensos y frecuentes pueden afectar severamente la diversidad y dispersión de especies nativas, para ser sustituidas por especies invasoras y oportunistas como *Tamarix* y *Arundo*. Estas especies invasoras compiten directamente por recursos como agua y espacio, siendo una de las principales causas de pérdida de resiliencia en los ecosistemas. Las especies invasoras no están bien adaptadas a resistir este tipo de eventos, pero sus formas de dispersión las ayudan a recuperarse más rápido que las nativas en la mayoría de los casos (Lugo, 2008). En un escenario la frecuencia de ciclones tropicales incrementa estas especies invasoras desplazarían a las nativas provocando efectos negativos en cascada como la extinción o desplazamiento de algunas especies tanto animales como vegetales (Jiménez-Rodríguez *et al*, 2018).

Al momento de analizar cambios en la estructura de vegetación mediante el muestreo de cinco cuadrantes previos y cinco cuadrantes posteriores al paso del ciclón Lidia, no se encontraron grandes diferencias, el cambio más importante fue la pérdida del punto 1 A por el cauce del arroyo. Algunos sitios fuera de nuestro muestreo sufrieron pérdidas importantes de vegetación como fue la zona central del cauce.

No se registraron cambios en la composición ni estructura de especies en los cuadrantes seleccionados. La presencia de brotes vegetativos de *Washingtonia robusta* y *Prosopis articulata* en los muestreos B, nos indica que es un ecosistema que presenta una regeneración de especies, la regeneración de especies es

importante debido a que es el principal mecanismo de los ecosistemas para recuperarse al paso de disturbios (Folke *et al*, 2004). En estos muestreos se detectaron importantes cambios de uso de suelo en el margen este del estero, en el cual se realizó un desmonte de vegetación para la creación de un muro de contención y un camino, el cual, si no afectó de manera directa nuestros puntos seleccionados, si presentó cambios importantes a los alrededores. En la figura 17 al comparar una imagen Google Earth del 2013 a un vuelo de dron realizado en junio de 2019 es posible apreciar la construcción de un camino y un muro de contención que removió 1.4 ha aproximadamente de las cuales 0.3 ha correspondían al palmar. El cambio de uso de suelo provoca una pérdida irreversible de la vegetación y es uno de los principales factores de la pérdida de resiliencia de los ecosistemas.



Figura 17.- Cambios de uso de suelo en el margen derecho del estero San José del Cabo correspondiente a palmar. A la izquierda imagen de Google Earth de mayo de 2013, a la derecha ortomosaico generado a partir de imágenes de dron en junio de 2019 proporcionado por Raúl Martínez-Rincón.

La resiliencia de los ecosistemas está dada por la biodiversidad de especies a diferentes escalas (Thompson, 2011) y de grupos funcionales que brindan diferentes servicios ecosistémicos necesarios para la conservación y funcionamiento del hábitat (Folke, 2004; Thompson, 2011). Como se observó en análisis previos el sitio se mantiene estable y resiliente a ciclones tropicales, siendo la actividad antropogénica la principal fuente de pérdida de resiliencia del sitio. Esta pérdida de resiliencia es dada por cambios de uso de suelo, especies invasoras, contaminación y fragmentación del ecosistema. La pérdida de resiliencia es llamada umbral ecológico o punto de inflexión, y puede ser alcanzado por un disturbio muy fuerte o un cambio gradual en el régimen de disturbios, haciendo más vulnerable al ecosistema (Folke, 2004; Thompson, 2011). El estero San José del cabo cada vez está más aislado y empieza a fragmentarse por lo que en futuro su resiliencia puede verse comprometida al recibir más presión antropogénica y ciclones tropicales más intensos.

Es difícil conocer los niveles de resiliencia natural de un sitio por lo que se requiere realizar programas de monitoreo para encontrar, evaluar y resolver los problemas existentes en el ecosistema y poder aplicar medidas de manejo (Cuevas-Reyes, 2010).

Es importante diseñar programas de manejo y conservación donde se conserven los ecosistemas y su biodiversidad que cubran áreas significativas para ello, las cuales serán más resilientes a los disturbios que sitios fragmentados (Cada, 2015). Asimismo, es de suma relevancia, realizar un manejo forestal para mitigar el efecto de ciclones tropicales como sería el aprovechamiento de árboles caídos, limpieza de ramas y hojarasca para evitar plagas e incendios forestales (Navarro-Martínez *et al*, 2012), también como seguir evaluando los efectos y respuesta del estero a diferentes tipos de disturbio para evaluar la resiliencia del sitio.

Para aumentar la resiliencia de los ecosistemas Gunderson (2000) propone tres estrategias: incrementar la capacidad de amortiguamiento del sistema al aumentar su área conservada, manejar los procesos a diferentes escalas y fomentar la

renovación de especies. Para esta renovación de especies es importante utilizar especies nativas que estén adaptadas al ambiente y a los disturbios que se presentan como podrían ser *Washingtonia robusta* y *Prosopis articulata*.

9.- CONCLUSIÓN

La metodología presentada en este estudio es replicable y puede ser utilizada para analizar a detalle un solo evento o una serie de eventos en un área particular.

El área de la cuenca baja y estero de San José del Cabo presenta una estabilidad cercana al 90% al efecto de ciclones tropicales, indicando una gran capacidad de resistencia y resiliencia a este tipo de fenómenos. Sin embargo, la cobertura vegetal presenta una recuperación parcial a esos eventos, pero sin volver a sus valores anteriores. Se registran pérdidas importantes de vegetación en eventos extremos como fue el caso de Odile y Lidia, siendo la vegetación herbácea la más afectada.

La pérdida de vegetación está asociada a principalmente al gran volumen de precipitación que dejaron estos eventos, provocando que el cauce del arroyo San José del Cabo fluyera con gran intensidad, siendo el arrastre de vegetación y sedimento provocado por la acción del agua el principal factor de estos cambios.

Los ciclones tropicales pueden acelerar el crecimiento y dispersión de especies invasoras como *Tamarix* y *Arundo*, debido a que estas especies aprovechan los espacios generados por la pérdida de vegetación causada por los ciclones tropicales.

La comunidad vegetal correspondiente al palmar presenta una importante disminución en su cobertura tanto por el efecto de ciclones tropicales como el cambio de uso de suelo, esta importante comunidad vegetal compite directamente con *Arundo donax*.

Según las evidencias analizadas, el principal causante de deterioro del estero San José es el cambio de uso de suelo que se ha realizado en dicha zona en los últimos años, reduciendo tanto su polígono de conservación como su área original, de continuar así se logrará aislar cada vez más este ecosistema y un ecosistema aislado y fragmentado disminuye su resiliencia de manera importante.

Si bien el estero San José del cabo ha perdurado a través del tiempo, y se mantiene estable al paso de ciclones tropicales indicando una gran capacidad de resiliencia, en un escenario donde la intensidad y frecuencia de ciclones tropicales vaya en aumento, sumando la presión antropogénica provocada por incendios, cambio de uso de suelo y contaminación, compromete la resiliencia del ecosistema.

9.1.- Recomendaciones

Es importante continuar con el seguimiento de los daños provocados por ciclones tropicales para poder atender las áreas más vulnerables y desarrollar estrategias que permitan aumentar la resiliencia y resistencia del estero.

Implementar medidas de conservación en la cuenca alta con la finalidad de conservar la cobertura vegetal, retener el suelo y disminuir los grandes flujos de agua ocasionados por el arroyo San José.

Analizar la problemática existente en la cuenca media donde se encontró la presencia de construcciones irregulares en el cauce del arroyo, así como la gran cantidad de escombros y basura existente en dicha área.

La pérdida de vegetación nativa por ciclones tropicales puede ser sustituida por especies invasoras por lo que es importante implementar un manejo del ecosistema posterior a estos disturbios.

Es importante analizar los fenómenos meteorológicos y tomar medidas de adaptación y mitigación, así como monitorear y estudiar cambios en la topografía y morfología del arroyo San José. En este caso es necesario prevenir los grandes volúmenes de agua y el gran riesgo por inundación en el centro histórico de San José, por lo que es necesario realizar obras de protección hidráulicas para prevenir pérdidas económicas altas.

10. - LITERATURA CITADA

- Ackerman, J. D., Walker, L. R., Scatena, F. N., Wunderle, J. 1991. Ecological Effects of Hurricane. *Ecological Society of America*. 72(3):178-180
- Aguilar, H., Mora, R., Vargas, C. 2014. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot 2 y landsat 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*. 53:39-59.
- Álvarez-Yépez, J.C., Martínez-Yrizar, A., Fredericksen, T. 2018. Special Issue: Resilience of tropical dry forest to extreme disturbance events. *Forest Ecology and Management*.216:1-6
- Armenta, L. 2015. Propuesta de programa de manejo para la Reserva Ecológica Estatal estero San José. Tesis (Maestría en ciencias marinas y costeras). UABCS. *Ciencias del Mar*. 204p
- Bakr, N., Weindorf, D.C., Bahnassy, M.H., Marei, S.M., El-Badawi, M.M. 2010. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed área of Egypt using multi-temporal Landsat Data. *Applied Geography*. 30:592-605.
- Bañuelos, M. 2017. Evolución de la línea de costa en las playas de la bahía de San José del Cabo, Baja California Sur (1993-2014). Tesis (Maestría en manejo de recursos marinos). La Paz, Baja California Sur. Instituto Politécnico Nacional. Centro interdisciplinario de ciencias marinas. 103 p.
- Boose, E.R., Foster, D.R., Fluet, M. 1994. Hurricane impacts to tropical and temperate forest landscape. *Ecological Monographs*. 64-4:369-400.
- Breceda, A., Pérez-Navarro, J.J. 2002. Efecto del huracán Julieta en el estero de San José, B.C.S. Selper, Puerto Vallarta, Jalisco.
- Breceda, A., Martínéz, G., Díaz, J.J., Wurlz, J., Valdez, A., Hernández, P., Gaytán, J., Martínez, J., Imaz, M., Maya, Y., Marín, B., Argueta, A., Vázquez, M.R., Echeverría, Y., Castoreña, L., Flores, M., Pombo, A., Ceseña, G.2002. Programa de Manejo para la Cuenca Hidrológica-Forestal San José del Cabo, B.C.S. CIBNOR-UABCS.
- Breceda, A., Galina, P., Bermúdez, B. 2016. Los sitios Ramsar de Baja California Sur, México: Problemática y perspectivas. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*. Vol. 2(2). Pp. 127-144.
- Cada, V., Morrisey, R., Michlová, Z., Bace, R., Janda, P., Svoboda, M. 2016. Frequent severe natural disturbance and non-equilibrium landscape dynamics shaped the mountain spruce forest in central Europe. *Forest ecology and management*. 363:169-178.
- Congedo, L. 2016. Semi- Automatic Clasification Plugin Documentation.

CONABIO. 2016. Método de evaluación rápida de invasividad (MERI) para especies exóticas en México, *Tamarix ramosissima*. Revisado el 02 de septiembre de 2019. Disponible en: http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/R_Z/Tamarix%20ramosissima.pdf

Cuevas-Reyes, P. 2010. Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas*. 12(1):1-7.

De Nova Vázquez, E., Castro Ibarra, G., Ramos Ramos, H. 2018. Identificación de la vegetación urbana en la Ciudad de México; evaluación de cuatro métodos para la determinación de umbrales en el índice normalizado de diferencias de vegetación y de la clasificación supervisada. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*. 9(3): 58-73

Díaz, S. 2010. Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México. *Interciencia*. 35(4):306-310.

Díaz García-Cervigón, J.J. 2015. Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. Tesis (Maestría en tecnologías de la información geográfica). Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía e historia. 78 p.

Doyle, T., Krauss, K., Wells, C. 2009. Landscape analysis and pattern of hurricane impact and circulation on mangrove forest of the Everglades. *Wetlands*. 29(1): 44-53.

Farfán, L. 2004. Regional observation during the landfall of Tropical Cyclone Juliette (2001) in Baja California, México. *American Meteorology Society*. 132: 1575- 1589.

Farfán, L., Alfaro, E., Cavazos, T. 2013. Characteristics of tropical cyclone making landfall on the Pacific coast of Mexico: 1970-2010. *Atmósfera*. 26(2): 163-182.

Farfán, L., D'Sa, E., Liu, K. 2014. Tropical cyclone impacts on coastal regions: the case of the Yucatán and the Baja California Peninsulas, México. *Estuaries and coasts*. 37:1388-1402.

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S. 2004. Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35:557-81.

Gómez, D. 2019. Variación espacial y temporal de la vegetación en Baja California Sur, con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. (Tesis para obtener maestría en

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales). La Paz, B.C.S., Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 48p

Gill, N., Jarvis, D., Veblen, T., Pickett, S., Kulakowski, D. 2017. Is initial post-disturbance regeneration indicative of longer-term trajectories? *Ecosphere*. 8(8).

Giri, C., Pengra, B., Zhu, Z., Singh, A., Tieszen, L. 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 73:91-100.

Gunderson, L. 2000. Ecological resilience in theory and application. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31:425-39.

Holling C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 4:1-23

Holling C.S. 1996. Engineering resilience versus ecological resilience. *National Academic of Science*. 31-43

Isbele, G.A., Torrescano-Valle, N., Valdez-Hernandez, M., Tuz-Novelo, M., Weissenberg, H. 2009. Efectos del impacto del huracán Dean en la vegetación del suerteste de Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*. 11(1):1-6.

Jiménez-Rodríguez, D.L., Alvarez-Añorve, M.Y., Pineda-Cortes, M., Flores-Puerto, J.I., Benítez-Malvido, J., Oyama, K., Avila-Cabadilla, L.D. 2018. Structural and functional traits predict short term response of tropical dry forest to a high intensity hurricane. *Forest Ecology and Management*. 426: 101-114

Krebs, C. 2001. *Ecology*. Editorial Benjamin Cummings. 5a Edición, San Francisco. 608p.

Lugo, A.E. 2008. Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystem: an international review. *Austral Ecology*. 33:368-398.

Maass, M., Ahedo-Hernández, R., Araiza, S., Verduzco, A., Martínez-Yrizar, A., Jaramillo, V., Parker, G., Pascual, F., García-Méndez, G., Sarukhán, J. 2018. Long-term (33 years) rainfall and runoff dynamics in a tropical dry forest ecosystem in western Mexico: Management implication under extreme weather events. *Forrest Ecology and Management*. 426:7-17.

Manson, R., Jardel, E. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecoregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En *capital natural de México*. CONABIO. 2:131-184

Martínez-Yrizar, A., Jaramillo, V., Maass, M., Búrquez, A., Parker, G., Álvarez-Yépiz, J.C., Araiza, S., Verduzco, A., Sarukhan, J. 2018. Resilience of tropical dry forest productivity to two hurricanes of different intensity in western Mexico. *Forest Ecology and Management*. 426:53-60.

Mcdowell, N., Coops, N., Beck, P., Chambers, J., Gongodamage, C., Hicke, J., Huang, C., Kennedy, R., Krofcheck, D., Litvak, M., Meddens, A., Muss, J., Negrón-Juárez, R., Peng, C., Schwantes, A., Swenson, J., Vernon, L., Park, A., Xu, C., Zhao, M., Running, S., Allen, C. 2015. Global satellite monitoring of climate-induced vegetation disturbance. *Trend in plant science*. 20(2):114- 123.

Mendoza, A. 2014. Tesis de licenciatura. Geomorfología y riesgos por inundación en la parte baja de la Cuenca de San José del Cabo, B.C.S. Tesis (Licenciatura en geología) La Paz, B.C.S. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 128 p.

Muñoz, P. 2013. Apuntes de teledetección: Índices de vegetación. Centro de información de recursos naturales. Ministerio de agricultura de Chile. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/327558326_Apuntes_de_Teledeteccion_Indices_de_vegetacion. Revisado el 12/08/2019.

Muria-Vila, D., Jaimes, M.A., Pozos-Estrada, A., López, A., Reinoso, E., Chávez, M.M., Peña, F., Sánchez-Sesma, J., López, O. 2018. Effect of hurricane Odile on the infrastructure of Baja California Sur, México. *Nat Hazard*. 91:963-981.

Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J.P., Jongman, R.H.G., Tarantino, C., Adamo, M., Mairota, P. 2012. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected áreas, hábitat, extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*. 33:45-59.

Navarro-Martinez, A., Duran-Garcia, R., Méndez-González, M. 2012. El impacto del huracán Dean sobre la estructura y composición arbórea de un bosque manejado en Quintana Roo, México. *Maderas y bosques* 18(1):57-76

Negrón-Juárez, R., Baker, D.B., Chambers, J.Q., Hurtt, G.C., Goosem, S. 2014. Multi-Scale sensitivity of Landsat and MODIS to forest disturbance associated with tropical cyclone. *Remote sensing of Enviroment*. 140:679-689. Palacios-Oponte, G. 2010. La morfología costera posthuracán como indicador de la intensidad de la amenaza por huracanes. *Interciencia*. 35(6):400-406

Parker, G., Martínez-Yrizar, A., Álvarez-Yépiz, J.C., Maass, M., Araiza, S. 2018. Effect of hurricane disturbance on a tropical dry forest canopy in western Mexico. *Forest Ecology and Management*. 426:39-52

Pronatura Noroeste, A.C. (Compiladores). 2010. Plan de conservación del estero San José del Cabo, B.C.S., México. La Paz, Baja California Sur. 54p

QGIS developteam. 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

Raga, G.B., Bracamontes-Cevallos, B., Farfán, L.M., Romero-Centeno, G. 2013. Landfalling tropical cyclones on the pacific coast of Mexico: 1850-2010. *Atmósfera*. 26:209-220

R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing., R. Foundation for statistical computing. Vienna, Australia. Recuperado de: <https://www.r-project.org/>

Rojas, G. Evaluación de cambios volumétricos en la barra arenosa del estero San José, B.C.S. Tesis (Maestría en manejo de recursos marinos). La Paz, Baja California Sur. Instituto Politécnico Nacional. Centro interdisciplinario de ciencias marinas. 97p.

Romero-Vadillo, E., Zaytsev, O., Morales-Pérez, R. 2007. Tropical cyclone statistics in the northeastern Pacific. *Atmósfera*. 20:197-213

Salinas-Zavala, C., Martínez-Rincón, R., Morales-Zárate, M. 2017. Tendencia del siglo XXI del Índice de diferencias normalizadas de vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *Investigaciones geográficas*. 94: 82-90.

Savage, S., Lawrance, R., Squires, J. 2017. Mapping post-disturbance landscape composition with Landsat satellite imagery. *Forest Ecology and Management*. 399:9-23.

Sobel, A., Camargo, S., Hall, T., Lee, C., Tippet, M., Wing, A. 2016. Human influence on tropical cyclone intensity. *Natural Hazard*. 353:242-246

Tanner, E.V.J, Kapos, V., Healey, J. 1991. Hurricane effects on forest ecosystem in the Caribbean. *Biotropica*. 23(4):513-521.

Thompson, I. 2011. Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unnasylva* 238. 68:25-30

Van de Leemput, I. A., Dakos, V., Scheffer, M., Van Nes, E.H. 2018. Slow recovery from local disturbance as an indicator for loss of ecosystem resilience. *Ecosystem*. 21: 141-152.

Walker, L.R. 1991. Tree damage and recovery from hurricane Hugo in Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4^a): 379-385.

Wurl, J. 2002. Efecto de ciclones. En: Martínez Gutierrez, G., Díaz, Gutiérrez, J., Cosío González, O. Proyecto: "Programa de manejo para la cuenca hidrológica-Forestal San José del Cabo, B.C.S." CIBNOR-UABCS

Wurl, J. & Imaz, M.A. 2016. Las condiciones hidrológicas en la Cuenca San José del Cabo, Baja California Sur, México. *Áreas naturales protegidas scripta*. 2(2):91-102.

Zhang, L., Karnauskas, K., Donnelly, J., Emanuel, K. 2017. Response of the North Pacific Tropical Cyclone Climatology to Global Warming: Application of Dynamical Downscaling to CMIP5 Models. *American Meteorological Society*. 30:1223-1243

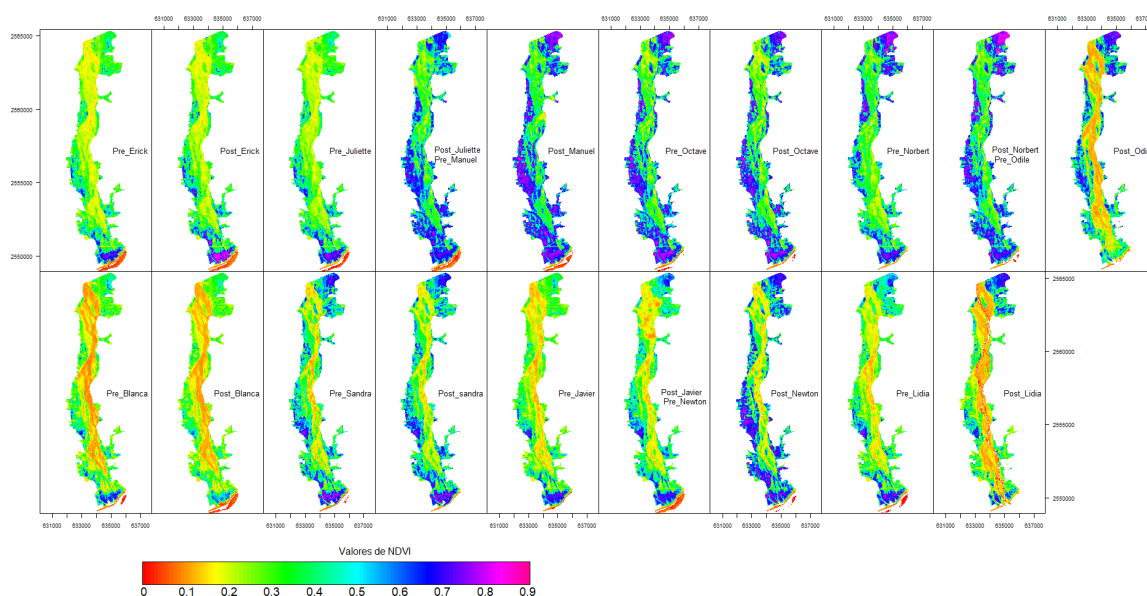
11.- ANEXOS

Anexo 1.- Valores de ONI (Oceanic Niño Index) de 2010 a 2019, tomados del Climate Prediction Center. Periodos cálidos (rojo) y fríos (azules) basados en un umbral de +/- 0.5°C para el ONI.

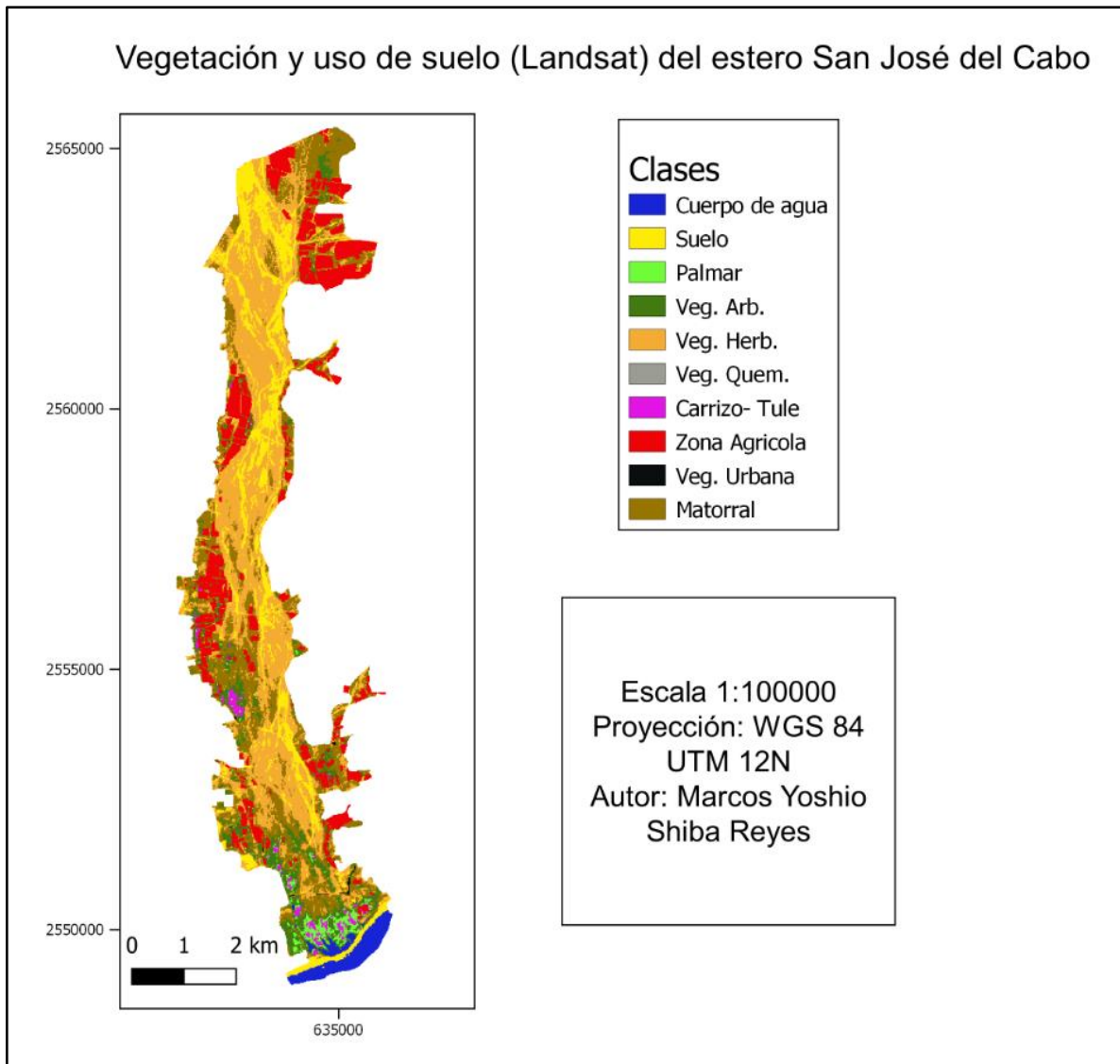
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1	0.5	0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.8								

Anexo 2.- NDVI de imágenes Landsat, los valores van de 0 a 1



Anexo 3.- Vegetación y uso de suelo (Clasificación supervisada) Landsat con fecha 2013-06-29



Anexo 4.- Área de pérdida de cobertura vegetal (ha) del último evento del año por tipo de vegetación y su recuperación en mayo del siguiente año.

Tipo de vegetación	2013		2014		2015		2016		2017	
	Vegetación perdida (Ha)	Mayo Recup. (Ha)	Vegetación perdida (Ha)	Mayo Recup. (Ha)	Vegetación perdida (Ha)	Mayo Recup. (Ha)	Vegetación perdida (Ha)	Mayo Recup. (Ha)	Vegetación perdida (Ha)	Mayo Recup. (Ha)
Palmar	0.00	0.00	4.66	3.06	0.02	0.02	0.92	0.43	9.88	5.20
Veg. Arb.	0.02	0.02	14.38	9.86	0.25	0.23	2.66	1.06	33.66	14.76
Veg. Herb.	10.42	0.50	613.24	21.02	3.47	0.20	19.49	4.61	315.11	57.69
Carrizo-Tule	0.00	0.00	1.51	1.10	0.02	0.02	0.16	0.16	3.51	1.40
Zona Agrícola	5.06	4.95	16.99	13.39	0.99	0.97	7.22	4.75	38.36	24.75
Matorral	0.27	0.18	85.43	34.94	0.56	0.18	2.88	1.60	129.96	39.85

Anexo 5.- Imagen SPOT del estero de San José del Cabo previo y posterior al ciclón tropical Lidia

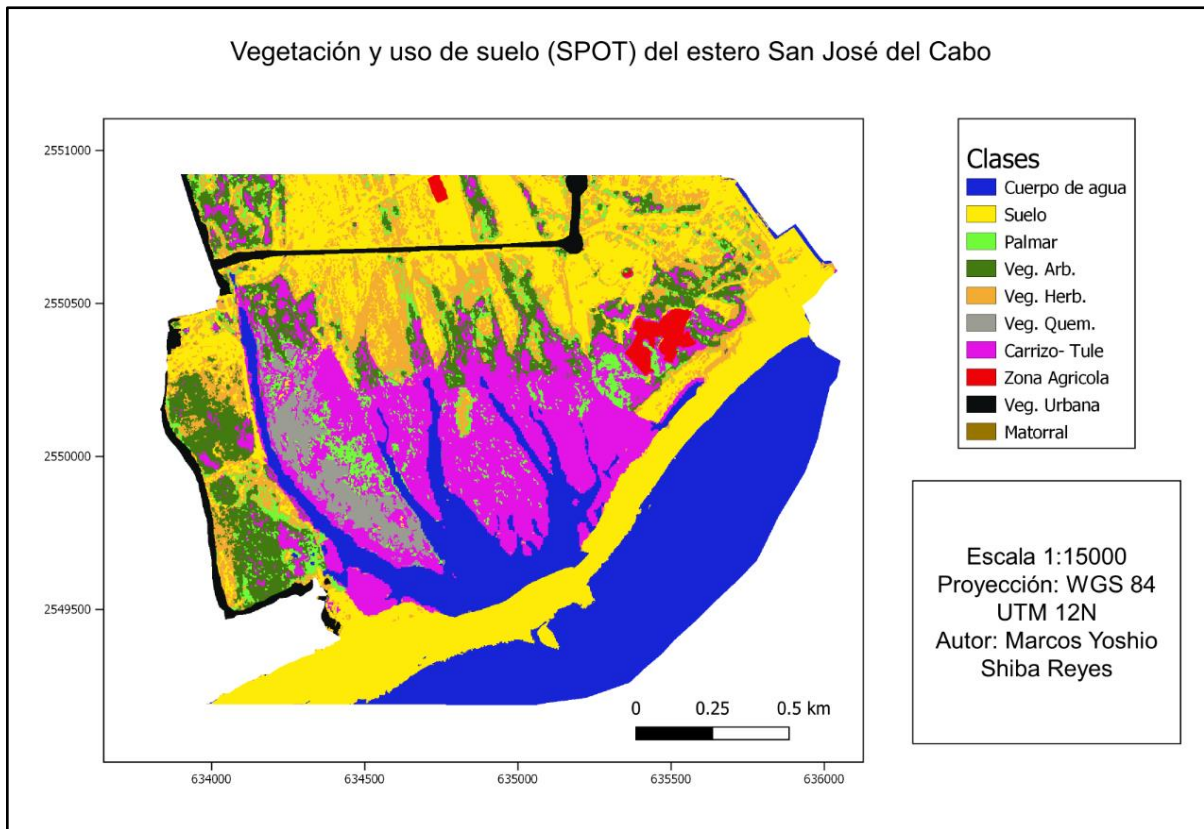


Imagen SPOT con fecha 21 - may - 2017



Imagen SPOT con fecha 06- oct - 2017

Anexo 6.- Vegetación y uso de suelo (Clasificación supervisada) SPOT del área del estero San José con fecha 2017-05-21.



Anexo 7.- Porcentajes de cobertura de Palmar en estero San José en los 19 cuadrantes analizados.

Cuadrante	20130504	20140619	20140922	20161213	20170430	20180317	Promedio
1-A	100%	100%	10%	50%	45%	55%	60%
2-A	100%	100%	20%	55%	45%	35%	59%
3-A	100%	100%	30%	95%	100%	95%	87%
4-A	100%	100%	30%	60%	75%	15%	63%
5-A	100%	100%	30%	95%	100%	85%	85%
6-B	100%	100%	10%	60%	0%	5%	46%
7-B	100%	100%	20%	30%	80%	70%	67%
8-B	100%	100%	45%	80%	80%	95%	83%
9-B	100%	100%	60%	90%	90%	90%	88%
10-B	90%	95%	60%	55%	30%	20%	58%
11-C	70%	90%	0%	70%	85%	65%	63%
12-C	80%	75%	0%	5%	5%	0%	28%
13-C	80%	90%	0%	45%	55%	0%	45%
14-C	75%	95%	0%	30%	25%	10%	39%
15-C	75%	90%	0%	20%	20%	10%	36%
16-D	100%	100%	10%	45%	30%	15%	50%
17-D	100%	100%	30%	85%	55%	30%	67%
18-D	100%	100%	60%	100%	100%	85%	91%
19-D	100%	95%	80%	85%	100%	90%	92%

Anexo 8.- Listado florístico de muestreo en campo 2017-2018.

Familia	Especie	Forma de Crecimiento	2017	2018
Asteraceae	Ambrosia ambrosioides (Cav.) W.W. Payne	Herbácea perenne	X	
Poaceae	Arundo donax (L.)	Pasto perenne	X	X
Plantaginaceae	Bacopa monnieri (L.) Pennell	Herbácea perenne	X	X
Scrophulariaceae	Buddleja crotonoides A. Gray	Arbusto		X
Poaceae	Cynodon dactylon (L.) Pers	Herbácea perenne	X	X
Cyperaceae	Cyperus ligularis L.	Herbácea perenne	X	
Cyperaceae	Cyperus sp.	Herbácea perenne	X	
Asteraceae	Eclipta prostrata (L.)	Herbácea perenne	X	X
Euphorbiaceae	Euphorbia polycarpa (Benth.)	Herbácea perenne		X
Asclepiadaceae	Funastrum clausum (Jacq.) Schlechter	Trepadora		X
Boraginaceae	Heliotropium curassavicum L. var. oculatum	Herbácea perenne	X	
Convolvulaceae	Ipomoea parasitica (Kunth) G. Don	Trepadora	X	
Cucurbitaceae	Momordica charantia (L.)	trepadora		X
Fabaceae	Neptunia plena (L.) Benth.	Herbácea perenne	X	
Solanaceae	Nicotiana glauca (Graham)	Arbusto		X
Fabaceae	Parkinsonia aculeata (L.)	Arbóreo	X	X
Arecaceae	Phoenix dactylifera (L.)	Arbóreo	X	
Poaceae	Phragmites communis (Cav.) Trin. ex Steud.	Pasto perenne	X	
Fabaceae	Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth.	Arbóreo	X	
Asteraceae	Pluchea carolinensis (Jacq.) G. Don	Arbusto	X	X
Fabaceae	Prosopis articulata (S. Watson)	Arbóreo	X	X
Euphorbiaceae	Ricinus communis (L.)	Arbusto		X
Salicaceae	Salix sp	Arbusto	X	
Cyperaceae	Schoenoplectus californicus (C. A. Mey.)	Herbácea perenne	X	
Amaranthaceae	Suaeda torreyana (S. Watson)	Arbusto	X	
Tamaricaceae	Tamarix aphylla (L.) H.Karst.	Arbóreo		X
Typhaceae	Typha domingensis (Pers.)	Herbácea perenne	X	X
Fabaceae	Vachellia californica (Seigler & Ebinger)	Arbóreo		X
Fabaceae	Vachellia farnesiana (L.) Willd.	Arbóreo	X	X
Apocynaceae	Vallesia glabra (Cav.) Link	Arbusto	X	
Arecaceae	Washingtonia robusta (H.Wendl.)	Arbóreo	X	X

Anexo 9.- Listado de especies por sitio

Sitio 1A (Previo a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Bacopa monnieri	3.0	24.7	0.1	0.0
Cynodon dactylon	2.0	5.5	0.1	0.0
Cyperus ligularis	1.0	0.0	0.3	-
Cyperus sp.	16.0	1.4	0.9	0.7
Eclipta prostrata	1.0	0.0	0.1	-
Eustoma exaltatum	10.0	0.3	0.3	-
Heliotropium curassavicum	1.0	0.8	0.2	-
Ipomoea parasitica	1.0	0.0	0.1	-
Neptunia plena	2.0	0.4	0.3	0.3
Phragmites communis	724.0	10.5	2.4	2.8
Schoenoplectus californicus	142.0	8.3	2.1	0.3
Typha domingensis	2201.0	29.9	1.8	1.6
Washingtonia robusta	16.0	11.8	0.7	0.8
Total	3120.0	93.8	0.8	1.2

Sitio 2A (Previo a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Heliotropium curassavicum	4.0	1.3	0.2	0.0
Phoenix dactylifera	2.0	89.7	7.2	0.2
Pluchea carolinensis	1.0	0.8	1.4	-
Sonchus tenerrimus	1.0	1.3	0.9	-
Suaeda torreyana	1.0	1.0	0.7	-
Washingtonia robusta	23.0	108.0	5.2	4.1
Total	32	202.1	3.7	3.9

Sitio 3A (Previo a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Parkinsonia aculeata	1.0	0.3	1.5	-
Prosopis articulata	14.0	166.8	5.3	3.0
Vallesia glabra	73.0	115.4	2.2	1.1
Washingtonia robusta	1.0	15.9	10.0	-
Total	89.0	298.5	3.3	2.6

Sitio 4A (Previo a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Arundo donax	1.0	31.4	5.5	-
Pluche carolinensis	1.0	23.6	3.4	-
Washingtonia robusta	4.0	56.9	15.3	2.2
Total	6.0	112.0	5.8	5.9

Sitio 5A(Previo a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Ambrosia ambrosioides	3	7.2	1.5	0.5
Arundo donax	2	25.9	6.5	-
Neptunia plena	1	3.6	0.5	-
Pithecellobium dulce	1	32.2	7.0	-
Pulchea carolinensis	1	7.0	2.4	-
Salix sp	1	18.7	6.7	-
Tamarix aphylla	2	42.5	4.8	3.9
Vachellia farnesiana	1	4.7	2.3	-
Washingtonia robusta	1	8.0	3.5	-
Total	13.0	150.0	3.6	2.6

Sitio 1B (Posterior a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Arundo donax	2393	31.5	1.3	0.7
Bacopa monnieri	1	0.0	0.1	-
Cynodon dactylon	1	9.4	0.3	-
Eclipta prostrata	1	0.0	0.5	-
Funastrum clausum	1	1.0	1.1	-
Heliotropium curassavicum	3	0.1	0.3	0.1
Momordica charantia	3	9.4	-	-
Parkinsonia aculeata	1	0.2	1.1	-
Pluchea carolinensis	1	0.7	1.1	-
Typha domingensis	4	2.6	0.6	0.2
Vachellia farnesiana	1	1.1	1.8	-
Washingtonia robusta	30	165.5	3.9	3.6
Total	2440.0	221.6	2.6	3.1

Sitio 2B (Posterior a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Bacopa monnieri	2	0.5	0.4	0.2
Euphorbia polycarpa	22	0.9	0.3	0.2
Heliotropium curassavicum	1	0.2	0.2	-
Pluchea carolinensis	18	4.5	0.8	0.4
Suaeda torreyana	1	10.0	0.8	-
Washingtonia robusta	20	75.7	3.0	3.3
Total	64	91.8	1.8	2.6

Sitio 3B (Posterior a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Heliotropium curassavicum	7	1.0	0.3	0.1
Ipomoea parasitica	1	0.0	0.2	-
Parkinsonia aculeata	9	5.3	1.3	0.6
Prosopis articulata	26	177.0	1.3	2.3
Suaeda torreyana	7	20.4	0.7	0.1
Vallesia glabra	20	51.9	2.7	1.4
Washingtonia robusta	2	12.0	6.2	8.2
Total	72	267.6	1.5	2.4

Sitio 4B (Posterior a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Arundo donax	2	34.1	4.6	0.6
Buddleja crotonoides	21	5.3	1.4	0.8
Cynodon dactylon	2	52.3	0.2	0.2
funastrum clausum	1	0.4	-	-
Heliotropium curassavicum	1	0.0	0.2	-
Ipomoea parasitica	2	0.2	0.4	-
Nicotiana glauca	1	0.2	0.5	-
Washingtonia robusta	7	76.9	9.7	4.4
Total	37	169.5	4.4	4.9

Sitio 5B (Posterior a Lidia)				
Especie	Abundancia	Cobertura (m2)	Alturas medias (m)	Altura Desv. Estándar (m)
Arundo donax	1	34.6	4.0	-
Bacopa monnieri	1	0.5	0.1	-
Buddleja crotonoides	2	0.2	0.6	-
funastrum clausum	2	3.0	-	-
Ricinus communis	1	0.0	0.3	-
Tamarix aphylla	1	51.1	5.0	-
Vachellia californica	1	31.1	6.5	-
Washingtonia robusta	1	15.1	3.2	-
Total	10	135.5	2.8	2.5