

*ANÁLISIS CLIMÁTICO Y DE VULNERABILIDAD
DE LOS ECOSISTEMAS EN LA RESERVA
ECOLÓGICA ESTATAL ESTERO DE SAN JOSÉ
DEL CABO, BAJA CALIFORNIA SUR*

2023



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO

**ANÁLISIS CLIMÁTICO Y DE VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS EN LA
RESERVA ECOLÓGICA ESTATAL ESTERO DE SAN JOSÉ DEL CABO,
BAJA CALIFORNIA SUR**

Agosto 2023.

Primera edición, 2023.

DR © 2023, INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 4209
Col. Jardines en la Montaña, C.P.14210
Tlalpan, CDMX, México.

Teléfono 55 54 24 64 00
<https://www.gob.mx/inecc>



Directorio

Lic. Mariana Morales Hernández

Titular del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable y Encargada de Despacho de la Dirección General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático,

LGC. Eduardo Levi León García

Director de Servicios Ambientales Hidrológicos y Adaptación al Cambio Climático con Enfoque de Cuenca y Encargado del Despacho de la Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático y Ecología

ELABORACIÓN

Dra. Fanny López Díaz

Jefa de Departamento de Vulnerabilidad Socioambiental en Asentamientos Humanos

LC. Aram Rodríguez de los Santos

Subdirector de Instrumentos Económicos para el Crecimiento Verde

M. en C. Yusif Salib Nava Assad

Subdirector de Variabilidad Climática y Cambio Climático

Mtra. Cruz Arcelia Tanori Villa

Subdirectora de Vulnerabilidad Socioambiental y Adaptación

LGH. Luis Donald Martínez Torres

Subdirector de Análisis de la Oferta de Servicios Ambientales Hidrológicos y Adaptación al Cambio Climático

LG. Marcia Rojas Barajas

Profesional Ejecutiva

Mauricio Soriano Alvarez

Enlace

Vania de Jesus Galindo

Servicio social

Forma de citar:

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2023) “Análisis Climático y de Vulnerabilidad de los Ecosistemas en la Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo”, Ciudad de México, pp. 75.

Fotografías: Cortesía de Norma Adelina Martínez Loustalot

Integración y edición de texto: Marcia Rojas Barajas



Índice

Introducción	8
Antecedentes	10
Análisis climático	12
1. Lugar de estudio	14
2. Metodología	16
2.1 Climatología de referencia	16
2.2 Cálculo de anomalías para el periodo de 1980-2022	16
2.3 Ajuste de tendencias climáticas	17
2.4 Escenarios de cambio climático	19
3. Bases de datos	31
4. Clima observado	23
4.1 Caracterización de la climatología 1981-2010	23
4.2 Anomalías respecto al periodo de 1980-2022 para sitios seleccionados	27
4.3 Tendencias Climáticas	30
5. Sequía en el municipio de los Cabos	35
6. Ciclones tropicales	38
7. Clima proyectado	46
7.1 Escenarios de cambio climático	46
8. Elevación del nivel del mar	53
9. Cambio en la cobertura vegetal y de uso de suelo	57
9.1 Cubierta de suelos	57
9.2 Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte	58
9.3 Productos cartográficos	58
9.4 Consideraciones Finales	64
10. Flora y fauna	66
Conclusiones	68
Referencias bibliográficas	70



Índice de figuras

Figura 1.1. Ubicación del Estero de San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos del Marco geoestadístico 2022; ficha Ramsar; CONABIO (2015).	14
Figura 1.2. Ubicación de los sitios seleccionados para el análisis climático. Fuente: Elaboración propia con datos del SMN; ficha Ramsar; CONABIO (2015), Daymet V4.	15
Figura 4.1. Climograma para el polígono del Estero de San José del Cabo en el estado de Baja California Sur. Fuente: Elaboración propia con datos de las normales climatológicas 1981-2010 del SMN.	24
Figura 4.2. Climogramas del Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (https://daymet.ornl.gov/single-pixel/).	27
Figura 4.3. Anomalías de temperatura anual con respecto a la normal climatológica 1981-2010 para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (https://daymet.ornl.gov/single-pixel/).	28
Figura 4.4. Anomalías de precipitación anual con respecto a la normal climatológica 1981-2010 para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (https://daymet.ornl.gov/single-pixel/).	29
Figura 4.5. Ajuste de tendencias para Tmax y Tmin anuales para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (https://daymet.ornl.gov/single-pixel/).	30
Figura 4.6. Ajuste de tendencias para la precipitación acumulada anual para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (https://daymet.ornl.gov/single-pixel/).	33
Figura 5.1. Frecuencia de eventos de sequía desde 2003 a 2023 en el municipio de Los Cabos. Fuente: Elaboración propia con datos de https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico .	35
Figura 5.2. Eventos que han ocurrido en el municipio de Los Cabos de 2003 a junio de 2023. Fuente: Elaboración propia con datos de https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico .	36
Figura 5.3. Monitor de Sequía en México, análisis de la quincena del 16 al 31 de julio del 2023. Fuente: Tomado de https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico .	37
Figura 6.1. Trayectoria de los ciclones tropicales del periodo de 1976-2021 que han impactado en el Estero de San José del Cabo y sus alrededores. Tomado de NOAA (2022).	39
Figura 6.2. Número de ciclones tropicales por década desde 1976 a 2021 que han impactado en el Estero de San José del Cabo y sus alrededores. Elaborado con datos de la NOAA (2022).	41



Figura 6.3. Frecuencia de ciclones tropicales por categoría en los alrededores del Estero de San José del Cabo de 1976 a 2021. Fuente: Elaboración propia con datos de la NOAA (2022). 42

Figura 6.4. Trayectoria de los ciclones tropicales del periodo de 1976-2021 que han impactado directamente en el Estero de San José del Cabo. Fuente: Tomado de NOAA (2022). 43

Figura 6.5. Registro de precipitación acumulada por ciclones tropicales que han impactado directamente en el Estero de San José del Cabo. Fuente: Tomado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/lluvias-asociadas-a-ciclones-tropicales> 43

Figura 6.6. Frecuencia e intensidad de ciclones tropicales en las cuencas de Baja California Sur. Fuente: Tomado de <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/> 44

Figura 7.1. Gráficas de la temperatura media anual que muestra una comparación del clima histórico y las proyecciones de los diferentes escenarios de cambio climático en distintos periodos de tiempo del Estero de San José del Cabo. 47

Figura 7.2. Gráfica del ciclo anual de la temperatura media que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte cercano (2021-2040) del Estero de San José del Cabo. 48

Figura 7.3. Gráfica del ciclo anual de la temperatura media que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte lejano (2081-2100) del Estero de San José del Cabo. 49

Figura 7.4. Gráfica de la precipitación acumulada anual, en la cual se muestra una comparación del clima histórico y las proyecciones de los diferentes escenarios de cambio climático en diferentes periodos de tiempo del Estero de San José del Cabo. 50

Figura 7.5. Gráfica del ciclo anual de la precipitación que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte cercano (2021-2040) del Estero de San José del Cabo. 51

Figura 7.6. Gráfica del ciclo anual de la precipitación que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte lejano (2081-2100) del Estero de San José del Cabo. 52

Figura 8.1 Tasa de cambio del aumento del nivel del mar observado para el periodo de 1993 a 2019 en el Estero de San José del Cabo, Baja California Sur. Fuente: Tomado de <https://sealevel.nasa.gov/sea-level-evaluation-tool> 53

Figura 8.2 Gráfica de elevación del nivel del mar en el Estero de San José del Cabo, en relación con el período 1995-2014 para cinco proyecciones de escenarios de cambio climático (metros). Fuente: Elaboración propia con información de la NASA <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool> 55



Figura 8.3 Zonas inundables en el Estero de San José del Cabo. Tomado de <https://coastal.climatecentral.org> 56

Figura 9.1 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca hidrológica del Estero de San José en San José del Cabo, Baja California Sur en el 2010. Elaboración propia con información de la CCA 59
(<http://www.cec.org/files/atlas/?z=3&x=93.1641&y=61.9803&lang=es&layers=landcover2020ls&opacities=100&labels=true>)

Figura 9.2 Gráfica de las áreas y porcentajes de los usos de suelo y cobertura vegetal en el año 2010. Elaboración propia con datos de la CCA, 2020 60

Figura 9.3 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca hidrológica del Estero de San José en San José del Cabo, Baja California Sur en el 2015. Elaboración propia con información de la CCA, 2020 61
(<http://www.cec.org/files/atlas/?z=3&x=93.1641&y=61.9803&lang=es&layers=landcover2020ls&opacities=100&labels=true>)

Figura 9.4 Gráfica de las áreas y porcentajes de los usos de suelo y cobertura vegetal en el año 2015. Elaboración propia con datos de la CCA, 2020 62

Figura 9.5 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca hidrológica del Estero de San José en San José del Cabo, Baja California Sur en el 2020. Elaboración propia con información de la CCA, 2020 63
(<http://www.cec.org/files/atlas/?z=3&x=93.1641&y=61.9803&lang=es&layers=landcover2020ls&opacities=100&labels=true>)

Figura 9.6 Gráfica de las áreas y porcentajes de los usos de suelo y cobertura vegetal en el año 2020. Elaboración propia con datos de la CCA, 2020 64

Figura 10.1. Comparación de los usos de suelo en los en los años 2004(Izquierda) y 2017(Derecha). Tomado de Harmelin (2019) 67



Índice de tablas

Tabla 1.1. Sitios seleccionados para el análisis climatológico en el Estero San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con información del SMN.	15
Tabla 2.1. Supuestos y pruebas estadísticas del modelo de regresión lineal.	18
Tabla 2.2. Descripción de los escenarios de cambio climático. Fuente: Elaboración propia con información de IPCC (2023).	
Tabla 4.1. Normales climatológicas 1981-2010 para el polígono del Estero de San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con información del SMN.	23
Tabla 4.2. Normales climatológicas 1981-2010 para los sitios seleccionados para el análisis.	26
Tabla 4.3. Valores para el ajuste de tendencias para Tmax y Tmin para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.	31
Tabla 4.4. Valores para el ajuste de tendencias para Pcp acumulada anual para para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos de con datos de Daymet (https://daymet.ornl.gov/single-pixel/).	33
Tabla 6.1. Registro de Ciclones Tropicales que han impactado en el Estero de San José del Cabo y sus alrededores en el periodo de 1976-2021. Fuente: Tomado de NOAA (2022).	40
Tabla 7.1. Anomalía de la temperatura de las proyecciones de los escenarios de cambio climático con respecto al clima histórico 1981-2010 del Estero de San José del Cabo.	47
Tabla 7.2. Porcentaje de cambio de la precipitación de las proyecciones de los escenarios de cambio climático con respecto al clima histórico 1981-2010 del Estero de San José del Cabo.	50
Tabla 8.1 Elevación del nivel del mar en el Estero de San José del Cabo en relación con el período 1995-2014, para cinco proyecciones de escenarios de cambio climático (metros). Fuente: Elaboración propia con información de la NASA https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool	54



Introducción

En la porción meridional de la península de Baja California se encuentra un oasis costero de agua dulce, conocido como el estero de San José del Cabo. Este enclave es considerado una Reserva Ecológica Estatal, designada como Área Natural Protegida (ANP) en 1994 y posteriormente reconocida como sitio Ramsar en 2009 (Pronatura, 2023). Desde una perspectiva biogeográfica, forma parte de la Región del Cabo, mientras que en términos políticos se halla en el municipio de Los Cabos (Ramsar, 2007).

Asimismo, mediante decreto del 24 de febrero del año 2011, el Gobierno del Estado de Baja California Sur, mediante convenio, traspasa al Ayuntamiento de Los Cabos, la Reserva Ecológica Estatal bajo categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica denominada “Estero San José del Cabo”. En dicho convenio el Ayuntamiento se comprometió a administrar dicha reserva ecológica con apego a los lineamientos y planes de manejo establecidos por dicha dependencia (IMPLAN, 2022). El estero es considerado como el único cuerpo de agua litoral con características predominantemente de aguas continentales que existe en el estado de Baja California Sur.

De acuerdo con el Programa de Manejo Oficial, esta Reserva Ecológica Estatal abarca una extensión de 472.97.36.74 hectáreas, comprendida entre las coordenadas 23°05' de latitud Norte y los 109°40' de longitud Oeste (Pronatura, 2010). La vegetación característica de este estuario incluye especies propias de los oasis, como palmares y carrizos, además de una variedad de plantas acuáticas. Este refugio se presenta como la última parada para aves acuáticas y playeras que migran hacia zonas del sur de México, Centroamérica o Sudamérica.

En total, se han registrado 217 especies de aves, de las cuales 97 son migratorias y 19 se encuentran en alguna categoría de riesgo, como el gallito marino (*Sterna antillarum browni*); dada la relevancia de la avifauna que alberga, el estero ha sido designado como Área de Importancia para la Conservación de Aves (AICA), bajo la categoría G1 por servir de hábitat de especies globalmente amenazadas (Ramsar, 2007).

El entorno del estero de San José del Cabo exhibe una variedad de comunidades vegetales con abundantes plantas acuáticas sumergidas y plantas emergentes. En los alrededores del cuerpo de agua se pueden encontrar áreas de tular, carrizales y, más hacia el interior, palmares donde domina la especie *Washingtonia robusta* (palma real), así como estratos arbustivos y herbáceos. En partes más reducidas del área, se pueden ubicar bosques de guamúchil y mezquital. Los primeros están caracterizados por la abundancia de árboles de *Pithecellobium dulce*, mientras que los segundos albergan la especie *Prosopis articulata* (Ramsar, 2007).





El estero se encuentra dentro de la localidad de San José del Cabo donde habitan 136,285 personas, de las cuales 51% son hombres y 49% mujeres. El porcentaje de población que habla una lengua indígena es de 1.61% en donde la población ocupada masculina alcanza el 63% y la femenina el 48%. San José del Cabo es una de las principales localidades del municipio de Los Cabos, entre otros factores porque cuenta con infraestructura de salud y ha sido polo de atracción, ya que en 10 años la población se duplicó. De acuerdo con datos del año 2020 el 51% de la población proviene de otro estado. Es una zona conurbada de pequeñas localidades o nuevas colonias.





Antecedentes

De acuerdo con el INECC (2023) una de las principales problemáticas relacionadas con el clima en el municipio de Los Cabos son la tendencia de aumento de la temperatura media anual, el favorecimiento de las condiciones de estrés hídrico, el aumento del nivel mar con una tasa de aumento de 2.60 mm/año; así como el incremento en el número de ciclones tropicales que han impactado al estado de Baja California Sur, ubicándose el municipio de Los Cabos bajo un nivel de alto de frecuencia e intensidad. Al igual se identifica al estero de San José con un potencial de inundación de hasta 300 m respecto a la línea de costa debido al aumento del nivel del mar en la temporada de lluvias.

En lo que respecta a instrumentos estatales de política climático, Baja California Sur cuenta con su Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur de 2012 (INECC, 2022), el cual necesita una actualización, que cuenta con una evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático y propone medidas de adaptación con información detallada de la caracterización de estas (responsables, avances, limitantes, plazo y viabilidad).

Asimismo, el Atlas de Riesgo y Vulnerabilidad al Cambio Climático del Municipio de Los Cabos (IMPLAN, 2022) se identifican los ciclones que han incidido directamente en el municipio y se cataloga a la zona del estero con un nivel medio por la ocurrencia de marea de tormenta debido a estos fenómenos hidrometeorológicos y el cual incrementa con la incidencia de huracanes de mayor categoría. Además, identifica que la parte centro-norte de San José del Cabo presenta niveles de amenaza por inundación de alta a muy alta, y hacia el oriente el nivel de amenaza es nivel medio. Además, se identifica una tendencia creciente en las temperaturas promedio diarias a nivel histórica y señala la tendencia actual de subsidencia de las costas de Los Cabos aunado a los escenarios de aumento del nivel medio del mar a nivel global.

El estudio mencionado (IMPLAN, 2022) presenta una evaluación de la vulnerabilidad del municipio de Los Cabo a inundaciones costeras asociadas a eventos de nivel del mar extremo por cambio climático, identificando a la zona del estero de San José y la mayoría de la margen este del arroyo con un grado de vulnerabilidad de media a muy baja pues son zonas con baja densidad de población y con pendientes elevadas.

De acuerdo con el Instituto Municipal de Planeación de Los Cabos (IMPLAN, 2022), la zona noroeste del estero tiene presencia de descarga de aguas residuales (sin tratamiento) y cúmulos de basura que pueden estar directamente relacionados a los asentamientos humanos irregulares. Además, en la zona más al norte se identifica un área que concentra residuos sólidos, mientras que en la parte central se observa la presencia de zonas construidas, así como un camino de constante tránsito (al igual que en la zona sur) consiguiendo incidir en la perturbación de la flora y la fauna.



Sobre el avance municipios en la materia, en julio de 2023, el municipio de Los Cabos firmó de una carta intención con Gobierno Locales por la Sustentabilidad (ICLEI, por sus siglas en inglés) para desarrollar el Plan de Acción Climático Municipal (PACMUN) con el que se orientarán las políticas públicas municipales en materia de mitigación y adaptación ante los efectos del cambio climático (Presidencia de Los Cabos, 2023).

Sobre este instrumento local, será importante considerar las necesidades en materia climática que requiere la Reserva Ecológica Municipal “Estero de San José”, con el fin de que con su adecuado manejo y presentación se avance en el fortalecimiento de acciones locales para hacer frente al cambio climático.



Análisis climático

Se entiende al clima como el estado más frecuente de la atmósfera de un lugar de la superficie terrestre. Es una descripción estadística de las condiciones meteorológicas más frecuentes de una región en cierto periodo de tiempo (INECC, 2018). Por lo general, se explica en términos de la media y la variabilidad de variables climáticas durante un periodo de tiempo, que puede ir de meses a millones de años. Las condiciones normales se describen a partir de un periodo de referencia de 30 años (1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, 1991-2020), el cual es definido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), (IPCC, 2013).

Por otra parte, los cambios en el clima se pueden representar, por variaciones a largo plazo (30, 50, 100 años), en los valores medios y extremos de alguna variable climática, como la temperatura o la precipitación. Incluso los cambios se pueden presentar con periodos de cientos o miles de años (IPCC, 2007; Casas y Alarcón, 1999). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define el cambio climático como el “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, en las últimas décadas, se ha experimentado un calentamiento global cuyas consecuencias han derivado en cambios en el clima. Las actividades humanas, como la emisión de gases de efecto invernadero, el creciente consumo de recursos naturales y el cambio de uso de suelo, por mencionar algunos, son los principales causantes de este cambio acelerado. Cada día, en diferentes puntos del espacio geográfico, el planeta está sufriendo transformaciones, desde cambios en los fenómenos meteorológicos y climáticos que amenazan la producción de alimentos; hasta el aumento del nivel del mar que incrementa el riesgo de inundaciones (ONU, 2021).

Ante las problemáticas derivadas del cambio climático es preciso considerar que la información climática es fundamental para una toma de decisiones bien informada en el contexto de cambio climático. Se debe de integrar de una manera multidimensional en combinación con otra información de apoyo para poder construir una perspectiva más amplia de las problemáticas relacionadas al cambio climático. De esta manera poder guiar la toma de decisiones y la implementación de acciones en un territorio (INECC, 2022).

A través del diagnóstico climático se puede conocer cuál ha sido el comportamiento del clima observado y cuáles han sido los cambios que se han presentado históricamente, así como cuáles son los cambios proyectados a futuro. Lo anterior se relaciona con cambios en el comportamiento de variables como la temperatura y la precipitación, lo cual conduce a la identificación del cambio climático observado y proyectado. En este sentido el análisis del clima observado permite detectar cambios en el clima actual y su posible vinculación



al cambio de uso de suelo, a la pérdida de vegetación, al crecimiento de la mancha urbana, entre otros factores. Las proyecciones con escenarios de cambio climático, permite conocer cómo podría ser el comportamiento de las variables en un periodo de tiempo a futuro.

1. Lugar de estudio

Este análisis comprende dos escalas espaciales, una a nivel regional y una a nivel puntual, por lo que se utilizaron dos tipos de sitios para analizar. En el caso regional se tomó como referencia el polígono de la Reserva Ecológica Estero de San José del Cabo (Estero SJC) (**Figura 1.1**).

Figura 1.1. Ubicación del Estero de San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con datos del Marco geoestadístico 2022; ficha Ramsar; CONABIO (2015).



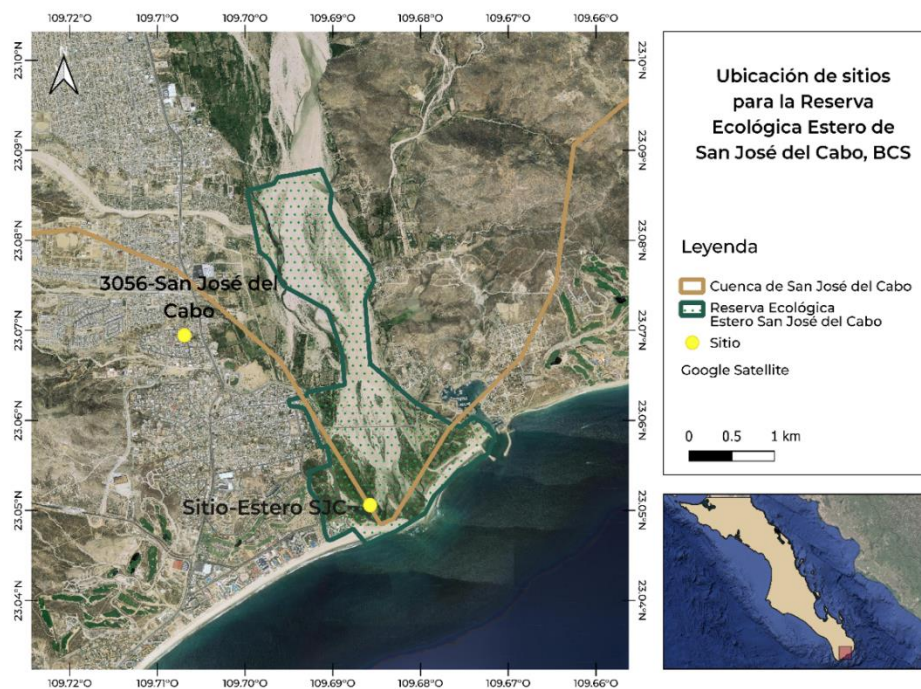
Por otro lado, en el caso puntual se seleccionaron dos sitios para el análisis, el primero se ubica en la parte sur del Estero y el segundo en la zona urbana de San José del Cabo, en este último caso se localizó el sitio según la ubicación de la estación meteorológica 3056-San José del Cabo. De esta manera se podrá identificar algún contraste de una zona urbanizada y una en la periferia de la ciudad con vegetación abundante. En la **Tabla 1.1** se indican las coordenadas de ubicación, altitud, clave y nombres de los sitios utilizados como referencia.

En la **Figura 1.2** se ubican de manera espacial los dos sitios, uno está sobre el Estero SJC y el otro en la ciudad (3056-San José del Cabo).

Tabla 1.1. Sitios seleccionados para el análisis climatológico en el Estero San José del Cabo. Fuente: Elaboración propia con información del SMN.

Municipio	Nombre	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.
		Latitud	Longitud	
Los Cabos	Sitio-Estero SJC	23.050585	-109.685750	4
Los Cabos	3056-San José del Cabo	23.069444	-109.706944	23

Figura 1.2. Ubicación de los sitios seleccionados para el análisis climático.



Fuente: Elaboración propia con datos del SMN; ficha Ramsar; CONABIO (2015), Daymet V4.



2. Metodología

El análisis climático para el sitio se hizo caracterizando las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed) y precipitación (Pcp) con el desarrollo de la siguiente información:

2.1 Climatología de referencia

Una descripción climatológica se puede realizar por medio de un análisis de la variabilidad de las variables como la temperatura, la precipitación, los vientos, entre otras, para un periodo de tiempo determinado. La variabilidad se va a presentar a lo largo de periodos de tiempo relativamente cortos, por ejemplo, durante un año se pueden registrar valores por encima o por debajo de un valor normal (OMM, 2011). Debido a la variabilidad natural que se puede tener año con año, se utilizan medias de 30 años de temperaturas, precipitaciones y otras variables para definir, por ejemplo, la magnitud de una ola de calor o una tormenta de lluvia actual en el contexto histórico¹.

Los períodos históricos de 30 años se denominan “normales climatológicas” y pueden calcularse a escala local, nacional o global; estos periodos son definidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (IPCC, 2013). Por lo tanto, para establecer una línea base con la cual se podrá comparar con lo observado históricamente se utilizó el periodo base de 1981-2010 para las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed) y precipitación (Pcp). La información de las variables se representa por medio de un climograma el cual es una gráfica que muestra el ciclo anual de las variables. Asimismo, se utilizaron una gráfica ombrotérmica y el índice de Gausson, el cual se define como $\text{Precipitación media mensual} < 2 * \text{Temperatura media mensual}$ (Kachok e Ivanova, 2019), para establecer temporadas secas y húmedas de la región de estudio.

2.2 Cálculo de anomalías para el periodo de 1980-2022

La climatología, conocida como normal climatológica, es utilizada como un valor de referencia para el cálculo de las anomalías, es decir se puede comparar el dato reciente con el conjunto de datos históricos de este mismo lugar a través de su normal. La anomalía es calculada por la diferencia del valor normal menos el valor observado y permite indicar los elementos que están con comportamientos atípicos para el período de estudio.

El análisis de las anomalías indica la variabilidad climática que se presentó o que puede presentar un período, es decir, si hay la presencia de condiciones que no son las típicas en el período de registro. En este caso, las anomalías servirán para

¹ <https://www.tiempo.com/ram/84152/los-periodos-de-referencia-climaticos-de-30-anos-y-la-omm/>



indicar si los valores de la temperatura y de la precipitación están por encima o por debajo de la normal climatológica 1981-2010 de cada sitio.

2.3 Ajuste de tendencias climáticas

El análisis de tendencias climáticas permite determinar si el clima está cambiando en algún sentido estadístico, sin dar una atribución del cambio (Bindoff et al., 2013).

La detección de cambios se realizó por medio de un ajuste de tendencias a las variables de Tmax, Tmin anuales y Pcp acumulada anual, el cual es una aproximación empírica para cuantificar y explicar cambios en un sistema sobre un periodo de tiempo. Las series de datos muestran una tendencia si, en promedio, las series tienen un incremento o decremento progresivo (Chandler y Scott, 2011).

Para el ajuste de tendencias se utilizó un modelo de regresión lineal con bases econométricas (López-Díaz et al., 2013; López, 2014) de la forma:

$$y_t = \alpha + \beta x_t + u_t, \dots \text{ (1)}$$

donde y_t , es la variable dependiente, α la ordenada al origen (constante), β la pendiente, x_t la variable independiente y u_t la perturbación aleatoria (Brooks, 2008). El modelo se debe de estimar para que los valores ajustados de la variable endógena sean próximos a los valores observados, por tanto, se especifican un conjunto de hipótesis que deben ser validadas con pruebas estadísticas (Brooks, 2008; Gujarati, 2003; de Grange, 2005) en los residuales, las variables explicativas y los parámetros del modelo:

1. La media de los residuales es nula: $E(u_t) = 0$
2. Homoscedasticidad. La varianza de los residuales es constante y finita sobre todos los valores de x_t : $var(u_t) = \sigma^2 < \infty$.
3. Los residuales son linealmente independientes unos de otros (no autocorrelación): $cov(u_i, u_j) = 0$.
4. No autocorrelación. Los errores son independientes unos de otros: $cov(u_i, u_j) = 0$.
5. Los residuales se ajustan a una distribución estadística normal: $u_t \sim N(0, \sigma^2)$
6. Las variables explicativas son fijas o determinísticas.
7. Las variables explicativas no están correlacionadas con el término de error o perturbación: $E(x_i, u_t) = 0, \forall t$.
8. Las variables explicativas no presentan relación lineal exacta entre si (no hay multicolinealidad).
9. Cuando se explica el comportamiento de la variable endógena no se excluyen variables relevantes y no se incluyen variables irrelevantes.
10. Permanencia estructural. Los parámetros poblacionales β_j son constantes a lo largo de toda la muestra.

Dado que el modelo tiene supuestos estadísticos que se deben de cumplir, para lo cual se requiere de pruebas de validación (**Tabla 2.1**) que sustenten los valores calculados (muestrales) de los parámetros α y β . Estos valores se pueden representar como $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ respectivamente (valores estimados). Además de los parámetros, también se debe verificar el comportamiento de u_t . Si el modelo no está bien especificado, éste se tiene que ajustar introduciendo variables tipo dummy (variable con valores 0 y 1), para lo cual se tiene que volver a realizar las pruebas correspondientes hasta que el modelo sea válido. La significancia de todas las pruebas es a un nivel de confianza del 95% es decir el valor de la probabilidad debe ser mayor a 0.05 para que sea significativa, si la tendencia es positiva significativa es de incremento, si es negativa significativa es de decremento y si no es significativa entonces no hay cambio.

Tabla 2.1. Supuestos y pruebas estadísticas del modelo de regresión lineal.

Supuestos		Pruebas estadísticas
Residuales	No autocorrelación: se asume que los residuales no están correlacionados uno con otro.	<ul style="list-style-type: none"> • Correlograma de residuales • Correlograma al cuadrado de los residuales • Breusch-Godfrey-LM de correlación serial
	Normalidad: Los residuales se deben de distribuir de manera normal.	<ul style="list-style-type: none"> • Jarque-Bera
	Homoscedasticidad: la varianza de los residuales permanece constante.	<ul style="list-style-type: none"> • White • ARCH
Estabilidad de Modelo	Estabilidad de los parámetros: Los parámetros deben ser constantes en una muestra.	<ul style="list-style-type: none"> • CUSUM • CUSUM de los Cuadrados
	Cambio estructural: los parámetros del modelo no permanecen constantes a lo largo de todo el periodo de la muestra.	<ul style="list-style-type: none"> • Quandt-Adrews
Forma funcional del modelo	Forma funcional: El modelo de regresión lineal debe de tener una formulación correcta.	<ul style="list-style-type: none"> • Ramsey RESET

Fuente: Elaboración propia con información de López (2014).



2.4 Escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático son una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basados en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construyen para ser utilizados de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y que sirven a menudo de insumo para las simulaciones de los impactos.

Esta información debe de integrarse desde una perspectiva multidimensional en combinación con otras herramientas de apoyo, por lo cual en este apartado se generaron tablas y gráficas, con el objetivo de facilitar el análisis de la información. Las proyecciones de los escenarios de cambio climático fueron obtenidas con respecto a las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) y las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP, por sus siglas en inglés). La descripción de los escenarios de cambio climático utilizados para este estudio es la siguiente (IPCC, 2021):

Tabla 2.2. Descripción de los escenarios de cambio climático. Fuente: Elaboración propia con información de IPCC (2023).

Escenario	Descripción
SSP1-RCP2.6	En el siguiente mejor escenario, las emisiones globales de CO ₂ se reducen drásticamente, pero no tan rápido, alcanzando el cero después de 2050. Hay cambios socioeconómicos hacia la sostenibilidad, la temperatura se estabiliza en torno a 1.8 °C a finales de siglo.
SSP2-RCP4.5	Se trata de un escenario “intermedio”. Las emisiones de CO ₂ rondan los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo, pero no llegan al cero neto hasta 2100. Los factores socioeconómicos siguen sus tendencias históricas, sin cambios notables. El progreso hacia la sostenibilidad es lento, y el desarrollo y la renta crecen de forma desigual. En este escenario, la temperatura aumentaría 2.7 °C a finales de siglo.
SSP3-RCP7.0	En esta trayectoria, las emisiones y las temperaturas aumentan de forma constante y las emisiones de CO ₂ se duplican aproximadamente respecto de los niveles actuales para 2100. Los países se vuelven más competitivos entre sí, orientándose hacia la seguridad nacional y asegurando su propio suministro de alimentos. A finales de siglo, la temperatura media ha aumentado 3.6 °C.
SSP5-RCP8.5	Este es un futuro que hay que evitar a toda costa. Los niveles actuales de emisiones de CO ₂ se duplicarán aproximadamente en 2050. La economía mundial crece rápidamente, pero se alimenta de la explotación de los combustibles fósiles y de estilos de vida que consumen mucha energía. Para el año 2100, la temperatura media mundial ha subido 4.4 °C.



Estos escenarios **NO son pronósticos climáticos**, ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima futuro. Por lo cual es importante resaltar la siguiente cita: “El objetivo de trabajar con escenarios no es predecir el futuro, sino comprender mejor las incertidumbres y futuros alternativos, con la finalidad de considerar qué tan sólidas pueden ser las diferentes decisiones u opciones dentro de una amplia gama de futuros posibles.” Fuente: IPCC Scenario Process for AR5 mencionado por Wayne (2013).



3. Bases de datos

Las bases de datos utilizadas se obtuvieron de diferentes fuentes de datos, según el análisis que se requería, tanto en clima observado como proyectado.

1. Información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para describir la climatología base del polígono que comprende el Estero San José del Cabo.
2. Datos diarios de las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed) y precipitación (Pcp), obtenidos de la base de datos de Daymet V4 (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>), para sitios particulares para el análisis de clima observado para el Estero San José del Cabo, con base a la ubicación de una estación meteorológica en la ciudad de San José del Cabo y de un sitio puntual dentro de la reserva. Daymet V4, es un conjunto de datos climáticos diarios cuadrículados para el periodo 1980-2021 con una resolución espacial de 1 km², construido por medio de una combinación de interpolación, extrapolación y ponderaciones a partir de los datos observacionales de las estaciones climatológicas de la Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) V3.26. De esta manera Daymet refleja las relaciones espaciales y temporales entre una cuadrícula y las estaciones climatológicas circundantes (Thornton et al. 2021). Se utilizó el reanálisis, ya que el periodo de tiempo es lo más actual y se tiene una disponibilidad del 100% de los datos. A las series de reanálisis se les aplicó el control de calidad básico utilizando el software RCLimdex1.0 (Zhang y Yang, 2004), posteriormente los datos diarios fueron promediados para obtener datos mensuales y anuales para cada uno de los sitios seleccionados en un periodo de 1980-2022.
3. Los escenarios de cambio climático están basados en la información del Atlas interactivo del Grupo de Trabajo I del IPCC (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>) y la climatología 1981-2010 del Servicio Meteorológico Nacional. Estas proyecciones fueron elaboradas por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Las variables que se analizan son la temperatura media y la precipitación, en los horizontes temporales 1981-2010 (clima histórico obtenido del SMN), proyecciones a futuro 2021-2040 (corto plazo), 2041-2060 (mediano plazo) y 2081-2100 (largo plazo). Con esta información se conocen las condiciones climáticas que se podrían presentar en un futuro y cómo éstas pueden variar de un escenario a otro, sin perder de vista sus alcances y limitaciones.

A continuación, se describirán los resultados obtenidos para cada uno de los sitios analizados el cual contiene un análisis de clima observado y con escenarios de cambio climático.



Para el clima observado se presenta una descripción general de climatología en el polígono de la reserva del Estero y el análisis con sitios específicos. Este último consiste en una descripción de climatología base 1981-2010, el cálculo de anomalías y el ajuste de tendencias climáticas para el periodo de 1980-2022. El análisis con de escenarios de cambio climático se presenta para el polígono del Estero de San José del Cabo.



4. Clima Observado

El clima se define como el conjunto de condiciones atmosféricas presentes normalmente a lo largo del tiempo en una zona o región determinada, más rigurosamente el clima se puede definir como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años (IPCC, 2013). Estas condiciones están determinadas por características geográficas como latitud, altitud, vientos y otros factores ambientales.

4.1 Caracterización de la climatología 1981-2010

En esta sección se presentarán dos análisis, uno para el polígono del Estero de San José del Cabo y un segundo para los dos sitios seleccionados. De esta manera se puede establecer una línea climática base para poder comparar lo que se está observando y lo que se espera en promedio; además de poder caracterizar el clima base a esas dos escalas espaciales.

A) Polígono del Estero de San José del Cabo

Se presenta una descripción de la climatología para el polígono del Estero de San José del Cabo, utilizando la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1981-2010², lo cual permite conocer cómo es el comportamiento de las variables climáticas a lo largo del año. Los datos se extrajeron con estadísticas de zona utilizando el software libre QGIS versión 3.1 (<https://www.qgis.org/es/site/>).

En la **Tabla 4.1** se indican los valores normales que se esperan en el polígono del Estero de San José del Cabo.

Tabla 4.1. Normales climatológicas 1981-2010 para el polígono del Estero de San José del Cabo.

Promedio base 1981-2010				
Lugar	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Pcp (mm)
Estero de San José del Cabo	31.6	16.3	24.0	31.6

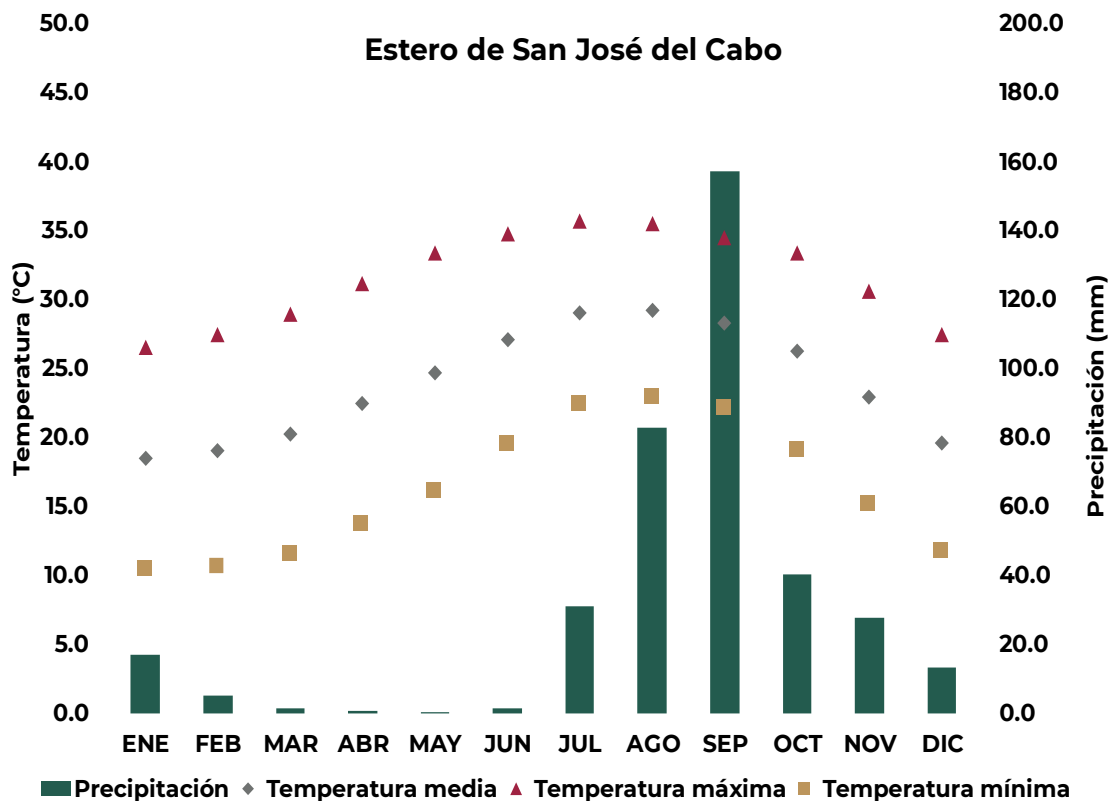
Fuente: Elaboración propia con información del SMN.

² Datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional en 2022.

En el climograma de la **Figura 4.1**, se aprecia el comportamiento a través del año de la temperatura (Tmax, Tmin y Tmed) y la precipitación con base al promedio 1981-2010. En general, hay un incremento gradual de temperatura de enero hasta un valor máximo en verano donde no hay grandes variaciones. Para Tmax el máximo valor ocurre en julio y para Tmed y Tmin en agosto; posteriormente la temperatura empieza a descender hasta el mes de diciembre de manera un tanto abrupta.

Los valores de Tmax van de 26.5°C a 35.7°C, los de Tmin de 10.5°C a 22.9°C y los de Tmed de 18.5°C a 29.2°C. El mes más cálido es julio con una Tmax de 35.7°C, el mes más frío es enero con una Tmin de 10.5°C. Las Tmed más cálidas ocurren de junio a septiembre donde el máximo valor se presenta en agosto (29.2°C). Mientras que las menos cálidas son entre diciembre a marzo, con el valor más bajo de 18.5°C en enero.

Figura 4.1. Climograma para el polígono del Estero de San José del Cabo en el estado de Baja California Sur.



Fuente: Elaboración propia con datos de las normales climatológicas 1981-2010 del SMN.



El periodo de mayor precipitación es de julio a noviembre y los meses con menor precipitación son de diciembre a junio. Los meses de agosto y septiembre son los más lluviosos, en los cuales septiembre tiene el mayor valor de precipitación con 157.3 mm. En los meses de febrero a junio, la lluvia es escasa, incluso el mes de mayo presenta el mayor mínimo, con un valor de 0.1 mm.

En los meses invernales la precipitación esta influenciada por los sistemas frontales (frentes fríos), que llegan al territorio nacional en los meses de noviembre a mayo. Se forman cuando una masa de aire frío choca con una masa de aire caliente, ya que, al ser más denso, el aire frío se mete como una “cuña” debajo del aire caliente, lo que genera movimiento y provoca inestabilidad en la atmósfera de esa zona. La mayoría de los frentes fríos que afectan al país, se originan cerca del polo norte. Después de atravesar los Estados Unidos de América, cruzan el territorio nacional, del noroeste al sureste y según la época del año y su localización geográfica, pueden prolongarse de tres a siete días. Durante este fenómeno se presentan descensos de temperatura, heladas, vientos intensos, abundante nubosidad y lluvia, y fuerte oleaje en la parte oceánica³.

Las lluvias de verano tienen una fuerte influencia de los ciclones tropicales que llegan hasta la Península de Baja California (Vidal, 2005).

Se debe de considerar la climatología del Estero de San José del Cabo, ya que de esta manera se pueden identificar meses críticos. Temperaturas muy altas se pueden esperar en los meses de verano, donde el promedio está por encima de 34°C. De igual manera en la época de lluvias hay un potencial de inundaciones, mientras que al final del invierno y en la primavera la precipitación es casi nula, aumentando así las condiciones de estrés hídrico. Caos contrario ocurre en el mes de septiembre donde el potencial de inundaciones está presente, ya que es el mes más lluvioso.

A) Sitios específicos

La caracterización de la climatología del Sitio-Estero SJC y 3056-San José del Cabo se realizó utilizando las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed) y precipitación (Pcp), con la base de datos de Daymet V4 (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>) en una resolución diaria. Se hizo el cálculo de los promedios mensuales y anuales para cada año de la serie de datos, para posteriormente calcular el promedio de 30 años 1981-2010.

El promedio 1981-2010 para cada uno de los sitios de análisis se muestra en la **Tabla 4.2**. De acuerdo con los valores normales de climatología, el rango de valores entre los 2 sitios está entre 26.5°C a 35.9°C en Tmax, de 11.2°C a 23.6°C en Tmin, de 18.8°C a 29.6°C en Tmed y de 0 mm a 159.9 mm en Pcp. Los dos sitios por

³<https://www.gob.mx/conagua/articulos/sabes-que-son-los-frentes-frios-abrigate-bien-en-esta-epoca-decembrina?idiom=es>



su cercanía tienen valores similares, incluso iguales, aunque si se puede notar una ligera diferencia. Las Tmax están por encima de 31°C y las mínimas de 24°C, cuya amplitud térmica es de 7.4°C, por lo que hay extremas (valores entre 7°C y 14°C (Vidal, 2005)) en esta zona, dada la cercanía con el océano.

Tabla 4.2. Normales climatológicas 1981-2010 para los sitios seleccionados para el análisis.

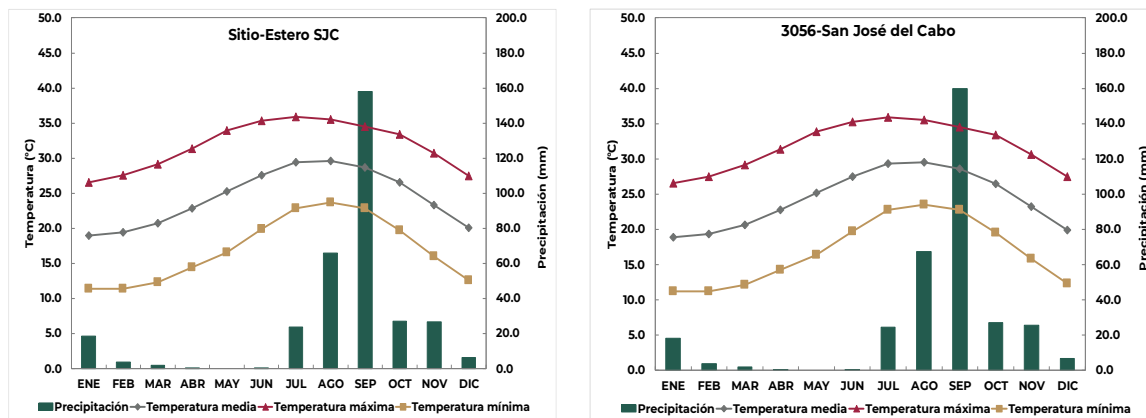
Sitio	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Pcp (mm)
Sitio-Estero SJC	31.8	17.0	24.4	27.7
3056-San José del Cabo	31.7	16.8	24.3	27.9

Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

En la **Figura 4.2** se puede observar el comportamiento del ciclo anual de Tmax, Tmin, Tmed y Pcp, es decir, la variación que se tiene en estas variables a lo largo del año representado por un climograma del promedio base 1981-2010. Lo cual proporciona información sobre los meses críticos en la región del Estero San José del Cabo.

La temperatura tiene un aumento gradual de enero hasta llegar a un máximo en el mes de julio para Tmax y en agosto para Tmin y Tmed, con pocas variaciones en el verano, posteriormente empieza a descender más abruptamente hasta el mes de diciembre. De esta manera el mes más cálido es julio con una Tmax de 35.9°C en el Sitio-Estero SJC y de 35.8°C en el sitio 3056-San José del Cabo. Los meses más fríos son enero y febrero, con una temperatura de 11.4°C para el Sitio-Estero SJC y de 11.2°C para el sitio 3056-San José del Cabo. Las Tmed más cálidas ocurren en los meses de junio a septiembre, donde el máximo se registra en agosto con una Tmed de 29.6°C en el Sitio-Estero SJC y de 29.5°C en 3056-San José del Cabo. Los valores mínimos de Tmed se presentan entre diciembre a marzo, con el valor mínimo en enero que es de 19.0°C en Sitio-Estero SJC y de 18.8°C en 3056-San José del Cabo.

Figura 4.2. Climogramas del Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.



Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

Los meses con mayor precipitación son de julio a noviembre y de menor lluvia son de diciembre a junio. En septiembre se espera una precipitación máxima normal de 158.0 mm en el Sitio-Estero SJC y de 159.9 mm en el sitio 3056-San José del Cabo. En el mes de mayo la precipitación es nula.

El aporte de lluvia en la región se relaciona con la presencia de los sistemas convectivos de origen tropical que producen lluvias durante los meses de verano-otoño y que van asociados con la presencia de ciclones y tormentas tropicales. Por otro lado, está el sistema de inestabilidad atmosférica que se produce durante el invierno, cuando se rompe la inversión térmica provocada por la corriente oceánica fría de California, lo que favorece que el aire se vuelva inestable y se desarrollen las precipitaciones. Estas precipitaciones se asocian también con la presencia de frentes fríos, vaguadas polares y el corrimiento hacia el Norte de la celda semipermanente de alta presión en el Pacífico nororiental⁴.

4.2 Anomalías respecto al periodo de 1980-2022 para sitios seleccionados

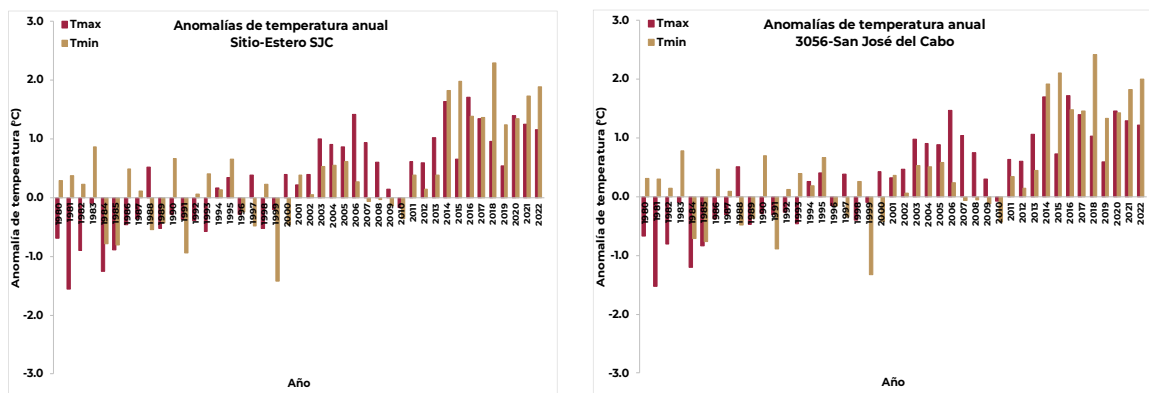
Las anomalías de temperatura y de la precipitación permiten identificar si los valores de estas variables para cada año de registro están por encima o por debajo de la normal climatológica 1981-2010 que se caracterizó anteriormente.

⁴ <http://www.ejournal.unam.mx/atm/Vol05-2/ATM05203.pdf>

A) Temperatura

En la **Figura 4.3** se observan las anomalías de temperatura máxima y temperatura mínima para los dos sitios para la región de análisis. En general, se puede observar un dominio de valores por encima de lo normal a lo largo del periodo de registro, aunque se observa una diferencia entre Tmax y Tmin.

Figura 4.3. Anomalías de temperatura anual con respecto a la normal climatológica 1981-2010 para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.



Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

En el Sitio-Estero SJC en Tmax se puede observar que hay anomalías por debajo de lo normal de 1980 a 1993, posteriormente predominan las anomalías por encima del promedio 1980-2010, de 1994 a 2009 y de 2011 a 2022. En la década de los 2000, destaca el año de 2006 con una anomalía de +1.4°C. Mientras que **en los últimos diez años se exacerbaban los valores de la anomalía**, los cuales alcanzan hasta +1.7°C (año 2016). Por otro lado, la Tmin a lo largo del periodo de registro predominan los valores positivos de anomalía, siendo mayores de 2014 a 2022, alcanzando un valor de hasta +2.3°C (año 2018).

En el sitio 3056-San José del Cabo se tiene un comportamiento similar de anomalías que el Sitio-Estero SJC, aunque se tienen anomalías de una magnitud ligeramente mayor (en algunos casos de +0.1°C). En la década de los 2000, el año 2006 presenta una anomalía en Tmax de +1.5°C, y en 2016 fue de +1.7°C; mientras que en Tmin se llegó a tener un valor de anomalía de +2.4°C en el año 2018.

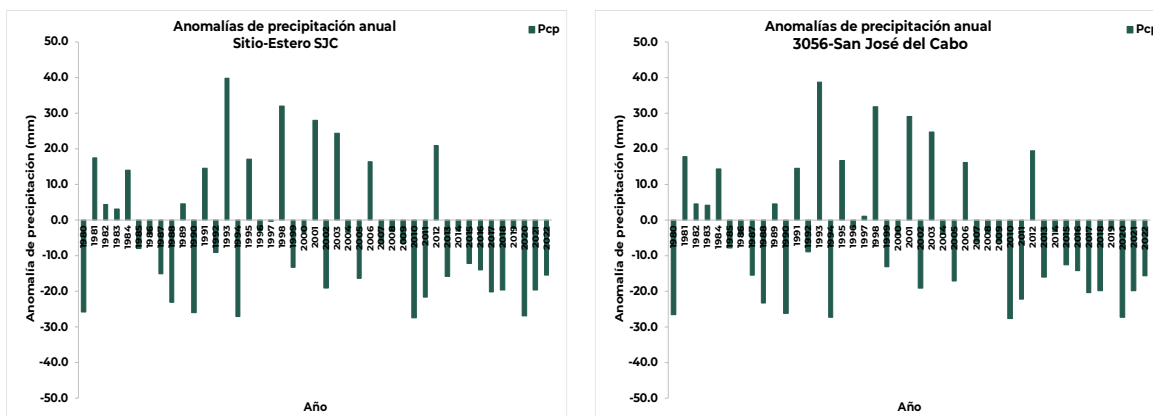
A lo largo del periodo de 1980 a 2022 ha predominado las Tmax y Tmin por encima del valor esperado, es decir, han sido más cálidas año con año, particularmente se ha exacerbado el calentamiento entre 2011 y 2014 en los últimos 10 años. En la zona urbana los valores de anomalía en algunos años están 0.1°C por encima de las del Estero de San José del Cabo, por lo que el Estero favorece a tener temperaturas menos cálidas. Décimas de grado

puede ser un valor muy bajo o incluso insignificante, sin embargo, para muchas especies un cambio mínimo en las condiciones de temperatura puede significar mucho, incluso para el ser humano.

B) Precipitación

En la **Figura 4.4** se muestran las anomalías para la precipitación promedio anual. En ambos sitios se puede observar un dominio de anomalías por debajo de los normal, es decir que la cantidad de lluvia esperada o normal en el año ha disminuido. Aunque también destacan años con aumento de precipitación, pero han ocurrido de 1980 a 2012, ya que en los últimos 10 años se han tenido anomalías negativas persistentes. En el Sitio-Estero SJC se han tenido déficits de precipitación entre 11.6% a 97.6%, y en el sitio 3056-San José del Cabo de 12.0% a 97.6%. Por lo que es importante destacar un potencial de problemáticas relacionadas con el estrés hídrico. Por lo que es importante conservar la zona para que haya recursos hídricos disponibles.

Figura 4.4. Anomalías de precipitación anual con respecto a la normal climatológica 1981-2010 para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.



Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

Aunque en los últimos años 2013 a 2022 se tienen anomalías de decremento, no significa que no existan problemáticas de lluvias torrenciales, dada la influencia de los ciclones tropicales en el verano, por ejemplo, lo que puede provocar inundaciones.

4.3. Tendencias climáticas

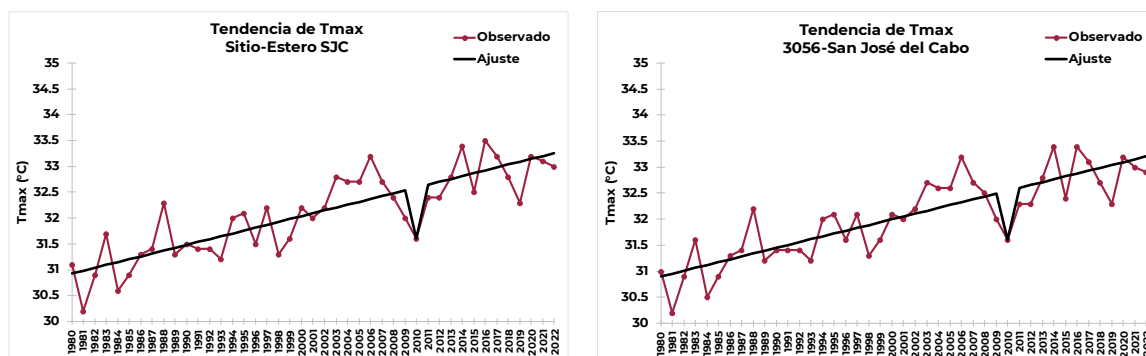
Con las gráficas de anomalías se pudo observar si en la zona de estudio existen temperaturas y precipitación por encima de lo esperado; sin embargo, no se puede determinar si hay cambios significativos, para lo cual se hizo un análisis de tendencia climáticas. La detección es importante porque de esta manera se puede conocer si el clima está cambiando en un lugar o no, y así tratar de explicar el por qué están ocurriendo esos cambios, es decir, es dar una atribución. De igual manera al poder detectar cambios en temperatura y precipitación, la información se podrá utilizar para poder llevar a cabo acciones de adaptación que contemplen los cambios en el clima observado. Por ejemplo, acciones que consideren la disminución de precipitación para poder reducir los impactos del estrés hídrico o la disponibilidad de agua.

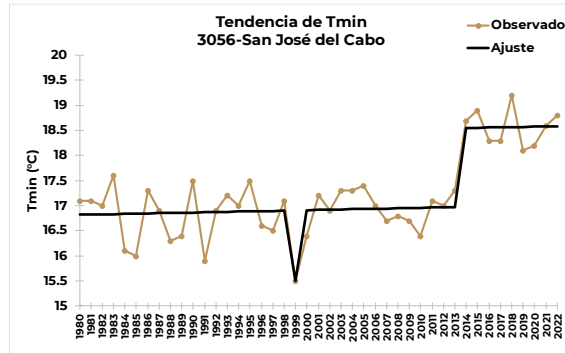
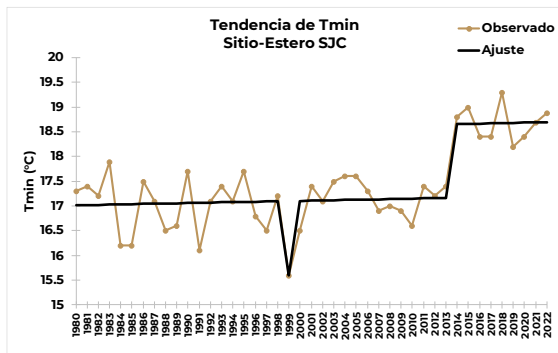
En este caso se ajustaron las tendencias a las variables de Tmax y Tmin promedio anuales, y de la Pcp acumulada promedio anual para el periodo de 1980-2022. Es preciso mencionar, que el ajuste puede cambiar en magnitud y en menor medida en comportamiento, dependiendo de la extensión de las series, por lo que este ajuste es válido para el periodo mencionado.

A) Temperatura

En la **Figura 4.5** se pueden observar los ajustes de tendencia realizados para las variables de temperatura. En los ajustes hay cambios estructurales y outliers (valores atípicos) que formar parte del modelo ajustado.

Figura 4.5. Ajuste de tendencias para Tmax y Tmin anuales para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.





Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

En la **Tabla 4.3** se indican los datos relevantes en el ajuste, se incluyen los valores de los años donde se detectaron cambios estructurales, los cuales pueden ser en el valor medio como en la pendiente. Si hay un cambio estructural en la pendiente significa que hubo un cambio en la dirección del comportamiento, esto quiere decir que el valor de la tasa de cambio antes y después del año detectado fue diferente. En el caso del cambio estructural en la media sólo hay cambio en el promedio de los valores, pero no en la tasa de cambio, la cual es la misma durante todo el registro. El periodo de la tendencia indica el periodo válido para el valor de la tendencia final, debido a los cambios estructurales en las series de datos. El valor de la probabilidad proporciona la significancia de la tendencia, una tendencia de incremento (SIG+), una de decremento (SIG-) o una sin cambio NS.

Tabla 4.3. Valores para el ajuste de tendencias para Tmax y Tmin para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.

Variable	Sitio	Cambio estructural	Periodo de la tendencia	Tendencia a °C/año Final	p-valor	Significancia
		Años				
Tmax	Sitio-Estero SJC	-----	1980-2022	0.056	0.0000	SIG(+)
	3056-San José del Cabo	-----	1980-2022	0.055	0.0000	SIG(+)
Tmin	Sitio-Estero SJC	2014	1980-2022	0.004	0.5697	NS
	3056-San José del Cabo	2014	1980-2022	0.005	0.5435	NS

Fuente: Elaboración propia con datos de con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).



De acuerdo con los resultados del ajuste para temperatura en ambos sitios, Tmax está aumentando y Tmin no está teniendo cambios significativos.

En el Sitio-Estero SJC Tmax tiene una tendencia de 0.056 °C/año, lo que significa que por **década** se ha tenido un aumento de **0.56°C**. mientras que de **1980 a 2022** el incremento ha sido de **2.35°C**. Por otro lado, la Tmin no presenta una tendencia significativa, sin embargo, se detectó un cambio estructural positivo en el año de 2014 en los valores medios, es decir, que hubo un incremento de las Tmin promedio. De esta manera, de 1980 a 2013 se tuvo un promedio de 17.0°C y de 2014 a 2022 de 18.7°C, por lo que las Tmin están siendo más cálidas.

En el caso del sitio 3056-San José del Cabo la tendencia de Tmax es de incremento con un valor de 0.055°C/año, **0.55°C por década**, por lo que en **42 años** el aumento ha sido de **2.31°C**. Como en el caso del Sitio-Estero SJC, la tendencia de la Tmin es no significativa (sin cambio) y con un cambio estructural en 2014. También se tuvo una tendencia positiva con cambios en los valores medios, dado que de 1980-2013 se tuvo un promedio de 16.9°C y de 2014-2022 de 18.6°C, es decir han sido más cálidas.⁵

En el año de 2014 para el sitio con condiciones urbanas se tuvo un mayor aumento en los valores medios que en el sitio dentro del Estero.

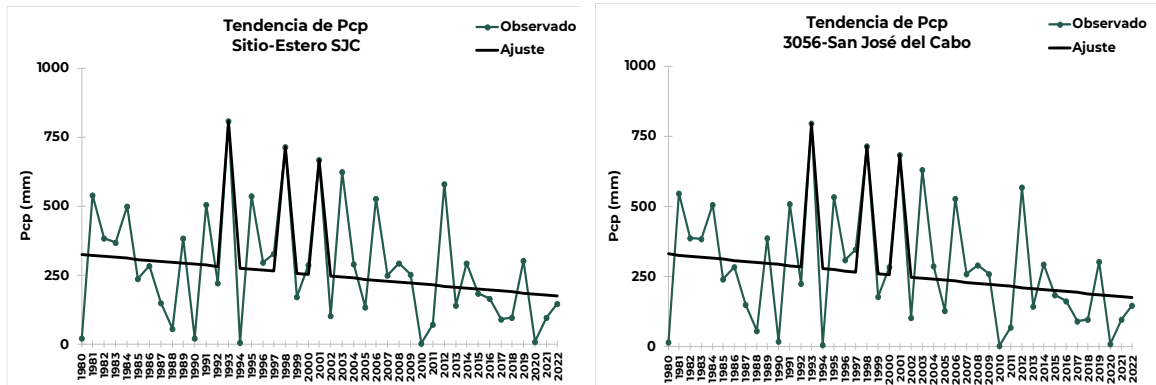
En ambos sitios se han tenido mayores cambios en Tmax que en Tmin, donde las temperaturas diurnas han sido más cálidas y las nocturnas no están presentado cambios. Sin embargo, si la tasa de cambio de la Tmin continúa así, o se llegase a incrementar, es posible que se tenga una tendencia significativa, ya que su comportamiento denota aumento.

A) Precipitación

En las gráficas de la **Figura 4.6** se incluyen las tendencias de la precipitación acumulada anual para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.

⁵ Aunque la extensión de los periodos es diferente, el realizar el promedio en los dos segmentos de la serie de 1980-2013 y de 2014 a 2022, da una aproximación cuantitativa del cambio que se está registrando en la Tmin.

Figura 4.6. Ajuste de tendencias para la precipitación acumulada anual para para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.



Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

En ambos sitios la tendencia fue no significativa (Tabla 4.4), es decir sin cambios, dada su alta variabilidad. Sin embargo, es de destacar el valor de la tasa de cambio, el cual es negativo, y en las gráficas (Figura 4.9) se puede observar un **comportamiento hacia la disminución**, particularmente en los últimos 10 años, como en el caso de las anomalías. Por lo que es importante mencionar que si este comportamiento persiste es posible que el cambio sea más marcado, y cuyos efectos pueden impactar en los ecosistemas y en la población.

Tabla 4.4. Valores para el ajuste de tendencias para Pcp acumulada anual para para el Sitio-Estero SJC y el sitio 3056-San José del Cabo.

Variable	Sitio	Cambio estructural	Período de la tendencia	Tendencia °C/año Final	p-valor	Significancia
		Años				
Pcp	Sitio-Estero SJC	-----	1980-2022	-3.592	0.0989	NS
	3056-San José del Cabo	-----	1980-2022	-3.718	0.0894	NS

Fuente: Elaboración propia con datos de con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

Asimismo, es de notar que, en el sitio de la zona urbana, el valor de la tasa de cambio es mayor, que la del sitio dentro del Estero, lo que demuestra que **el Estero es un sitio que ayudaría amortiguar una posible disminución de precipitación, proporcionando mayor humedad y evapotranspiración.**



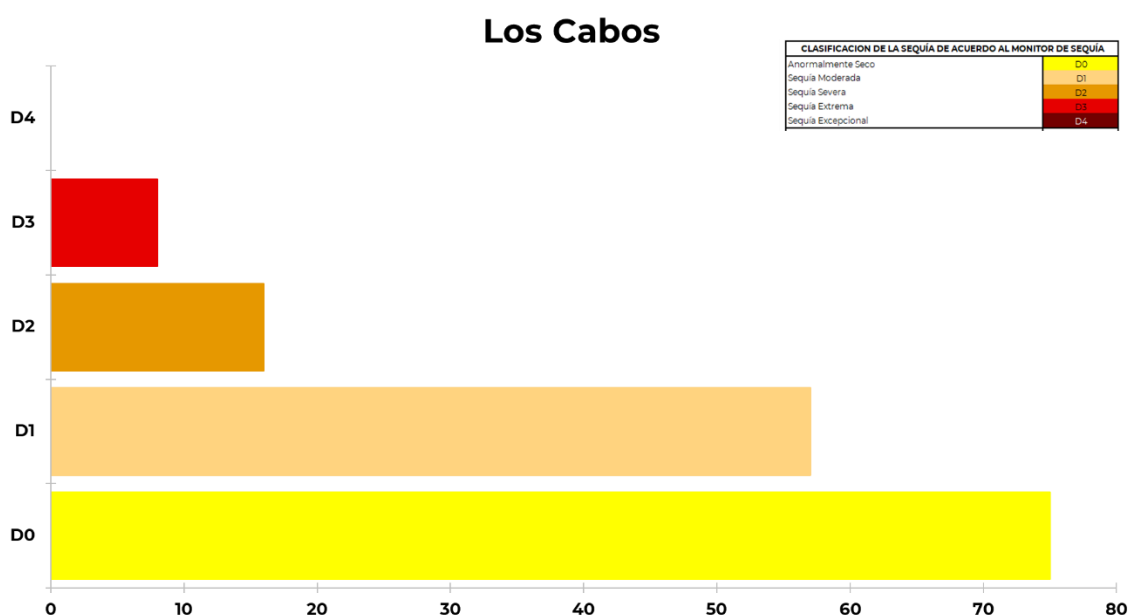
La comparación de ambos sitios, uno ubicado en la zona urbana y otro dentro del Estero (periferia de la ciudad y cercano a la línea de costa), mostró que, aunque muy similares los comportamientos, hay un contraste entre las magnitudes de los cambios presentados. En precipitación, aunque no significativa, la tendencia tuvo una tasa de cambio de mayor disminución en la zona urbana que en la zona del Estero; asimismo la temperatura mínima a partir de 2014 aumento su valor promedio, siendo mayor en la ciudad que en el Estero.

En ambos casos hay un inminente aumento de las temperaturas diurnas (T_{max}) por lo que es preciso considerar estos resultados para conservar la mayor vegetación posible en la zona, la cual puede ayudará amortiguar los efectos de un calentamiento y así evitar los efectos negativos de los cambios en el clima.

5. Sequía en el municipio de Los Cabos

La sequía es uno de los principales fenómenos climáticos que afecta a México, principalmente en el norte del país donde se presentan periodos prolongados secos por falta de precipitación. En el estado de Baja California Sur también se han presentado sequías, y de acuerdo con los datos del monitor de sequías que va del año 2003 a la fecha de elaboración de este documento, en el municipio de Los Cabos donde se ubica el Estero de San José del Cabo han ocurrido eventos desde **Anormalmente Seco hasta Sequía Extrema (Figura 5.1)**. Hay una mayor ocurrencia de eventos con condiciones Anormalmente Secas (75 eventos), por lo que han predominado estas condiciones; seguidas de Sequía Moderada (57 eventos), Sequía Severa (16 eventos) y Sequía Extrema (8 eventos)⁶.

Figura 5.1. Frecuencia de eventos de sequía desde 2003 a 2023 en el municipio de Los Cabos.

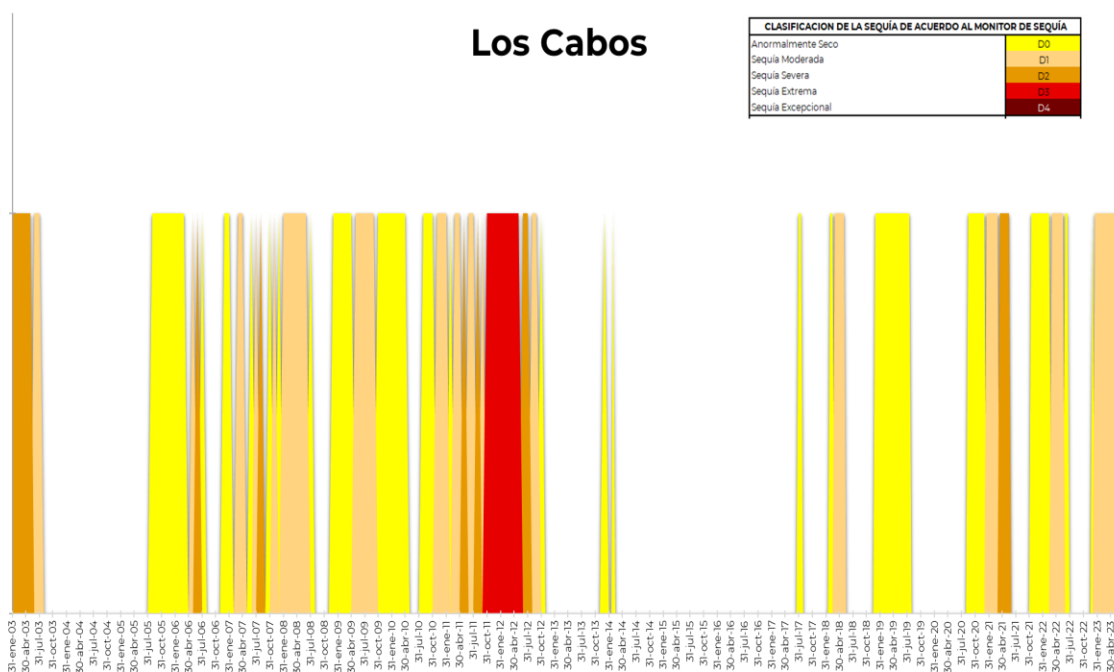


Fuente: Elaboración propia con datos de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

⁶ En estos resultados hay que considerar que de 2003 a 2013 la asignación de los valores es por mes y de 2014 a 2023 es por quincena, dado que así se contempla en la base de datos del SMN, sin embargo, proporciona una aproximación de lo que ocurre en el municipio. Los eventos es el número de quincenas que han presentado alguna condición de sequía.

En la **Figura 5.2** se puede observar la ocurrencia de los eventos en el municipio de Los Cabos desde 2003. Destaca el periodo de sequía de **agosto de 2010 a octubre de 2012, donde predominaron las condiciones de Sequía Moderada y Sequía Extrema, estos últimos eventos ocurrieron de octubre de 2011 a mayo de 2012.** En el año de 2011 el municipio de Los Cabos se declaró zona de desastre por la sequía por daños a la agricultura y la ganadería. Donde 100 mil cabezas de ganado registraron pérdidas del 40% de su masa corporal y los agostaderos estaban al 50% de su capacidad⁷. Durante los años de 2010 y 2011, se alcanzó un déficit de precipitación de 99% y entre 78%-79%, en los sitios analizados para el Estero de San José del Cabo.

Figura 5.2. Eventos que han ocurrido en el municipio de Los Cabos de 2003 a junio de 2023.



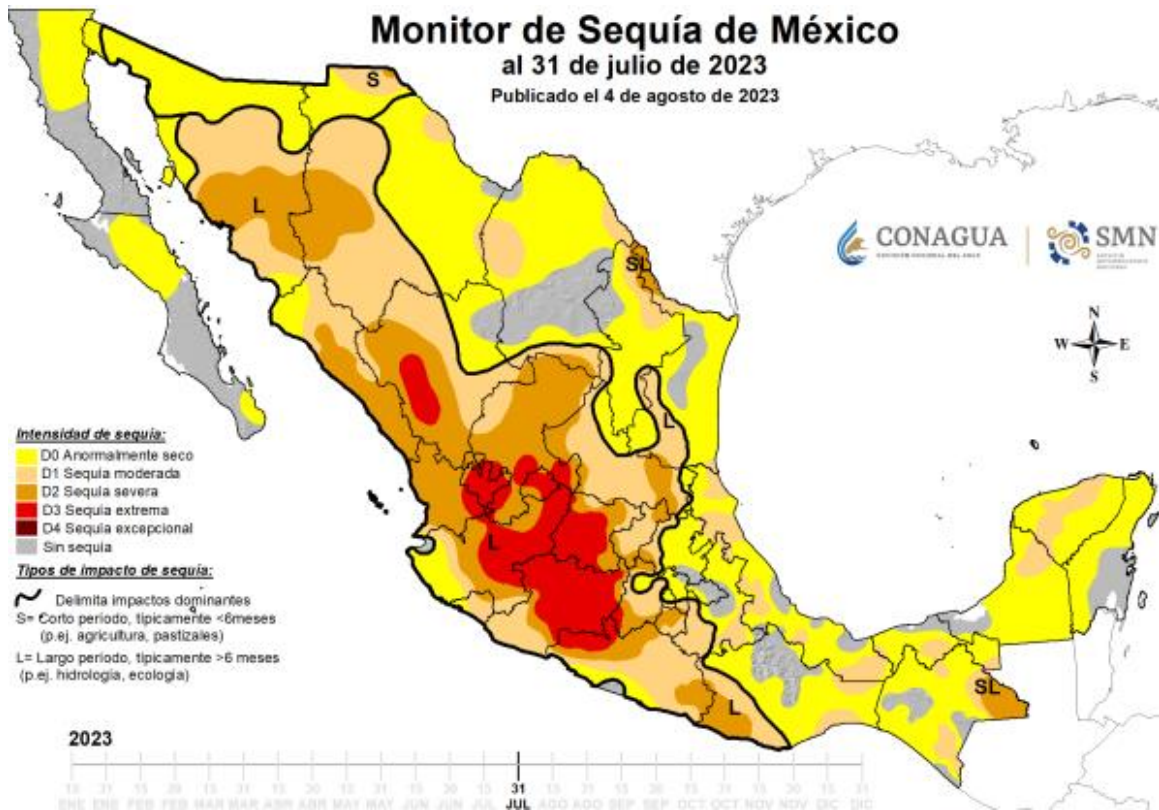
Fuente: Elaboración propia con datos de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

En la **Figura 5.3** se muestran el Monitor de Sequia en México, que proporciona la información sobre las regiones del país que presentan algún grado de intensidad de sequía durante el periodo de análisis. Se observa que, en la quincena del 16 al 31 de julio de 2023 se presentan condiciones Anormalmente Secas y Sin Sequía. Al sur de la Península las condiciones de Anormalmente Seco se localizan al este, y en general predominan las condiciones Sin Sequía. El porcentaje de superficie

⁷ <https://www.desinventar.net/DesInventar/results.jsp>

afectada es del 37.2% con condiciones Anormalmente Secas y del 62.8% sin afectación⁸.

Figura 5.3. Monitor de Sequía en México, análisis de la quincena del 16 al 31 de julio del 2023.



Fuente: Tomado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.

⁸

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Sequ%C3%ADa/Monitor%20de%20sequ%C3%A1Da%20en%20M%C3%A9xico/Seguimiento%20de%20Sequ%C3%ADa/MSM20230731>.



6. Ciclones tropicales

Un ciclón tropical se puede definir como una gran masa de aire cálido y húmedo con fuertes vientos que giran en forma de espiral alrededor de una zona de baja presión. Se originan en el mar entre las latitudes 5° a 15°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor o igual a 26°C. Los ciclones tropicales tienen un área casi circular con la presión más baja en el centro, transportan gran cantidad de humedad y frecuentemente se trasladan con velocidades comprendidas entre 10 a 40 km/h (CENAPRED, 2021a).

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la presión que existe en su centro o por la velocidad de sus vientos. Es una tormenta de rápida rotación que se origina en los océanos tropicales, de donde extrae la energía necesaria para desarrollarse. Tiene un centro de baja presión y nubes que se desplazan en espiral hacia la pared que rodea el "ojo", la parte central del sistema donde no hay nubes y las condiciones meteorológicas son por lo general tranquilas. Su diámetro suele ser de unos 200 a 500 km (WMO, 2022). Se les denomina depresión tropical (DT) si tienen una presión de 1008 a 1005 mb⁹ o una velocidad de los vientos menor que 63 km/h, es tormenta tropical (TT) si la presión es de 1004 a 985 mb o una velocidad del viento entre 63 y 118 km/h) y es un huracán (H) si la presión es menor que 984 mb o la velocidad del viento es mayor que 119 km/h (CENAPRED, 2021a).

Según la escala de Saffir-Simpson de vientos huracanados utilizada en el mar Caribe, el Golfo de México, el océano Atlántico Norte y el océano Pacífico Norte oriental y central, la fuerza de los huracanes varía de la categoría 1 a la 5 (WMO, 2022):

- **Huracán categoría 1** tiene vientos máximos sostenidos de 119 a 153 km/h
- **Huracán categoría 2** tiene vientos máximos sostenidos de 154 a 177 km/h
- **Huracán de categoría 3** tiene vientos máximos sostenidos de 178 a 209 km/h
- **Huracán de categoría 4** tiene vientos máximos sostenidos de 210 a 249 km/h
- **Huracán de categoría 5** tiene vientos máximos sostenidos superiores a 249 km/h

A los ciclones generalmente se les relaciona con lluvias muy intensas, que pueden provocar inundaciones; de igual manera se les asocia vientos destructivos, los cuales pueden alcanzar velocidades superiores a los 300 km/h. Cuando existe la combinación de olas formadas por el viento y la baja presión de

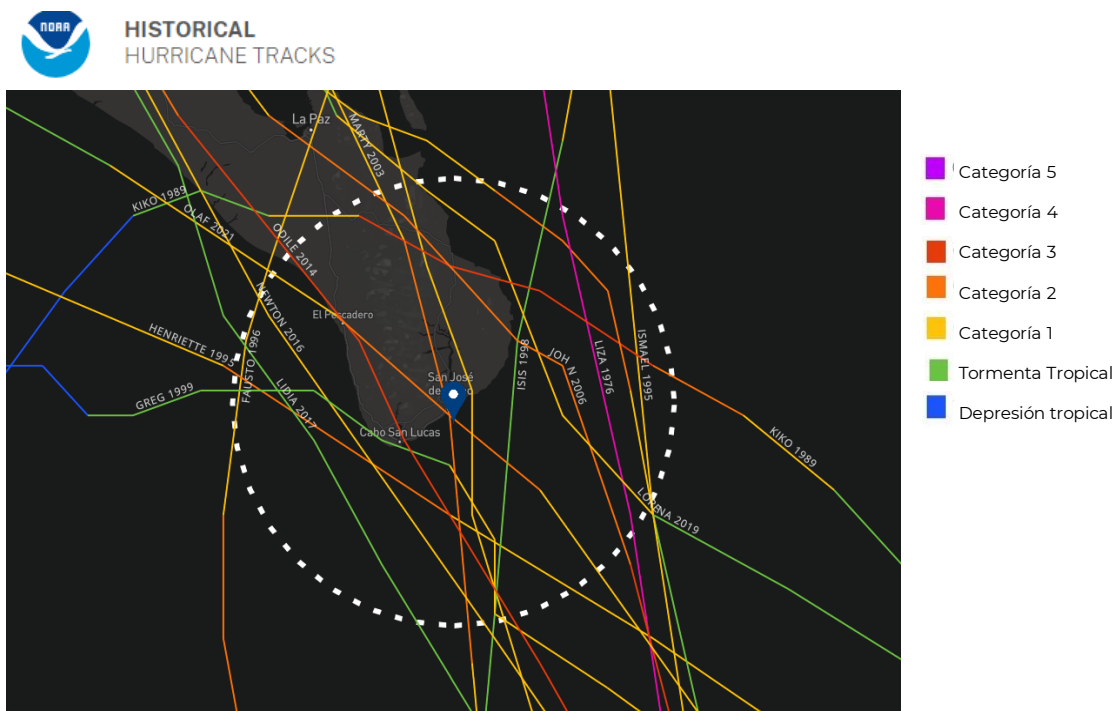
⁹ El milibar es la unidad de presión que equivale a la milésima parte de un bar o a mil dinas por cm². El milibar ha sido utilizado como unidad de presión atmosférica, aunque no es una unidad dentro del Sistema Métrico Internacional (SI). Un milibar es equivalente a un hectopascal, siendo el Pascal la unidad de presión del SI, por lo que actualmente se maneja el dato de la presión atmosférica en hPa (o, lo que es lo mismo, milibares). La presión atmosférica media al nivel del mar es de 1013 hPa (https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/1006_milibar)

un ciclón tropical da origen a la marea de tormenta, la cual es un gran volumen de agua impulsada hacia la costa a gran velocidad y con una fuerza inmensa que puede arrastrar las estructuras a su paso y causar daños importantes al medio ambiente costero (WMO, 2022).

Los ciclones tropicales son una de las mayores amenazas para la vida y los bienes, incluso en sus primeras fases de desarrollo. Los efectos y daños de los ciclones tropicales que puedan ocasionar, además de la velocidad del viento también dependen de factores como la velocidad de desplazamiento, la duración de vientos fuertes, la precipitación acumulada durante y después de que tocan tierra, el cambio repentino de la dirección de desplazamiento y de intensidad, su estructura (por ejemplo, el tamaño y la intensidad), así como la respuesta del ser humano ante los desastres causados por estos sistemas (WMO, 2022).

En el territorio nacional los huracanes generalmente ocurren entre los meses de mayo a noviembre, principalmente durante la época cálida cuando las temperaturas del mar son del orden de 26°C y, una vez ya formados se desplazan hacia el oeste. Entre 1970 y 2017 impactaron las costas de México 269 ciclones tropicales (SEMARNAT-INECC, 2018).

Figura 6.1. Trayectoria de los ciclones tropicales del periodo de 1976-2021 que han impactado en el Estero de San José del Cabo y sus alrededores.



Fuente: Tomado de NOAA (2022).

En la **Figura 6.1.** y la **Tabla 6.1.** se pueden observar los ciclones tropicales que han impactado en el Estero de San José del Cabo y sus alrededores en el estado de Baja California Sur para el periodo de 1976 a 2021, en sus diferentes categorías y considerando un radio de 100 km a la redonda del Estero de San José del Cabo. Los ciclones tropicales se consideran como fenómenos de escala sinóptica, es decir, dado que su diámetro va de 200 a 500 km y tienen una duración de días a semanas (WMO, 2022). **En total en los últimos 45 años han impactado 16 ciclones tropicales en los alrededores del Estero de San José del Cabo.**

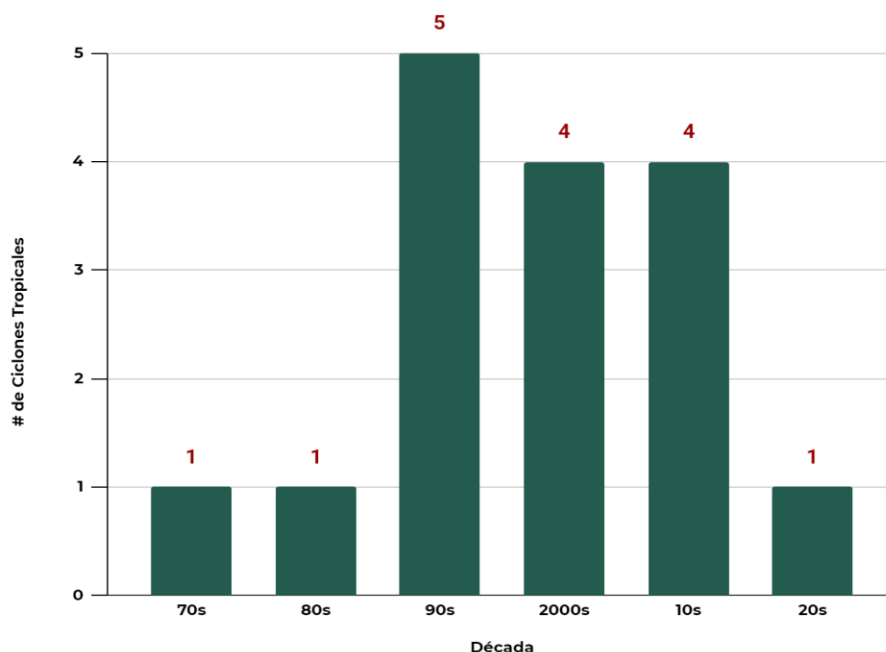
Tabla 6.1. Registro de Ciclones Tropicales que han impactado en el Estero de San José del Cabo y sus alrededores en el periodo de 1976-2021.

Ciclones Tropicales en el periodo de 1976-2021					
Año	Nombre	Clasificación	Velocidad Máxima (km/h)	Presión mínima (mb)	Categoría
1976	Liza	Huracán	222.24	948	H4
1989	Kiko	Huracán	194.46	955	H3
1995	Henriette	Huracán	157.42	970	H2
1995	Ismael	Huracán	129.64	983	H1
1996	Fausto	Huracán	194.46	955	H3
1998	Isis	Huracán	120.38	988	H1
1999	Greg	Huracán	120.38	986	H1
2003	Ignacio	Huracán	166.68	970	H2
2003	Marty	Huracán	157.42	970	H2
2006	John	Huracán	212.98	948	H2
2007	Henriette	Huracán	138.9	972	H1
2014	Odile	Huracán	222.24	918	H4
2016	Newton	Huracán	148.16	977	H1
2017	Lidia	Tormenta Tropical	101.86	986	-
2019	Lorena	Huracán	138.9	985	H1
2021	Olaf	Huracán	166.68	975	H2

Fuente: Tomado de NOAA (2022).

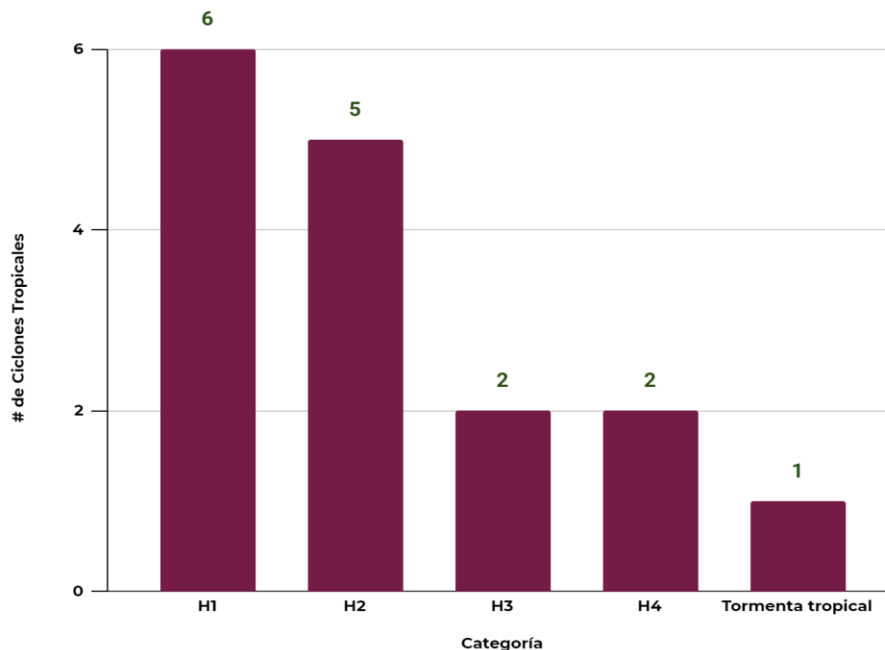
A partir de la década de los 90s se ha tenido un mayor número de impactos directos en la parte sur del estado (**Figura 6.2**). De los 16 impactos que se han tenido en su mayoría han sido Huracanes (15 eventos) y la mayor Categoría de impacto ha sido la Categoría 1 (**Figura 6.3**), y la máxima ha sido la Categoría 4 (años 1976 y 2014).

Figura 6.2. Número de ciclones tropicales por década desde 1976 a 2021 que han impactado en el Estero de San José del Cabo y sus alrededores.



Fuente: Elaborado con datos de la NOAA (2022).

Figura 6.3. Frecuencia de ciclones tropicales por categoría en los alrededores del Estero de San José del Cabo de 1976 a 2021.



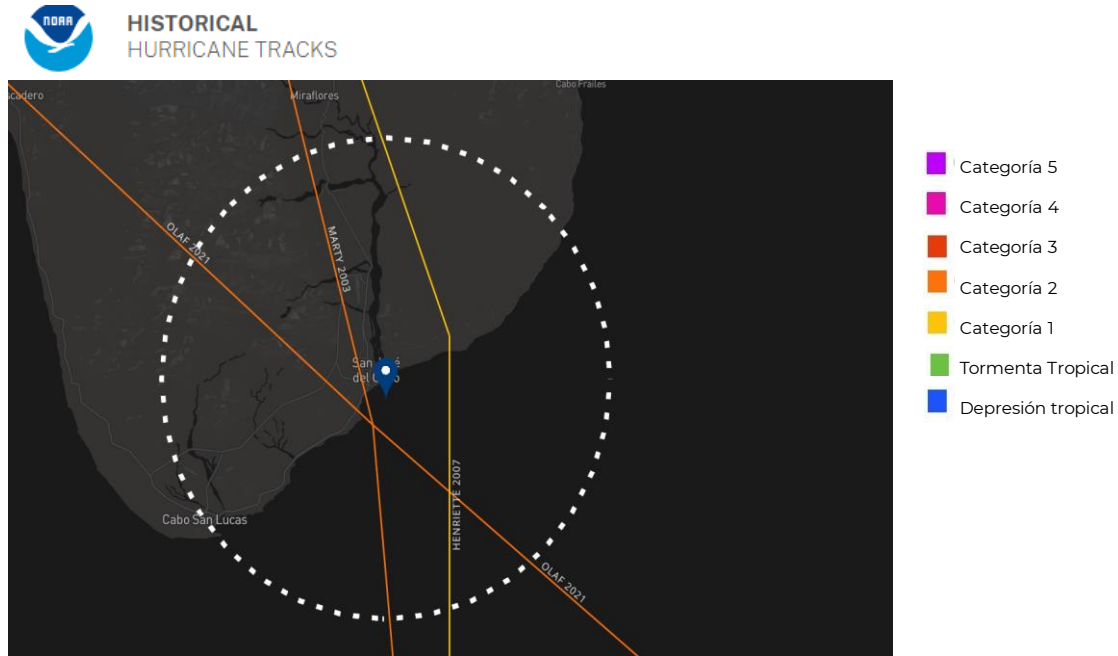
Fuente: Elaboración propia con datos de la NOAA (2022).

Por otro lado, en la **Figura 6.4.** se presentan los ciclones que han tenido un impacto de manera directa en el Estero de San José del Cabo de 1976-2021, en sus diferentes categorías. **Todos han ocurrido después de la década de los 2000s. En total han impactado 3 huracanes a lo largo del territorio del Estero de San José del Cabo en Baja California Sur, dos de Categoría 2 (Marty y Olaf) y uno de Categoría 1 (Henriette).**

En la **Figura 6.5** se muestra el registro de precipitación por ciclones tropicales. En el último año destaca el huracán “Olaf” que impactó en tierra y ocasionó lluvias puntuales torrenciales de 150 a 250 mm en Baja California Sur, muy fuertes de 50 a 75 mm en localidades de Nayarit y Sinaloa (CONAGUA, 2021). El huracán “Marty”, impactó al Noroeste del Estero de San José del Cabo en el año 2003, alcanzó vientos máximos de 157.42 km/h y se registraron lluvias máximas de 323 mm en San José del Cabo¹⁰.

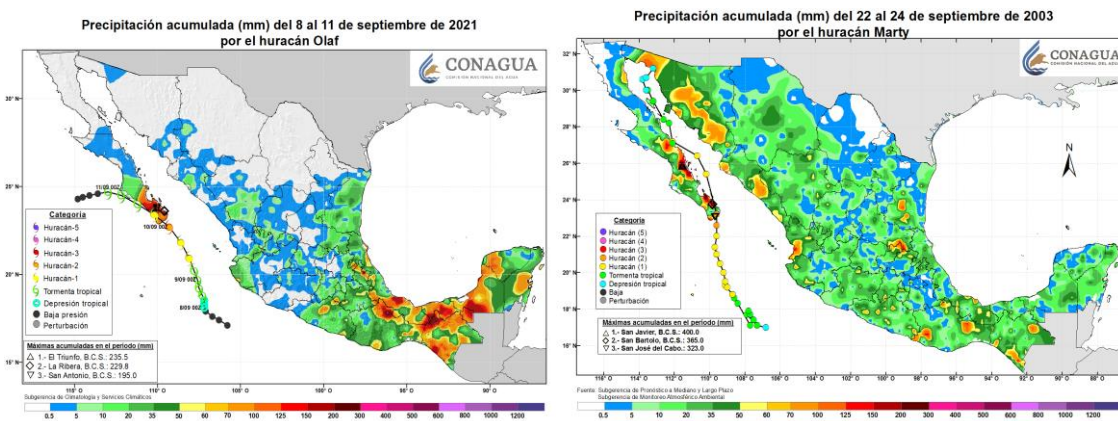
¹⁰ <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/lluvias-asociadas-a-ciclones-tropicales>

Figura 6.4. Trayectoria de los ciclones tropicales del periodo de 1976-2021 que han impactado directamente en el Estero de San José del Cabo.



Fuente: Tomado de NOAA (2022).

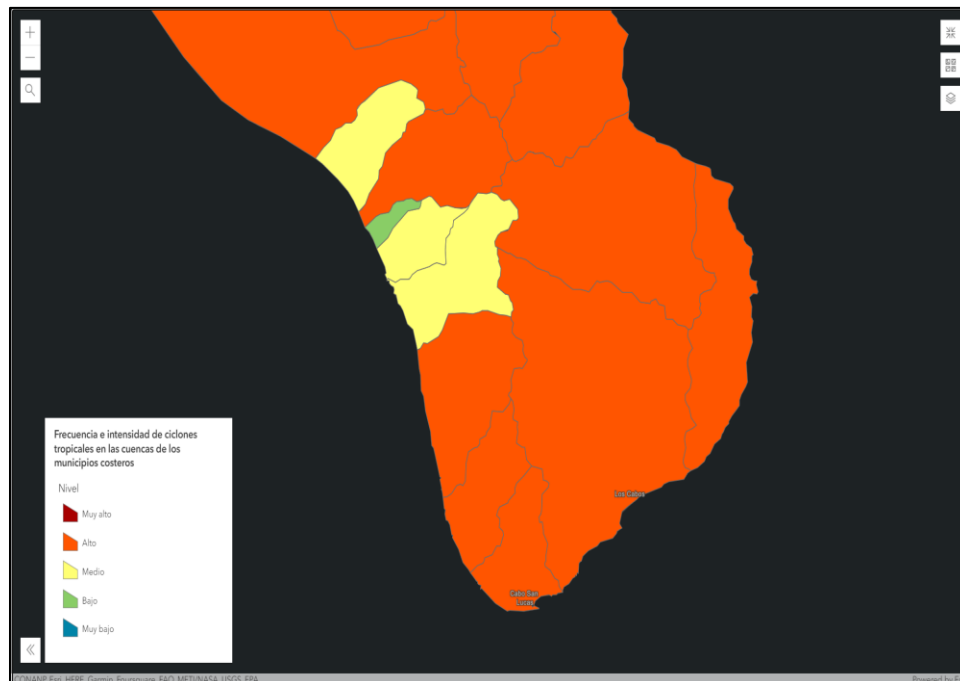
Figura 6.5. Registro de precipitación acumulada por ciclones tropicales que han impactado directamente en el Estero de San José del Cabo.



Fuente: Tomado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/lluvias-asociadas-a-ciclones-tropicales>

El análisis mostrado sobre la Frecuencia e intensidad de ciclones tropicales elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, indica un nivel Alto de la amenaza de ciclones tropicales en la mayor parte de las cuencas hidrológicas de la parte sur del estado de Baja California Sur (**Figura 6.6**).

Figura 6.6. Frecuencia e intensidad de ciclones tropicales en las cuencas de Baja California Sur.



Fuente: Tomado de <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/>

El peligro de impacto de ciclones tropicales es **Alto** para la región del **Estero de San José del Cabo, por lo que es necesario considerar las posibles afectaciones en el medio ambiente**. Por ejemplo, a corto plazo los efectos con el ambiente y los procesos ecológicos son la mayor producción de material vegetal muerto (hojarasca como madera), incremento de la temperatura del aire y suelo, disminución de la humedad relativa y de la evapotranspiración, modificación del paisaje, erosión, mayor presencia de derrumbes, reducción de la humedad del suelo, destrucción del dosel forestal y disminución del índice de área foliar y del área basal por unidad de superficie (Tanner y Kapos, 1991; Whigham et al., 2003; Cortés-Ramos et al., 2020). De acuerdo con Boose citado por Shiba (2019), la magnitud de la afectación de los ciclones tropicales está relacionado con el nivel de conservación del medio ambiente, de su cobertura vegetal y de las poblaciones de fauna silvestre, así como de la precipitación, vientos, topografía, geomorfología y humedad del suelo del área impactada.



Tal es el caso de la distribución de especies de reptiles, aves y mamíferos en el Estero de San José del Cabo. Según Savege citado por Armenta (2015), reporta que el área es escasa en reptiles, posiblemente por el efecto de los huracanes y las lluvias intensas, que ocasionan inundaciones y flujos en los cuerpos de agua durante la temporada de lluvias o de eventos meteorológicos. Por lo tanto, se asume que el área es continuamente recolonizada. Un ejemplo más es el caso de los mamíferos como los murciélagos, los cuales representan la mayor riqueza de especies, sin embargo, debido a los cambios en la vegetación, se modifica su hábitat y se afectan las especies. Armenta (2015) señala que los fenómenos meteorológicos generan pérdidas periódicas de las poblaciones, siendo muy difícil encontrar poblaciones estables.

De acuerdo con CENAPRED (2021b) se recomiendan las siguientes medidas ante ciclones tropicales:

- Elaborar mapas de peligro y riesgo por los efectos de los ciclones tropicales.
- Seguir las indicaciones del Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIATCT).
- Monitorear el fenómeno (avisos y boletines del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua, de la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana y de estaciones meteorológicas de la propia unidad estatal de PC).
- Difundir alertas a toda la población, especialmente a la más vulnerable, así como asegurarse de que la población indígena esté informada de las acciones que deba tomar. Para ello, existe material de difusión que ha elaborado el CENAPRED en varias lenguas indígenas.
- Contar con planes de respuesta para los efectos de los ciclones tropicales (rutas de evacuación, albergues, simulacros, etc.)

Dichas recomendaciones se deben de considerar para disminuir el peligro ante un impacto de los ciclones tropicales.



7. Clima proyectado

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con proyecciones de escenarios de cambio climático en el Estero de San José del Cabo; tomando como referencia el promedio a nivel polígono.

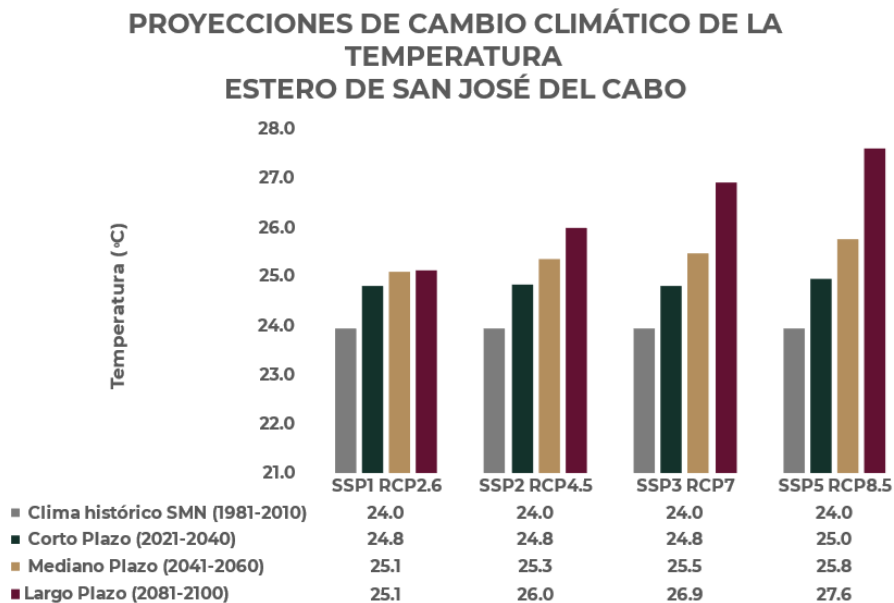
7.1 Escenarios de cambio climático

A) Temperatura

Para el análisis de la temperatura se elaboró la gráfica de las proyecciones de cambio climático de la temperatura media anual en específico del Estero de San José del Cabo (**Figura 7.1**). Se tiene que la temperatura media anual del clima histórico en el Estero de San José del Cabo es de 24.0°C, la cual aumenta en los diferentes escenarios y horizontes.

Las proyecciones de los escenarios de cambio climático muestran un incremento de la temperatura en los diferentes periodos de tiempo. En el corto plazo (2021-2040) se observa que la diferencia de temperaturas no es tan grande entre un escenario y otro, y esto es debido a la línea base de la que parten. Conforme se aleja en el tiempo, los cambios son mucho más significativos, y esto está relacionado con las características que definen a cada uno de los escenarios. Los mayores incrementos se presentan en el largo plazo donde el escenario SSP1 RCP2.6 proyecta una temperatura de 25.1°C, hasta 27.6°C en el escenario SSP5 RCP8.5.

Figura 7.1. Gráficas de la temperatura media anual que muestra una comparación del clima histórico y las proyecciones de los diferentes escenarios de cambio climático en distintos periodos de tiempo del Estero de San José del Cabo.



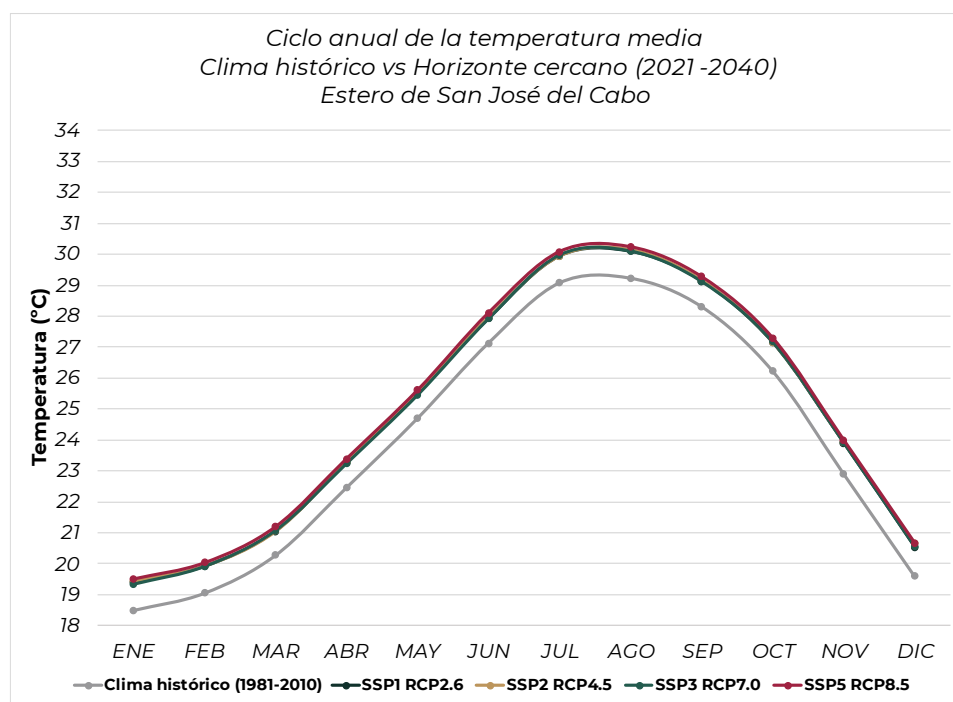
Para poder analizar los cambios de las temperaturas con las diferentes proyecciones de los escenarios de cambio climático, se realizó la **Tabla 7.1** que integra los valores de las anomalías (incrementos o disminuciones) en distintos periodos de tiempo futuro, con respecto al clima histórico. En el corto plazo el incremento de temperatura es de 0.9°C a 1.0°C. En el mediano plazo los aumentos van de 1.2°C a 1.8°C. En el largo plazo, existe una diferencia marcada de la temperatura entre los diferentes escenarios, y los incrementos son de 1.2°C en el escenario más favorable y 3.7°C en el escenario más drástico.

Tabla 7.1. Anomalía de la temperatura de las proyecciones de los escenarios de cambio climático con respecto al clima histórico 1981-2010 del Estero de San José del Cabo.

PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO - ESTERO DE SAN JOSÉ DEL CABO				
Anomalía de Temperatura (°C)				
Periodo	SSP1 RCP2.6	SSP2 RCP4.5	SSP3 RCP7	SSP5 RCP8.5
Corto Plazo (2021-2040)	0.9	0.9	0.9	1.0
Mediano Plazo (2041-2060)	1.2	1.4	1.5	1.8
Largo Plazo (2081-2100)	1.2	2.0	3.0	3.7

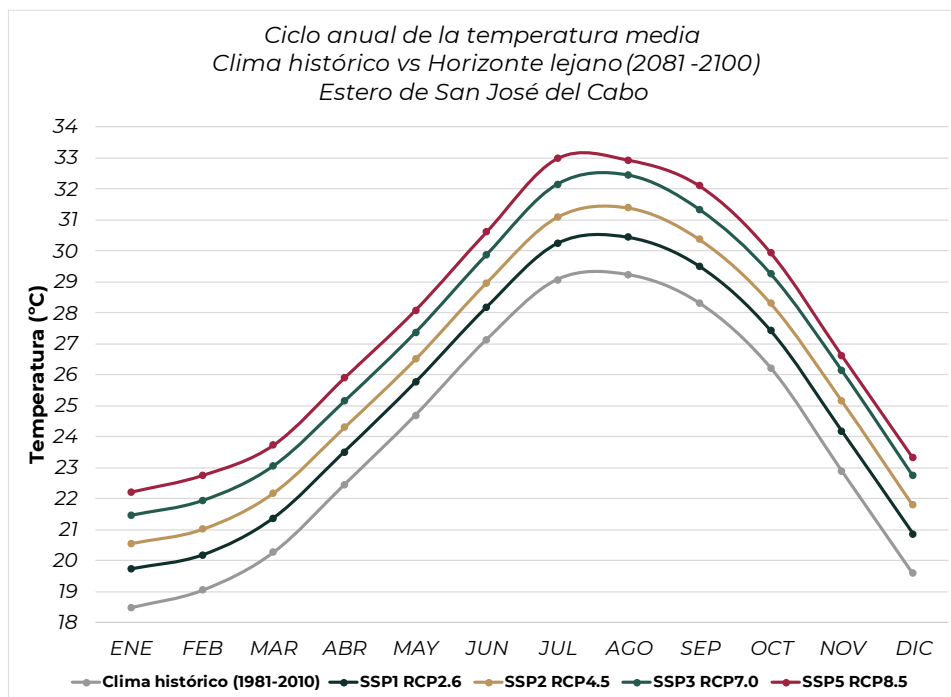
Para observar los cambios proyectados a futuro en el ciclo anual de la temperatura media en el Estero de San José del Cabo, se realizaron dos gráficas para mostrar las diferencias entre un horizonte cercano y uno lejano. En primer lugar, se presenta la **Figura 7.2** la cual muestra las gráficas del clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro cercano (2021-2040). En segundo lugar, en la **Figura 7.3** se muestran las gráficas del clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro lejano (2081-2100).

Figura 7.2. Gráfica del ciclo anual de la temperatura media que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte cercano (2021-2040) del Estero de San José del Cabo.



En la **Figura 7.2** se observa que en las proyecciones de los escenarios de cambio climático de la temperatura media en el futuro cercano, en el Estero de San José del Cabo conservan un comportamiento similar al clima histórico con un incremento aproximado de 0.8°C a 1.0°C. Las temperaturas medias más bajas se presentan en el invierno, siendo enero el mes más frío, esto se relaciona con el paso de sistemas frontales dentro del territorio nacional. Las temperaturas medias más altas se presentan de junio a octubre, siendo julio y agosto los meses con las temperaturas más altas.

Figura 7.3. Gráfica del ciclo anual de la temperatura media que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte lejano (2081-2100) del Estero de San José del Cabo.

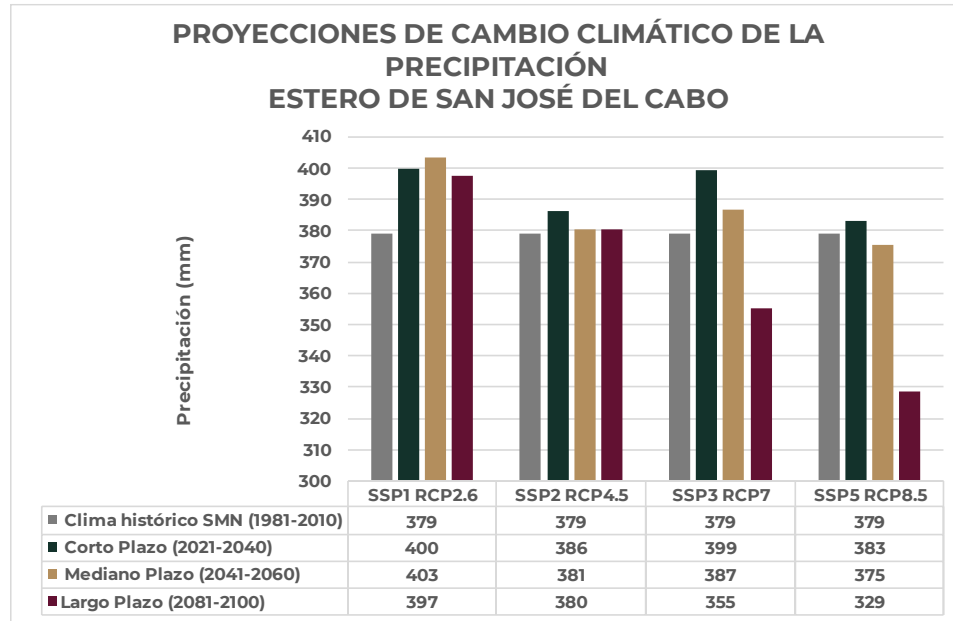


En la **Figura 7.3** se muestra un incremento de la temperatura media mensual para el horizonte 2081-2100. Aquí se muestra una mayor diferencia en la temperatura para todos los escenarios, que es de aproximadamente 1.0°C entre escenarios. El comportamiento de la temperatura tiene variaciones, entre el clima histórico y lo que se proyecta, sobre todo en el futuro lejano.

B) Precipitación

Para el análisis de la precipitación se elaboró la gráfica de las proyecciones de cambio climático de la precipitación acumulada anual del Estero de San José del Cabo (**Figura 7.4**). La precipitación acumulada anual del clima histórico en el Estero de San José del Cabo es de 379 mm. Se puede observar que en esta región se proyecta un aumento de precipitación en los escenarios SSP1 RCP2.6 y SSP2 RCP4.5 en todos los horizontes, con una precipitación acumulada de 403 mm en el mediano plazo. Hay incremento en el SSP3 RCP7 para los horizontes cercano y medio. En el futuro lejano se proyecta una disminución de la precipitación en los escenarios SSP3 RCP7 (355 mm) y SSP5 RCP8.5 (329 mm), este último escenario es donde se presenta la menor precipitación.

Figura 7.4. Gráfica de la precipitación acumulada anual, en la cual se muestra una comparación del clima histórico y las proyecciones de los diferentes escenarios de cambio climático en diferentes periodos de tiempo del Estero de San José del Cabo.



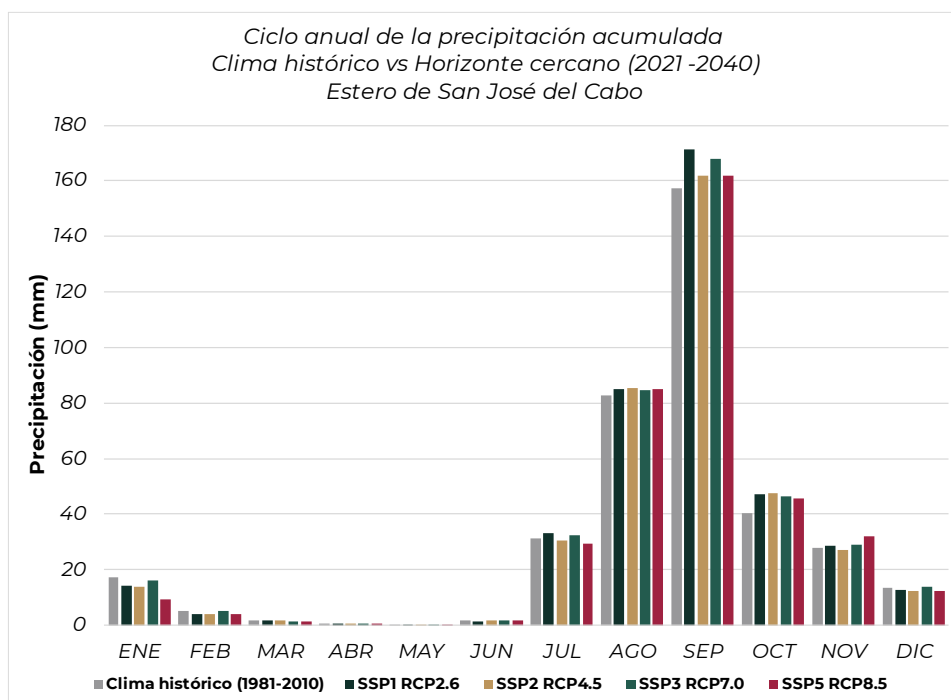
Para poder analizar los cambios de la precipitación con las diferentes proyecciones de los escenarios de cambio climático, se realizó la **Tabla 7.2** que integra los porcentajes de cambio de la precipitación (incrementos o disminuciones) en los diferentes periodos de tiempo futuro, con respecto al clima histórico. En el escenario SSP1 RCP2.6 futuro intermedio se proyectan incrementos de la precipitación que alcanzan hasta un 6.4%. El cambio más grande de la precipitación se presenta en el futuro lejano bajo el escenario SSP5 RCP8.5 con una disminución de 13.2%.

Tabla 7.2. Porcentaje de cambio de la precipitación de las proyecciones de los escenarios de cambio climático con respecto al clima histórico 1981-2010 del Estero de San José del Cabo.

PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO - ESTERO DE SAN JOSÉ DEL CABO				
Porcentaje de Cambio de la Precipitación (%)				
Periodo	SSP1 RCP2.6	SSP2 RCP4.5	SSP3 RCP7	SSP5 RCP8.5
Corto Plazo (2021-2040)	5.5	1.9	5.4	1.1
Mediano Plazo (2041-2060)	6.4	0.4	2.0	-1.0
Largo Plazo (2081-2100)	4.9	0.4	-6.3	-13.2

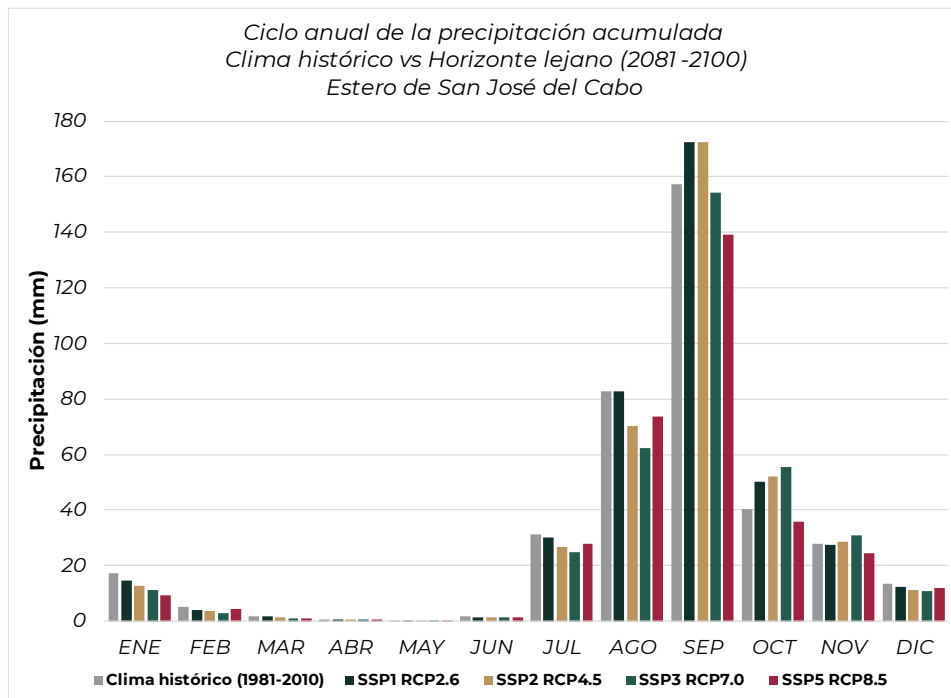
Para observar los cambios proyectados a futuro en el ciclo anual de la precipitación en el Estero de San José de Cabo se realizaron dos gráficas. La **Figura 7.5** muestra al clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro cercano (2021-2040), y la **Figura 7.6** muestra al clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro lejano (2081-2100).

Figura 7.5. Gráfica del ciclo anual de la precipitación que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte cercano (2021-2040) del Estero de San José del Cabo.



En la **Figura 7.5** se observa que el periodo de lluvias va de julio a enero; los meses de febrero a junio son meses con menor precipitación. Las escasas lluvias que se reciben en la temporada invernal están relacionadas con el paso de frentes fríos y sistemas de baja presión. Mientras que la temporada de lluvias intensas se relaciona con el paso de sistemas tropicales como son los ciclones tropicales. Lo que muestran las proyecciones de los escenarios de cambio climático es que va a haber una ligera variación de la precipitación en el futuro cercano, siendo en la temporada de lluvias donde se observan mayores cambios. En los meses de septiembre y octubre se observan los mayores cambios, mientras que en los meses secos la precipitación tiene muy poca variación.

Figura 7.6. Gráfica del ciclo anual de la precipitación que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte lejano (2081-2100) del Estero de San José del Cabo.



Las proyecciones de la precipitación de los escenarios de cambio climático en el futuro lejano (**Figura 7.6**), muestran pequeños cambios de disminución en la precipitación con respecto al clima histórico en los meses de invierno. En los meses de agosto a octubre hay una mayor diferencia entre un escenario y otro, así como con el clima histórico. Incluso se puede observar un aumento destacable en el mes de septiembre y octubre. Es clara una mayor variabilidad en los meses lluviosos que en los secos.

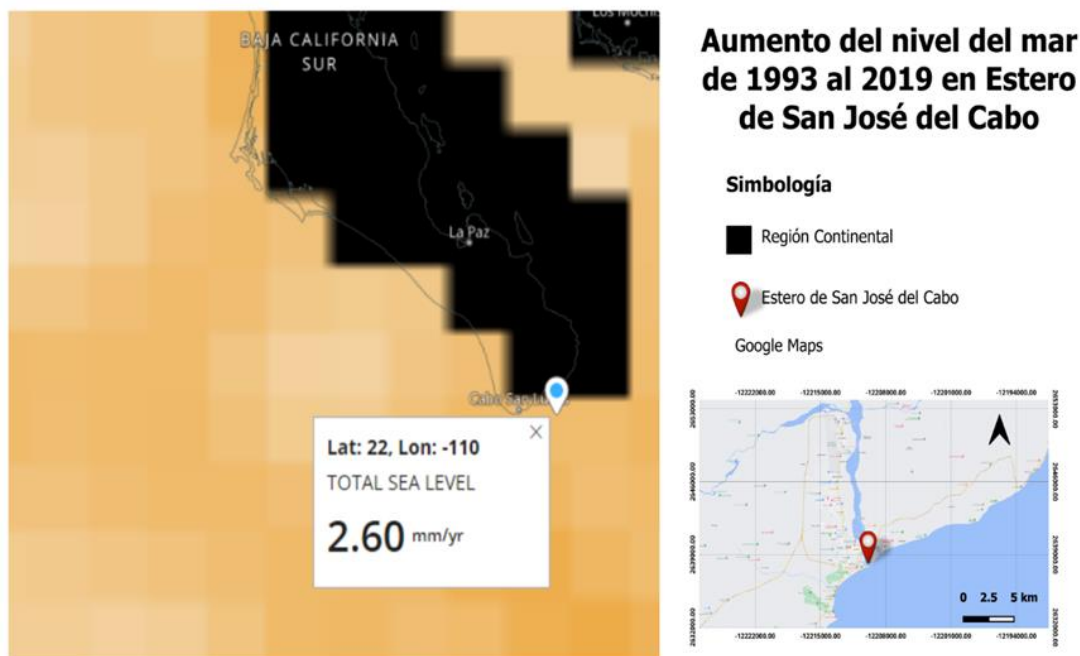
Con base en los escenarios de cambio climático del Estero de San José del Cabo, se pudo observar que las proyecciones a futuro muestran cambios tanto en la precipitación como en la temperatura. Incluso en el escenario más favorable esas variaciones pueden tener un impacto considerable tanto en los ecosistemas como en las actividades productivas. Es importante considerar toda esta información en el momento de planear o plantear medidas de adaptación, haciendo primero un análisis de la vulnerabilidad y de la gestión de riesgos que pueden incrementarse con los efectos del cambio climático.

8. Elevación del nivel del mar

A) Aumento del nivel del mar

Hay una serie de factores que contribuyen a las variaciones a corto y largo plazo del nivel del mar. Las variaciones a corto plazo generalmente ocurren a diario e incluyen olas, mareas o inundaciones específicas, como las asociadas con el derretimiento de la nieve en invierno, huracanes u otras tormentas costeras. Las variaciones a largo plazo en el nivel del mar ocurren en varias escalas de tiempo, desde un mes hasta varios años, y pueden ser ciclos repetibles, tendencias graduales o anomalías intermitentes. Los patrones climáticos estacionales, las variaciones en la declinación de la Tierra, los cambios en la circulación costera y oceánica, las influencias antropogénicas (como el dragado), el movimiento vertical de la tierra y la Oscilación del Sur de El Niño son sólo algunos de los muchos factores que influyen en los cambios en el nivel del mar a lo largo del tiempo¹¹.

Figura 8.1 Tasa de cambio del aumento del nivel del mar observado para el periodo de 1993 a 2019 en el Estero de San José del Cabo, Baja California Sur.



Fuente: Tomado de <https://sealevel.nasa.gov/sea-level-evaluation-tool>

¹¹ <https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/faq.html#q3>



En la **Figura 8.1** se muestran las estimaciones basadas en observaciones del aumento del nivel del mar desde 1993 hasta 2019, que se ha obtenido por altimetría satelital¹². El Estero de San José del Cabo, ha tenido una tasa de aumento de 2.60 mm/año, es decir que durante 26 años se ha tenido un incremento de 68 mm (6.8 cm).

Por otra parte, las proyecciones de los escenarios de cambio climático basados en el CMIP6 con respecto al incremento del nivel del mar indican para el año **2050** un incremento potencial de **19.8 cm (escenario favorable SSP1-1.9) a 25.7 cm (escenario más drástico SSP5-8.5)**, considerando la línea base relativa al período 1995-2014. Para el año **2100** las proyecciones muestran un incremento de **46.3 cm (escenario favorable) hasta 81.2 cm para el escenario más drástico**.

En la **Tabla 8.1** y en la gráfica de la **Figura 8.2** se observa el cambio proyectado del nivel del mar en el Estero de San José del Cabo; en relación con el período 1995-2014, para cinco escenarios de cambio climático.

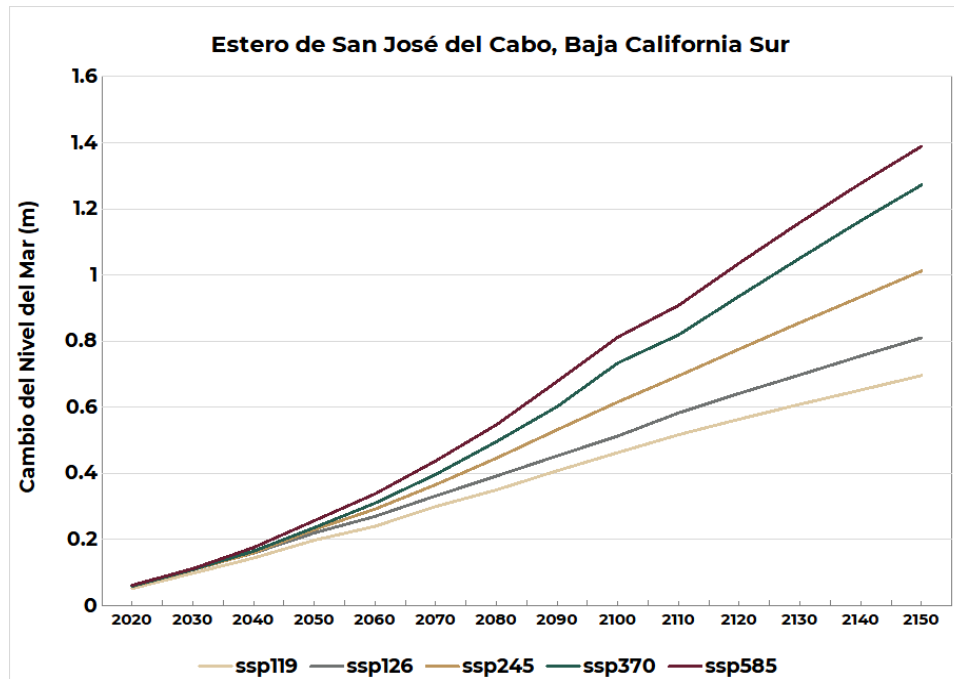
Tabla 8.1 Elevación del nivel del mar en el Estero de San José del Cabo en relación con el período 1995-2014, para cinco proyecciones de escenarios de cambio climático (metros).

Elevación del nivel del mar (metros)					
Año	ssp119	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
2020	0.052	0.06	0.058	0.059	0.062
2030	0.098	0.109	0.108	0.109	0.112
2040	0.144	0.159	0.16	0.165	0.176
2050	0.198	0.220	0.23	0.236	0.257
2060	0.240	0.270	0.292	0.310	0.338
2070	0.300	0.332	0.366	0.397	0.438
2080	0.35	0.392	0.446	0.496	0.547
2090	0.408	0.453	0.532	0.602	0.678
2100	0.463	0.513	0.616	0.734	0.812
2110	0.517	0.583	0.695	0.819	0.908
2120	0.564	0.642	0.776	0.936	1.036
2130	0.609	0.698	0.856	1.051	1.159
2140	0.652	0.755	0.934	1.164	1.277
2150	0.696	0.810	1.012	1.272	1.389

Fuente: Elaboración propia con información de la NASA <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

¹² <https://sealevel.nasa.gov/sea-level-evaluation-tool>

Figura 8.2 Gráfica de elevación del nivel del mar en el Estero de San José del Cabo, en relación con el período 1995-2014 para cinco proyecciones de escenarios de cambio climático (metros).

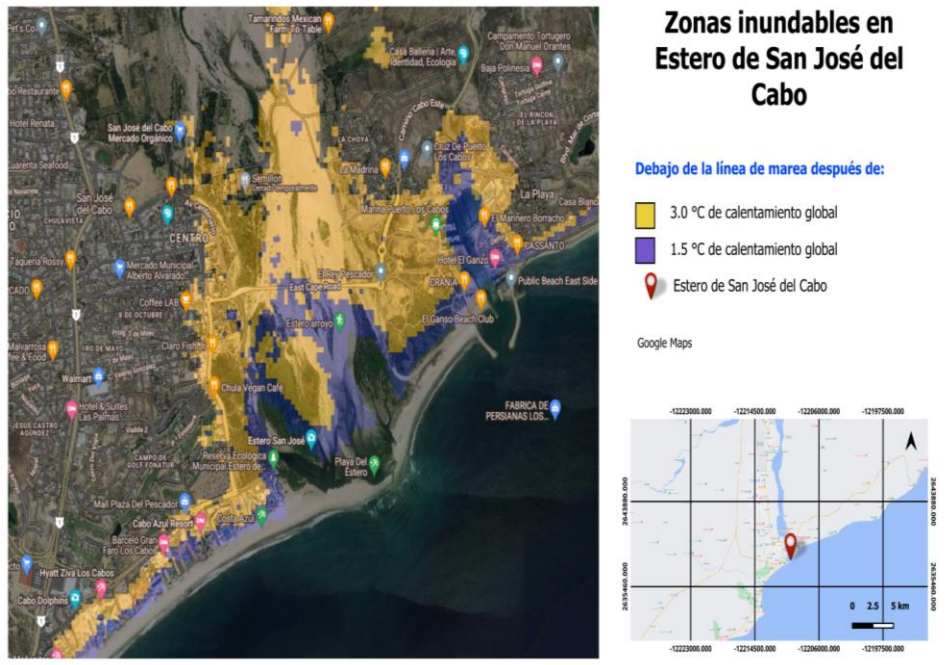


Fuente: Elaboración propia con información de la NASA <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

B) Zonas inundables

Para realizar este análisis se utilizó la información de la **Herramienta de detección de Riesgos Costeros de Climate Central** (<https://coastal.climatecentral.org/>). En la **Figura 8.3** se puede observar de una manera espacial las zonas inundables en la región del Estero de San José del Cabo, ante un aumento de temperatura global de 1.5°C y 3.0°C. En esta simulación se observa como toda la región es susceptible de inundarse.

Figura 8.3 Zonas inundables en el Estero de San José del Cabo.



Fuente: Tomado de <https://coastal.climatecentral.org>



9. Cambio en la cobertura vegetal y de uso de suelo

La importancia de identificar la cobertura vegetal y el uso de suelo que ha cambiado a lo largo del tiempo sirve para evaluar la deforestación y degradación ambiental provocadas por actividades antropogénicas. A partir de los diferentes insumos cartográficos y satelitales obtenidos se describen y analizan los cambios de uso de suelo en la microcuenca de San José del Cabo en el estado de Baja California Sur del periodo de 2010, 2015 y 2020, siendo esta la microcuenca hidrológica en la que se localiza el Estero de San José.

9.1 Cubierta de suelos

La cubierta del suelo o cobertura vegetal puede definirse como la capa superficial del sustrato edáfico. Según la definición de la FAO, la cubierta vegetal o cubierta del suelo es "la capa de vegetación que cubre el suelo, incluyendo plantas herbáceas, arbustos y árboles pequeños, así como también la hojarasca, ramas y otros residuos vegetales" (FAO, 2007).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) define la cobertura del suelo como "la distribución espacial de los diferentes tipos de superficies terrestres que cubren la Tierra, tales como cuerpos de agua, áreas urbanas, tierras agrícolas, pastizales, bosques, selvas, matorrales, entre otros" (SEMARNAT, 2021).

La cobertura vegetal desempeña funciones importantes en los ecosistemas terrestres. Por ejemplo, puede ayudar a prevenir la erosión del suelo, mejorar la retención de agua y nutrientes en el suelo, proporcionar refugio y alimento para una amplia variedad de animales y microorganismos del suelo. La cubierta del suelo también puede influir en la cantidad de luz solar que llega al suelo, afectando la temperatura y la humedad en el área circundante (Hunt et al., 2004).

Ante ello, el monitoreo de los cambios consecuencia de las actividades humanas son necesarios para intentar medir o visualizar los cambios que se han efectuado a través del tiempo. Y con ello, ejercer acciones que ayuden a disminuir los cambios de cobertura vegetal con el fin de preservar los ecosistemas y los efectos del cambio climático.



9.2 Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte

Se trata de una plataforma que combina datos geospaciales armonizados de Canadá, Estados Unidos y México para ofrecer una perspectiva subcontinental y regional de algunos aspectos ambientales que trascienden nuestras fronteras políticas.

Los mapas elaborados en el marco de esta iniciativa representan la cobertura del suelo en 2005, 2010, 2015 y 2020, con base ya sea en compuestos mensuales de imágenes con una resolución espacial de 250 metros obtenidas por el sensor MODIS (espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución media, conocido por sus siglas en inglés), o bien en imágenes recopiladas por vía satelital Landsat 7-8 o RapidEye, a una resolución de 30 metros. Las 19 clases de cobertura del suelo utilizadas en el NALCMS se basan en la norma del Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (Land Cover Classification System, LCCS) establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Se analizaron los datos del 2010, 2015 y 2020 para el estado de Morelos ya que representan una misma resolución espacial de 30 metros. Se omitió el análisis para el año 2005 ya que es un sensor diferente y una escala que rebasa los 250 metros por píxel.

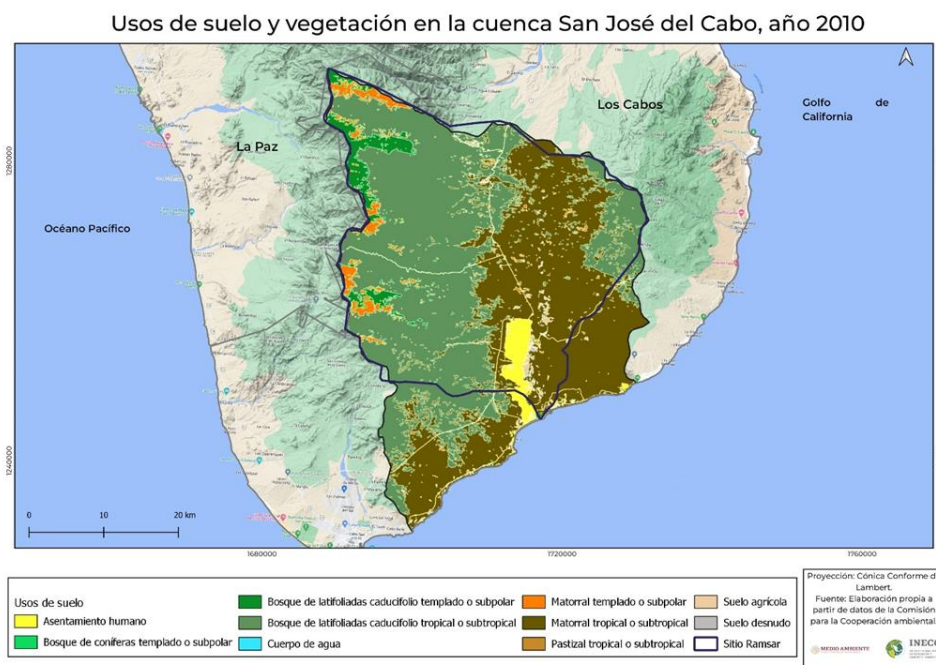
El procedimiento consistió en la descarga de los archivos en formato TIFF para toda la República Mexicana, se realizó un corte para solo obtener los datos de la microcuenca hidrológica del Estero de San José por cada una de las tres temporalidades (2010, 2015 y 2020). Posteriormente se transformó de formato ráster a formato vector, esto con la finalidad de categorizar los valores ráster a clases de uso de suelo determinadas por el metadato de la plataforma.

El análisis de uso de suelo y cobertura vegetal se hace con un enfoque de cuenca debido a las características hidrológicas intrínsecas del propio sitio RAMSAR, con el objetivo de identificar en que zonas altitudinales de la cuenca se encuentra el mayor cambio de uso de suelo e identificar las zonas donde se necesita implementar actividades de restauración, conservación o reforestación.

9.3 Productos cartográficos

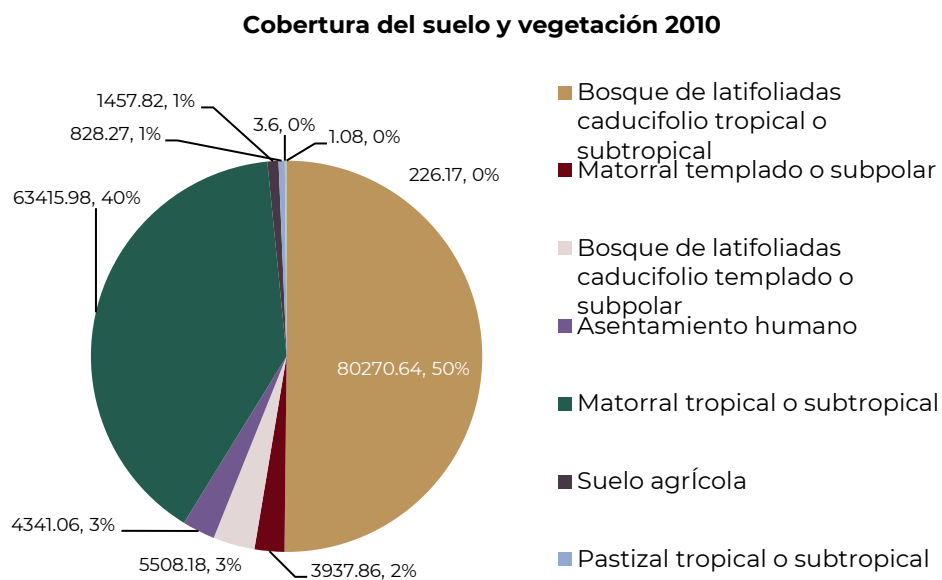
El presente análisis tiene como objetivo visualizar los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo para la cuenca de San José del Cabo en el estado de California, se presentan tres mapas con diferentes temporalidades, en las que se visualizan los cambios en la cobertura vegetal.

Figura 9.1 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca hidrológica del Estero de San José en San José del Cabo, Baja California Sur en el 2010



Fuente: Elaboración propia con información de la CCA, 2020
(<http://www.cec.org/files/atlas/?z=3&x=93.1641&y=61.9803&lang=es&layers=landcover2020s&opacities=100&labels=true>)

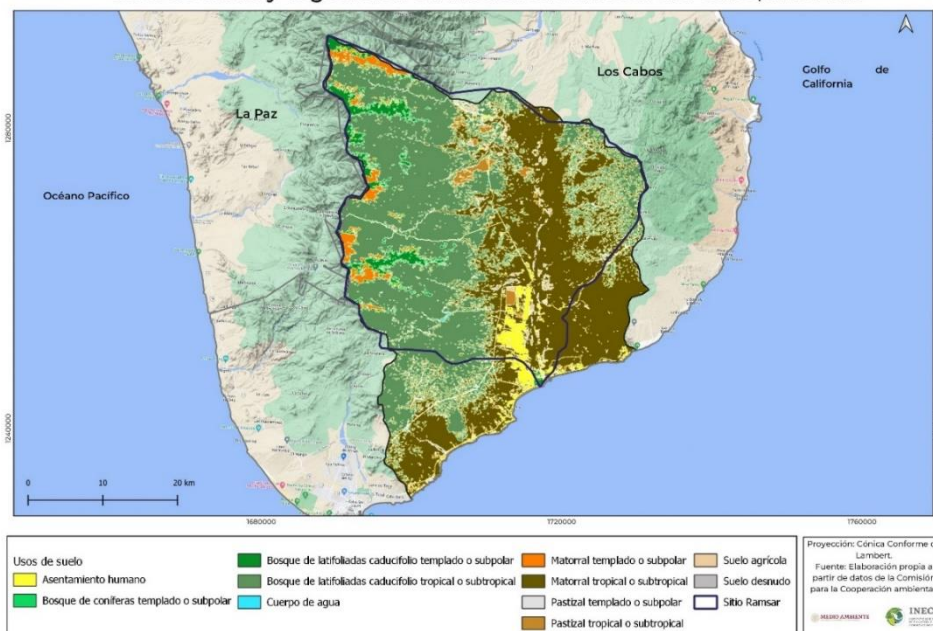
Figura 9.2 Gráfica de las áreas y porcentajes de los usos de suelo y cobertura vegetal en el año 2010.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CCA, 2020

Figura 9.3 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca hidrológica del Estero de San José en San José del Cabo, Baja California Sur en el 2015.

Usos de suelo y vegetación en la cuenca San José del Cabo, año 2015



Fuente: Elaboración propia con información de la CCA, 2020 (<http://www.cec.org/files/atlas/?z=3&x=93.1641&y=61.9803&lang=es&layers=landcover2020ls&opacities=100&labels=true>)

Figura 9.4 Gráfica de las áreas y porcentajes de los usos de suelo y cobertura vegetal en el año 2015. Elaboración propia con datos de la CCA, 2020

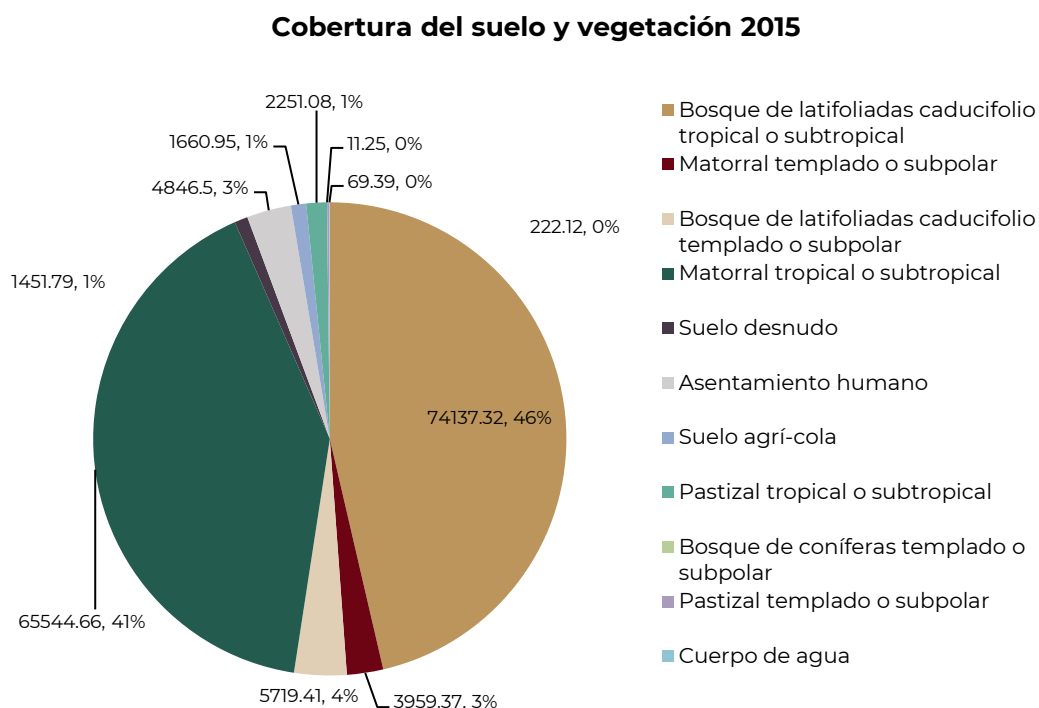
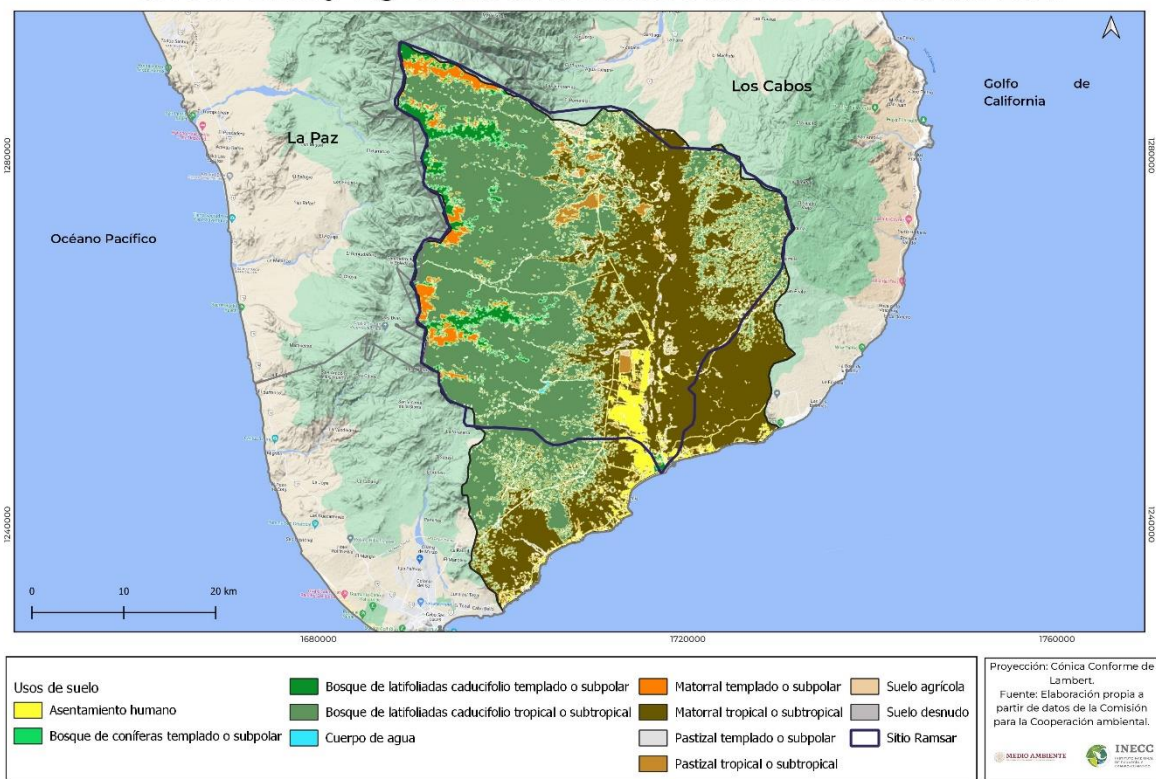


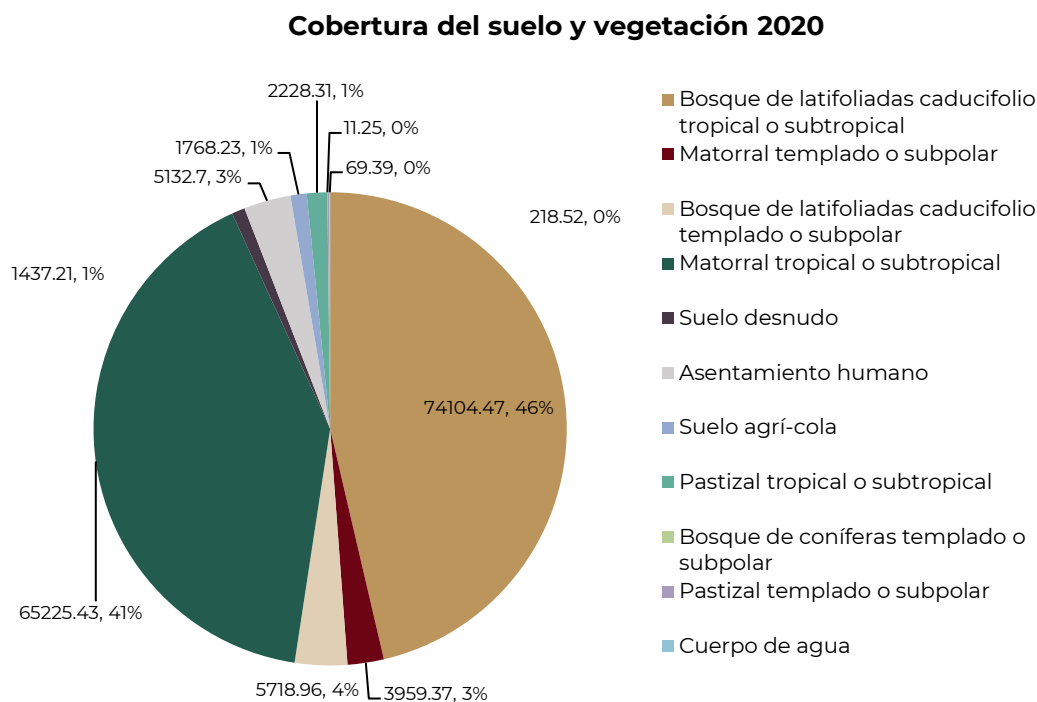
Figura 9.5 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca hidrológica del Estero de San José en San José del Cabo, Baja California Sur en el 2020.

Usos de suelo y vegetación en la cuenca San José del Cabo, año 2020



Fuente: Elaboración propia con información de la CCA, 2020 (<http://www.cec.org/files/atlas/?z=3&x=93.1641&y=61.9803&lang=es&layers=landcover2020&opacities=100&labels=true>)

Figura 9.6 Gráfica de las áreas y porcentajes de los usos de suelo y cobertura vegetal en el año 2020. Elaboración propia con datos de la CCA, 2020



9.4 Consideraciones Finales

Dentro de los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal analizados existen los siguientes cambios por grupos en específico:

- A) Bosque de latifoliadas caducifolio tropical o subtropical en el año **2010** representaba el **50%** de toda la cuenca y para el **2020** representa el **46%**.
- B) El bosque de coníferas se redujo, teniendo en **2010** un **11%** y para el **2020** solo ocupaba el **3%**
- C) Los asentamientos humanos, aumentaron su ocupación del territorio, expandiéndose con más de **1,000 hectáreas del 2010 al 2020**.
- D) La categoría identificada como **suelo agrícola** pasó de **828 hectáreas en 2010 a 1768 en 2020**, aumentando a más del doble.
- E) **El suelo desnudo aumento** su cobertura lo que probablemente se deba a procesos de remoción de cobertura forestal, **pasando de 226 en 2010 a 1437 hectáreas en 2020**, aumentando más de seis veces su superficie terrestre.
- F) **Los cuerpos de agua mostraron un crecimiento considerable al aumentar de 1 Ha a 69 Ha**, posiblemente se deba al crecimiento de los terrenos agrícolas.



En general los grupos que representan cobertura forestal disminuyeron, en detrimento de aquellas categorías que representan el suelo urbano o el suelo desnudo que aumentaron su ocupación en el territorio. Un rasgo común en la mayoría de los territorios donde se tiende a degradar los ecosistemas.



10. Flora y Fauna

La singular combinación ecológica en este sitio da como resultado una notable biodiversidad. El Estero de San José de Cabo es considerado uno de los más importantes y más amenazados humedales del noroeste de México; asimismo es un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) bajo la categoría G1, por servir de hábitat de especies globalmente amenazadas.

La abundancia de plantas acuáticas sumergidas y de plantas emergentes, como el tular, el carrizal y el palmar, son fundamentales para aves playeras como la golondrina marina de California (*Sterna antillarum browni*). Algunas aves endémicas de Baja California Sur con presencia en San José del Cabo son el colibrí de Xantus (*Hylocharis xantusii*) y la mascarita peninsular (*Geothlypis beldingi*). Esta última es señalada como especie en peligro de extinción por la Norma Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

El Estero de San José del Cabo se ubica al sur de la Península de Baja California, justo en el punto de descarga al mar de la cuenca hidrológica de San José. En los oasis de la cuenca se ha reportado la presencia de *Cryptostergia grandiflora* como especie invasora (León de la luz, 1999).

El Estero de San José del Cabo es un ecosistema de gran relevancia hídrica y biológica para la región debido a que alberga especies vegetales únicas y constituyen importantes corredores y refugios de flora y fauna (Olmos et al. 2016; Verdugo, 2015). Presenta vegetación del tipo matorral xerófilo en el cauce del arroyo San José, y en otros cauces menores, así como en las laderas de las serranías (CONAFORT, 2007).

Entre la fauna significativa que hay en el área resaltan la presencia de tres especies nativas de langostinos: ***Macrobrachium americanum*, *M. digueti* y *M. tenellum***. Entre las 14 especies de peces reportadas (Pronatura Noroeste, 2010), se encuentran especies de peces nativos como el pez de arena (*Awaous tajasica*) y el dormilón (*Gobiomorus maculatus*). De igual manera en la cuenca San José se han reportado 5 especies de anfibios como las especies nativas *Bufo punctatus* y *Psudacris hypochondriaca* y dos especies introducidas el *Smillisca baudinii* y *Rana catesbiana*, los cuales se encuentran principalmente en los cuerpos de agua. Además del sapo cavador *Scaphiopus couchi*, muy común en zonas desérticas (CONAFORT, 2007).

El estero, es parte de estaciones de descanso de aves acuáticas y de playas migratorias. Desde 2009 el sitio aparece en la Lista RAMSAR que cataloga los humedales de importancia estratégica para el planeta, registrando 217 spp, de las cuales 97 son migratorias y 19 se encuentran en alguna categoría de riesgo, por ejemplo, el gallito marino (*Sterna antillarum browni*) (Breceda et al. 2007).

En cuanto a los reptiles, se han registrado 38 especies en 13 familias, de estas 14 especies endémicas se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la categoría de bajo protección especial o como amenazadas (CONAFORT, 2007).

“En esta reserva existen reptiles, peces y un gran número de aves entre las que se encuentra la mascarita peninsular, esta especie es un pájaro endémico de un tamaño muy pequeño, y está en peligro de extinción, quedan en el mundo alrededor de 500, de las dos subespecies de estas”, explica Carlos Ruiz coordinador de la Reserva Ecológica Estatal Estero San José del cabo.

En el análisis histórico hecho por Harmelin (2019), se puede apreciar una recuperación de la vegetación en el periodo de 2004 a 2017, garantizando así una menor erosión del suelo. Contrastando las imágenes, se presenta una construcción de una marina y escollera, y una superficie de 10 ha de construcción a un costado del estero. La privatización y cambio de uso de suelo en la superficie mencionada afectó el polígono original establecido para el Estero, cegando una parte de éste y de su vegetación primaria. De la misma manera se aprecia una alteración en la barrera arenosa sugiriendo un aumento del nivel del mar como hipótesis del tratamiento de las imágenes (**Figura 10.1**).

Figura 10.1. Comparación de los usos de suelo en los años 2004 (Izquierda) y 2017 (Derecha). Tomado de Harmelin (2019)





Conclusiones

El análisis climático presentado a lo largo de este documento, así como la información sobre cambio en la cobertura vegetal y de uso de suelo y los elementos proporcionados sobre la importancia de la flora y la fauna en el Estero San José son fundamentales para apoyar la toma de decisiones bien informada, en el contexto de cambio climático. Estos elementos son base para hacer una evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático en el Estero y para poder diseñar y plantear medidas de adaptación y de mitigación que permitan disminuir los impactos del cambio climático, reducir la vulnerabilidad de la población y las brechas de desigualdad social, así como aumentar la resiliencia de los ecosistemas y promover un proceso integral de planificación territorial, orientado a la sustentabilidad del estero a largo plazo.

En el marco de los instrumentos de política pública que orientan la realización de acciones para enfrentar el cambio climático, es importante considerar el desarrollo de una Ley de Cambio Climático en el estado de Baja California Sur y la actualización del Programa Estatal de Cambio Climático, entre otros, para que se establezcan las disposiciones necesarias para lograr la adaptación al cambio climático, así como la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, en el estero San José.

En particular, para el tema de adaptación al cambio climático, se sugiere trabajar en un Programa de Adaptación al Cambio Climático de la Reserva Ecológica Municipal “Estero de San José”, que se alinee a los instrumentos de planeación territorial y de política pública que le atañan y, al mismo tiempo, atienda las características socioeconómicas, ambientales, políticas y culturales, a nivel local. Para la elaboración de un Programa de Adaptación al Cambio Climático, se propone llevar a cabo un proceso participativo de adaptación, e incluir la siguiente ruta metodológica:

1. **Sensibilización:**

- a) Reunión de arranque del proyecto de adaptación
- b) Presentación del proyecto ante las autoridades
- c) Taller de inicio con la población, autoridades municipales y locales
- d) Estrategia de comunicación y participación

2. **Diagnóstico:**

- a) Características socioeconómicas, ambientales, políticas y culturales de la localidad
- b) Instrumentos de planeación
- c) Canales de comunicación

3. **Vulnerabilidad climática:**

- a) Evaluación de las medidas de adaptación existentes
- b) Análisis de la capacidad adaptativa
- c) Vulnerabilidad local (mapeo comunitario)



d) Vulnerabilidad científica

4. Medidas de adaptación:

- a) Catálogo de medidas de adaptación al cambio climático propuestas por la comunidad
- b) Priorización de las medidas de adaptación
- c) Análisis costo-beneficios de las medidas priorizadas
- d) Estrategia de implementación de las medidas priorizadas
- e) Selección de indicadores de impacto que pudieran monitorear y evidenciar los resultados de cada una de las medidas en el mediano y largo plazo
- f) Recopilación de información de forma individual y colectiva para realizar una evaluación del proyecto

A manera de sugerencia, se podrían retomar las acciones que a continuación se anotan, para ir definiendo medidas de adaptación al cambio climático. Éstas derivan exclusivamente de la revisión en gabinete (UABC, 2012; CONANP, 2016):

- Favorecer estudios de Manejo de Cuenca, para que el aporte de agua sea de la calidad y la cantidad adecuada para mantener la funcionalidad de los humedales que contribuyen a mantener poblaciones saludables de peces y otras especies, y aseguran la provisión de servicios ambientales hidrológicos, en un contexto de cambio climático.
- Realizar acciones de reforestación con especies nativas en la zona alta, media y baja de la cuenca, con énfasis en la protección y regeneración de vegetación riparia, apoyando la protección ante eventos climatológicos extremos y el aumento del nivel del mar, además de preservar los servicios ecosistémicos del estero.
- Fomentar el financiamiento y las inversiones en actividades de turismo alternativo y sustentable, así como la agregación de valor, considerando acciones de capacitación y acompañamiento para los prestadores de servicios turísticos, que tomen en cuenta la vocación del medio y los posibles impactos del cambio climático.
- Consolidar a las Áreas Naturales Protegidas (ANP) como espacios para la protección de ecosistemas costeros. En este caso es esencial generar y actualizar los planes de manejo de éstas y fortalecer los mecanismos de participación ciudadana en los Consejos Asesores de las ANP.
- Fortalecer la capacidad organizativa y de autogestión e implementar buenas prácticas por parte de las cooperativas pesqueras, asegurando medios de vida sostenibles.

Finalmente, es necesario replantear una estrategia de atención prioritaria del Estero, que considere los problemas ambientales y los efectos del cambio climático actuales y a futuro, desde diversos enfoques, como la participación comunitaria, la difusión y divulgación de la información, el respeto a los derechos humanos, la equidad de género, la interculturalidad y la interseccionalidad.



Referencias bibliográficas

1. Armenta, L.F. (2015). Propuesta de Programa de Manejo para la Reserva Ecológica Estatal Estero de San José. Tesis de Maestro en Ciencias Marinas y Costeras con Orientación en Manejo Sustentable. Universidad Autónoma de Baja California.
2. Boletín oficial Gobierno del Estado de Baja California Sur, Programa de Manejo de la Reserva Ecológica Estatal Estero de San José. Tomo XXXI, 2004b, Número 35 (extraordinario), 02 de junio de 2004.
3. Bindoff N.L., P.A. Stott, K.M. AchutaRao, M.R. Allen, N. Gillett, D. Gutzler, K. Hansingo, G. Hegerl, Y. Hu, S. Jain, I.I. Mokhov, J. Overland, J. Perlwitz, R. Sebbari and X. Zhang. (2013). Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
4. Breceda A., P. Calina, B. Bermudes. 2016. los sitios RAMSAR de Baja California Sur, México: Problemática y Perspectivas. Areas Naturales Protegidas Scripta 2016. Vol. 2 (2):127-144
5. Brooks Chris. (2008). Introductory Econometrics for Finance. Second Edition. Cambridge University Press, New York. 648 pp.
6. Casas C. M. C y Alarcón J.M. (1999). Meteorología y Clima. Ediciones UPC, 162 pp.
7. CCA. Atlas ambiental de América del norte. Consultado el 08 de mayo de 2023.
8. Chandler R. y Scott M. (2011). Statistical Methods for Trend Detection and Analysis in the Environmental Sciences. John Wiley & Son. 388 pp.
9. CENAPRED. (2021a). Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado de <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>
10. CENAPRED. (2021b). Información básica de peligros naturales a nivel municipal. Estado de Baja California Sur: municipios Comondú, Mulegé, La Paz, Los Cabos, Loreto. Dirección de Análisis y gestión de riesgos, Dirección de investigación, CENAPRED.



11. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2015). Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas de México 2015. Recuperado de <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpest15gw.html>
12. CONAFORT. 2007. Programa de manejo para la cuenca hidrológica – forestal San José del Cabo, BCS. Informe final, CONOFORT – CIBNOR – UABCS. 420 pp.
13. CONAGUA. (2021). Olaf tocó tierra esta noche, como huracán categoría 2 en las inmediaciones de San José del Cabo, Baja California Sur. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/prensa/olaf-toco-tierra-esta-noche-como-huracan-categoria-2-en-las-inmediaciones-de-san-jose-del-cabo-baja-california-sur>, consultado en agosto de 2023
14. CONANP (2016). Programa de Adaptación al Cambio Climático del Complejo Marismas Nacionales, Nayarit y Sinaloa. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/247256/PACC_Marismas_Nacionales.pdf
15. CONANP-RAMSAR 2008 sistema ripario de la cuenca y estero San José de Cabo Consultado 17 de agosto de 2023
16. Cortés-Ramos, J., Farfán, L.M., Herrera-Cervantes, H. (2020). Assessment of tropical cyclone damage on dry forests using multispectral remote sensing: The case of Baja California Sur, Mexico. J. of Arid Environments 178 (104171): 1- 19.
17. Elizabeth Olmos-Martínez. Oscar Arizpe-Covarrubias. Marcela Rebeca Contreras-Loera. María Eugenia González-Ávila. Diego Armando Casas-Beltrán (2016) OPINIÓN PÚBLICA Y PERCEPCIÓN SOBRE LA CONSERVACIÓN DE LA RESERVA ECOLÓGICA ESTATAL ESTERO SAN JOSÉ DEL CABO Y SU ZONA DE INFLUENCIA: Revista de Comunicación Vivat Academia XIX · N° 135 pp 24-40
18. FAO. (2007). Glosario de terminos de la erosion del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0517s.pdf>.
19. Gobierno del estado de Baja California sur 1998 decreto plan de manejo de la reserva ecológica estatal estero de San José versión abreviada boletín oficial del estado de baja california sur 10 de julio de 1998 tomo xxv 25 1-23
20. Gobierno del estado de Baja California sur boletín oficial B.O. 2004 junio 02 No. 35. tomo xxxv consultado el 17 de agosto de 2023



21. Gujarati Damodar N. (2003). *Econometría*. Cuarta Edición, Mc Graw Hill Interamericana, México, 972 pp.
22. Harmelin, G. N. A. (2019) Impactos por erosión en la cuenca y crecimiento urbano en las ANP Estero San José del Cabo, Baja California Sur, México tesis de Maestría en ciencias Centro de investigaciones biológicas del Noreste, S.C. 18-19, 32-33 pp.
23. Hunt, R., D. Johnson, D. Lindenmayer, and A. Manning. (2004). Ecology: A patchy approach. *Environmental Management* 33(6): 787-797. DOI: 10.1007/s00267-003-9174-6.
24. IMPLAN (2022). Atlas de Riesgo y Vulnerabilidad al Cambio Climático del Municipio de Los Cabos. Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) de Los Cabos. Recuperado de http://rmgir.proyectomesoamerica.org/AtlasMunPDF/2022/03008_LOS_CABOS_2022.pdf
25. INECC (2022). La variabilidad climática y el cambio climático en Baja California Sur. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/717678/138_2022_Primer_a_Comunicacion.pdf
26. INECC (2023). La variabilidad climática y el cambio climático en Baja California Sur. Una herramienta para la adaptación al cambio climático y gestión del riesgo. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México. Inédito
27. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). López Díaz F., Nava Assad Y.S., Rojas Barajas M., González Terrazas D.I. Guía de Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones. pp 65.
28. INECC. (2018). ¿Qué es el clima? Recuperado el 26 de agosto de 2021 en <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-clima>
29. IPCC (2021). Bases Científicas del Cambio Climático. Capítulo 4. Future Global Climate: Scenario-based Projections and Near-term Information.
30. IPCC (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.



31. IPCC (2007). Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
32. León de la Luz, J.I., J.J.Pérez Navarro , M. Dominguez, R. Dominguez. 1999. Listado florístico de México xvIII: Flora de la región del Cabo de Baja California Sur. Instituto de biología, Universidad Autónoma de México.
33. López Díaz F. (2014). Análisis Regional de Eventos Extremos de Temperatura en México y sus Posibles Variaciones en el Contexto de Cambio Climático. Tesis para obtener el grado de Doctorado en Ciencias de la Tierra (Física de la Atmósfera). Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 145 pp.
34. López-Díaz F., C. Conde and O. Sánchez. (2013). Analysis of indices of extreme temperature events at Apizaco, Tlaxcala, Mexico: 1952-2003. *Atmósfera*, 26(3), 349-358.
35. NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica). (2022). Trayectoria Histórica de Huracanes. Recuperado de <https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=4/32/-80>, consultado en noviembre de 2022.
36. Maya, Y. 2004 Vegetación y suelo. En H Santoyo (ed). Caracterización de la Reserva Ecológica Estatal” estero de San José del Cabo”. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
37. Olmos Martínez, Elizabeth and Ibañez Pérez, Reyna and Ibarra-Michel, Juan Pedro, Sustentabilidad en el área turística Estero San José del Cabo, México (Sustainability in the Touristic Area of Estero San José del Cabo, Mexico) (November 9, 2018). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3282268> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3282268>
38. OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2011). Guía de prácticas climatológicas. OMM-No 100. 129 pp.
39. ONU. (2021). Cambio Climático. Recuperado el 03 de febrero de 2022 de SEMARNAT-INECC (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 757 p.



40. Ortega- Rubio, A., M. J. Pinkus- Rendón., C. Espitla- Moreno. (editores). 2015. Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz B. C. S., Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán, México. 572pp.
41. Presidencia de Los Cabos (2023). Los Cabos fortalecerá acciones en favor del desarrollo sostenible y la lucha contra el cambio climático. Presidencia de Los Cabos. Recuperado de <https://www.loscabos.gob.mx/los-cabos-fortalecera-acciones-en-favor-del-desarrollo-sostenible-y-la-lucha-contra-el-cambio-climatico/>
42. Pronatura noreste A.C. 2023 El estero de san José del Cabo, una joya natural que merece ser conservada consultado 17 de agosto de 2023 en: <https://pronatura-noroeste.org/estero-san-jose-cabo-joya-natural/#:~:text=El%20estero%20de%20San%20Jos%C3%A9%20del%20Cabo%20es%20considerada%20como,vulnerado%20en%20las%20%3%BAItimas%20d%C3%A9cadas>
43. Pronatura (compiladores) (2010). Plan de Conservación del Estero de San José del Cabo, B.C.S., México. Pronatura Noroeste, A.C. La Paz, Baja California Sur. 54pp.
44. Ramsar (2007). FICHA INFORMATIVA DE LOS HUMEDALES DE RAMSAR (FIR). Convención sobre los Humedales (Ramsar). Recuperado de <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1827RIS.pdf>
45. Santoyo, H., J. Guzmán. 1997. Plan de manejo de la Reserva Estatal estero de San José del Cabo” UABCS. 61pp
46. Savage, J. M. (1960). Evolution of a Peninsula herpetofauna. Syst. Zool.9:184-212.
47. SEMARNAT. (2021). Cobertura del suelo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/cobertura-del-suelo>
48. Shiba R., M.Y. (2019). Efecto de ciclones tropicales sobre la cubierta vegetal de la cuenca baja y estero de San José del Cabo, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. 73 p.
49. Tanner, E. V. J., y Kapos, V. (1991). Hurricane effects on forest ecosystems in the Caribbean. Biotropica 23 (4a): 513 – 521.



50. Thornton, P. E., Shrestha, R., Thornton, M., Kao, S. C., Wei, Y., y Wilson, B. E., (2021). Gridded daily weather data for North America with comprehensive uncertainty quantification. *Scientific Data*, 8(1), 1-17.
51. UABCS (2012). Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur. Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABC). Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40561/2012_bcs_peacc.pdf
52. Verdugo P. M.D.2015. Evaluación de la vulnerabilidad en la reserva ecológica del Estero San José del Cabo y su Área de influencia. tesis de licenciatura Universidad Autónoma de Baja California Sur.
53. Vidal Zepeda R. (2005). Las Regiones Climáticas de México. Instituto de Geografía-UNAM. 2012 pp.
54. Wayne, G.P. (2013). The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. *Skeptical Science*. Version 1.0, agosto de 2013. 25 pp.
55. Whigham, Wischmeier D. F., Olmsted, I., Cabrera C., E., y Curtis, A. B. (2003). Impacts of hurricanes on the forests of Quintana Roo, Yucatán Peninsula, México. In: *The Lowland Maya Area: Three Millennia at the Human-Wildland Interface*. 1a Edición.
56. WMO. (Organización Meteorológica Mundial). (2022). *Ciclones Tropicales*. Recuperado de <https://public.wmo.int/es/ciclones-tropicales>, consultado en noviembre de 2022.
57. Zhang X. y F. Yang. (2004). RCLimDex (1.0): Manual del Usuario. Traducción de Santos J.L, 22 pp. Disponible en línea en <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>



SANTIAGO B.C.S.





MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO