



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

AREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA

POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS (CIMACO)

TESIS

Evaluación de la influencia de la Oscilación Decadal del Pacífico en la lluvia de verano y la incidencia de Sistemas Tropicales en Baja California Sur, bajo el efecto del Cambio Climático.

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS CON ORIENTACIÓN EN
MANEJO SUSTENTABLE**

PRESENTA:

BRENDA LILIANA BELLO JIMÉNEZ

DIRECTOR:

DR. JOBST WURL

LA PAZ, B. C. S., ENERO DE 2018.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. OBJETIVOS.....	13
5. METODOLOGÍA.....	14
5.1 Descripción de la zona de estudio.....	14
5.2 Descripción de las fuentes de información.....	16
5.2.1 Estaciones Climatológicas Convencionales.....	16
5.2.2 Índice PDO.....	19
5.2.3 Escenarios de Cambio Climático.....	19
5.2.4 Base de Datos de Huracanes.....	20
5.3 Control de calidad y selección de estaciones climatológicas.....	21
5.3.1 Aplicación de pruebas de control de calidad.....	21
5.3.2 Identificación de estaciones con los registros históricos más extensos.....	23
5.4 Análisis del Índice PDO.....	26
5.4.1 Cálculo de la correlación de la PDO con los registros de precipitación.....	26
5.4.2 Proyección de la PDO utilizando escenarios de cambio climático.....	27
5.4.3 Probabilidad de impacto de Sistemas Tropicales y la Fase de la PDO.....	29
5.5 Escenarios de cambio climático.....	29
5.5.1 Análisis decadal de la Presión Atmosférica y la Temperatura Superficial del Mar.....	29
5.6 Índices de Cambio Climático.....	30
6. RESULTADOS.....	34
6.1 Evaluación de la influencia de la PDO en la precipitación registrada en Baja California Sur.....	34
6.2 Relación de la PDO con la incidencia de sistemas tropicales pasados y futuros.....	35
6.3 Proyección del índice PDO utilizando los escenarios de cambio climático.	35

6.4 Pronóstico de la precipitación acumulada anual en una estación climática utilizando como predictor la PDO.....	38
6.5 Proyección de patrones sinópticos de presión atmosférica y de temperatura superficial del mar utilizando los escenarios de cambio climático.	39
6.6 Detección del cambio en los patrones de lluvia y temperatura.....	42
6.7 Evaluación de la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.	50
6.8 Elaboración de una base de datos climática estatal con Control de Calidad.	53
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	55
8. CONCLUSIONES.....	57
9. BIBLIOGRAFIA.....	61
10. ANEXOS.....	64
10.1 Pronóstico de lluvia acumulada anual en Comondú.....	64
10.2 Tablas de correlación entre la PDO y precipitación.....	70
10.3 Tabla de frecuencia de sistemas tropicales.....	73
10.4 Tabla de Índices de Cambio Climático.....	74
10.5 Base de Datos Climática con control de calidad.....	95

RESUMEN

Debido a su ubicación geográfica y características orográficas, el clima de Baja California Sur está influenciado por el Océano Pacífico, el Golfo de California y modulaciones océano-atmósfera, tales como el Niño, la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) o la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO); así mismo, en verano es impactada por sistemas tropicales, mientras que en invierno por frentes fríos, escurrimientos de aire frío, tormentas invernales, etc.

Bajo este contexto se realizó este estudio, en el cual se evaluó la influencia regional de la PDO en los registros de lluvia de las estaciones climatológicas y su influencia en el impacto de sistemas tropicales en el estado, se incluyeron dentro del análisis los escenarios de cambio a fin de extraer el índice de la PDO al futuro, además, se calculó el cambio en los patrones de lluvia y temperatura a nivel diario de los registros termopluviométricos de las estaciones, así como de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos y el sistema al cual están asociados.

La metodología empleada en el análisis, incluye la elaboración de correlaciones entre la PDO observada y la lluvia registrada, análisis de componentes principales para la extracción de la PDO a partir de los escenarios de cambio climático, pruebas de control de calidad a los registros climáticos de las estaciones y el cálculo de estadísticas básicas a fin de identificar umbrales, anomalías, ranking de registros extremos y de índices de cambio climático.

Esta tesis, permitió obtener una base de datos climática estatal con control de calidad, de largo periodo e información completa; los análisis mostraron que la PDO tiene una influencia regional; se identificó que en promedio, durante la fase negativa de la PDO impactan 3 de cada 10 sistemas tropicales, mientras que en su fase positiva 2 de cada 10; se detectó un incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia extrema en los últimos 10 años, ya que, en esta última década, el número de eventos se ha cuadruplicado comparado con los registrados en la década de los 60's. El análisis de temperatura reveló que la anomalía estatal de temperatura máxima se ha mantenido positiva desde 1992 a 2014, además, se detectó un incremento significativo en la frecuencia de días cálidos, así como de la frecuencia de ondas de calor registradas.

1. INTRODUCCIÓN.

El Quinto Informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) dice rotundamente que el cambio climático es un hecho, ya que la mayoría de los cambios observados en el clima no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero por efecto antropogénico han aumentado, y cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850. Debido a la fuerte dependencia que hay entre el clima y las actividades humanas, cualquier cambio en el clima tendrá impactos (en su mayoría adversos) en todos los ámbitos de la sociedad y del medio ambiente.

Dado que el clima no es constante en las diversas escalas espaciales, los modelos de circulación general no son capaces de reproducir las condiciones climáticas en escalas temporales y espaciales más finas (por ejemplo un huracán no es detectable), es necesario desarrollar procesos que permitan analizar los cambios a nivel regional y local, de tal manera que los resultados sean herramientas útiles para comprender eficientemente la variabilidad y el cambio climático, y que dicho conocimiento pueda incorporarse en el diseño de acciones para mitigar los efectos del cambio climático a escalas regionales y locales.

Baja California Sur es una delgada y larga porción peninsular, influenciada en ambos lados costeros por el Océano Pacífico y el Golfo de California. Además, por su localización geográfica, el estado está bajo los efectos del Centro Semipermanente de Alta Presión del Pacífico y de la Corriente de California, que le confieren condiciones secas, de aridez y bajos niveles de lluvia. Sin embargo, durante el verano el estado es afectado por sistemas tropicales desarrollados en el Pacífico que generan masas de aire húmedo, las cuales, al cruzar el estado y por efecto de la orografía, generan precipitaciones de moderadas a intensas, es durante esta estación cuando se registra la máxima precipitación acumulada. En otoño e invierno, se observa un declive en sus temperaturas dado por el ingreso de sistemas invernales, tales como escurrimientos de aire frío, frentes fríos o tormentas invernales.

Bajo este contexto se realizó este estudio, en el cual se evaluó la influencia regional de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) en los registros de lluvia de las estaciones climatológicas y su influencia en el impacto de sistemas tropicales en el estado, se incluyeron dentro del análisis los escenarios de cambio a fin de extraer el índice de la PDO

al futuro, además, se calculó el cambio en los patrones de lluvia y temperatura a nivel diario de los registros termoplumiométricos de las estaciones, así como de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos y el sistema al cual están asociados.

Cabe hacer mención que esta tesis contribuyó a dos estudios, el primero es el proyecto “Evaluación de vulnerabilidad ante el Cambio Climático de los sistemas socioambientales tradicionales en los oasis de Baja California Sur” llevado a cabo por SEMARNAT-CONACYT”, que permitirá identificar y evaluar los efectos del cambio climático sobre la dinámica, resiliencia y vulnerabilidad de los sistemas socio-ambientales tradicionales en los oasis de Baja California Sur; el segundo proyecto es el Programa de Adaptación al Cambio Climático de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, cuya finalidad es conocer los diversos escenarios que pueden presentarse frente al cambio climático, con objeto de conocer cómo se comporta cada una de las regiones en este contexto, debido a la importancia de la zona, que es una de las más grandes del país y que presenta una gran diversidad de microclimas.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la influencia de la Oscilación Decadal del Pacífico en la precipitación e incidencia de Sistemas Tropicales en Baja California Sur bajo el efecto del Cambio Climático.

2. ANTECEDENTES

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) define el cambio climático como “un cambio en el clima que es atribuible directa o indirectamente a las actividades humanas, que altera la composición de la atmósfera planetaria y que se observa en períodos de tiempo comparables, en forma adicional a la variabilidad climática natural”, mientras que el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), lo define como “cualquier cambio en el clima producido durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana”.

El calentamiento global registrado durante las últimas décadas, es una de las evidencias de un cambio climático que está ocurriendo actualmente, cuyas causas han sido atribuidas a las actividades humanas, en particular al incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Es importante resaltar que hay diferencia entre los términos de detección de un cambio en el clima y el de la atribución del cambio.

Los cambios en el sistema climático a través del tiempo son influenciados por las variaciones en la dinámica interna del sistema, la cual es resultado de los procesos de interacción entre las diversas componentes del sistema climático (atmósfera, hidrósfera, criósfera, etc.), o bien a la presencia de forzamientos externos, los cuales son de origen natural (por ejemplo, las variaciones en la actividad solar o en la actividad volcánica) o de origen humano (como aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo, etc.). Cuando no existen forzamientos externos, los cambios del clima son influenciados por los procesos de la dinámica interna del sistema, por lo que estos cambios son asociados a procesos de interacción océano-atmósfera, como en el caso de la variabilidad climática asociada al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), o de las variaciones en períodos de décadas como las asociadas a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y a la Oscilación Multi-decadal del Atlántico (AMO).

En cuanto a la detección del cambio climático, es necesario demostrar en términos estadísticos, que el clima ha cambiado con algún nivel de significancia en un intervalo de tiempo determinado (Brunet et al., 2001), por lo que para detectar los cambios en el clima, se debe de identificar en un registro de variables climáticas (obtenido con instrumentos que monitorean el clima), los cambios que sean estadísticamente diferentes a las características del mismo registro en el pasado inmediato. De esta manera, se demuestra que existe evidencia

de cambios en el clima a través del tiempo, pero no se da explicación alguna sobre el origen de dichos cambios. Para la atribución del cambio climático, se requiere explicar y demostrar las causas de los cambios en el clima, éste radica en establecer con un nivel de confianza dado, el origen más probable de un cambio detectado en el clima. (Idag, 2005).

El calentamiento global detectado en la tendencia positiva de la temperatura media del planeta es uno de los indicadores de un cambio climático. En uno de sus informes de evaluación, el IPCC concluyó que “el calentamiento del sistema climático es inequívoco” (IPCC, 2013). Es importante destacar que se está hablando de la temperatura media global, lo que implica analizar áreas geográficas muy grandes, y que la incertidumbre asociada a escalas pequeñas no impide demostrar la señal planetaria de cambio climático, tal como se muestra en la figura 1.

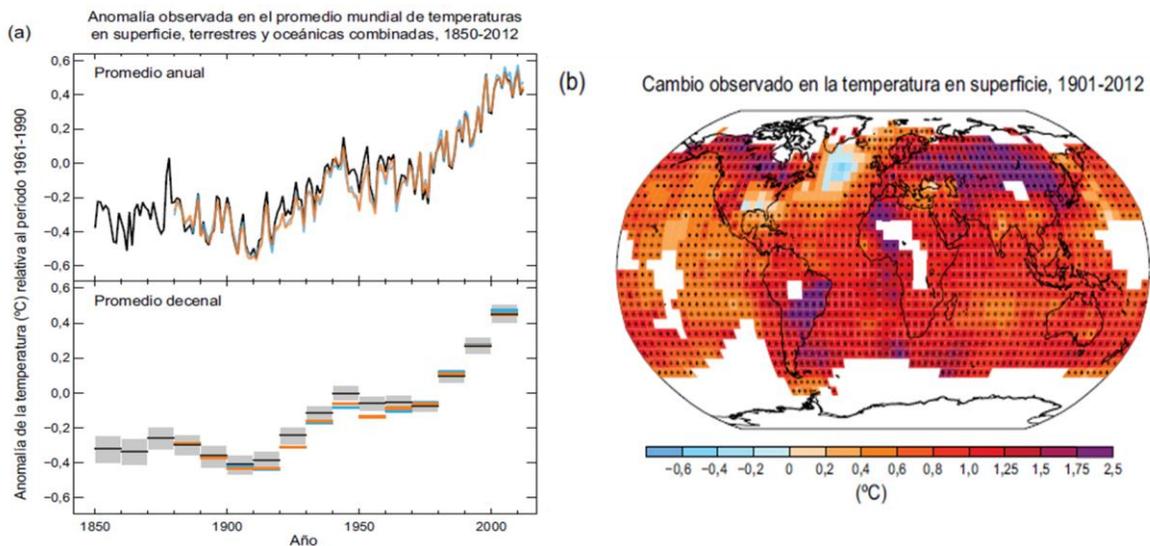


Figura 1. a) Anomalías observadas en el promedio mundial de temperaturas en superficie terrestre (línea marrón), oceánicas (línea azul) y combinadas (línea negra), desde 1850 hasta 2012, a partir de tres conjuntos de datos. Imagen superior: valores medios anuales. Imagen inferior: valores medios decenales, incluida la estimación de la incertidumbre para el conjunto de datos conjunto de datos (barras grises). Las anomalías son relativas a la media del período 1961-1990. b) Mapa de los cambios observados en la temperatura en superficie entre 1901 y 2012, derivado de las tendencias en la temperatura, determinadas por regresión lineal de un conjunto de datos (línea naranja en la imagen a)). Fuente: IPCC, 2013.

Los resultados del Quinto Informe del IPCC, indican que, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han

aumentado. Cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850. En el hemisferio norte, es probable que 1983-2012 fuera el período de 30 años más cálido de los últimos 1 400 años (nivel de confianza del 50%, IPCC 2014).

Las investigaciones han demostrado que el calentamiento global es debido al incremento en la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero causado por emisiones antropogénicas (Hegerl et al., 2007). Esta conclusión de atribución ha sido obtenida mediante modelos de la dinámica interna del sistema climático y comparando el clima modelado con el clima observado. El calentamiento observado recientemente únicamente coincide con los resultados de los modelos cuando en éstos se incluyen los forzamientos de origen humano además de los forzamientos naturales (figura 2).

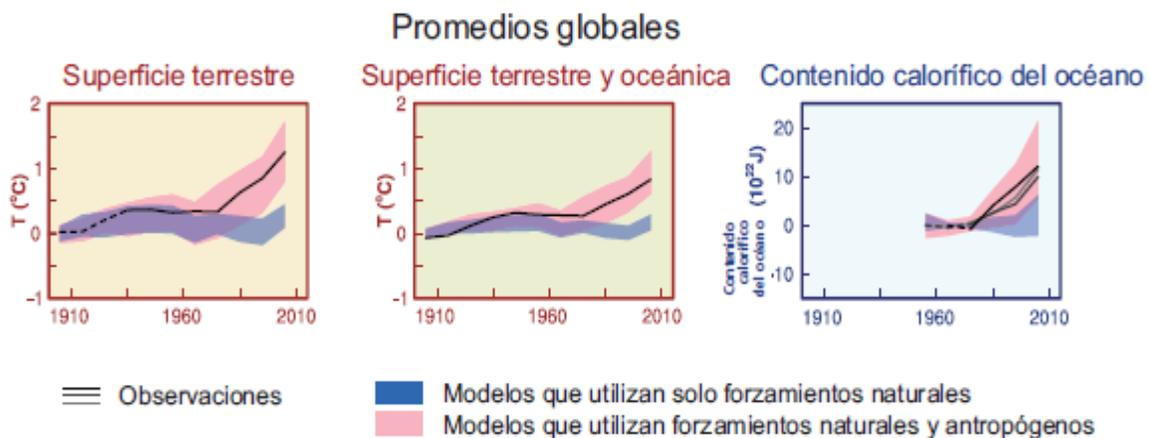


Figura 2. Promedios globales de los cambios de temperatura en superficie observados (línea negra) comparados con los obtenidos de modelos climáticos que incluyen forzamientos únicamente naturales (banda azul) o forzamientos naturales y de origen humano (banda rosa). Fuente: IPCC, 2013.

De acuerdo con el IPCC, un modelo de cambio climático es una representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que

aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO) acoplados, proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan interacciones químicas y biológicas. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación (para estudiar y simular el clima) y para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales (IPCC, 2014)

Los modelos que utilizan los forzamientos naturales y antropogénicos son los que mejor simulan los cambios en la temperatura, por lo cual la atribución al cambio climático es clara, por lo menos para la escala global, como se muestra en la figura 2. Sin embargo, cuando se decrementa la escala espacial y temporal, la atribución se vuelve compleja, de manera que hasta ahora es prácticamente imposible determinar si una tormenta o un fenómeno específico han ocurrido a causa del cambio climático. La atribución del cambio climático es posible en la escala global, pero es tema de frontera en las escalas regional y local. Es importante resaltar que **calentamiento global** no implica un calentamiento constante en todo el planeta, sino más bien, alteraciones en la dinámica del sistema climático, que a su vez causan cambios en el ciclo hidrológico y en los procesos que mantienen el balance energético del mundo, de tal modo, que como cambio climático se comprende cambios en la circulación general de la atmósfera, y, por lo tanto, variaciones en los sistemas meteorológicos y en la variabilidad climática.

La variabilidad climática se presenta en distintas escalas de tiempo. Por ejemplo, la **variabilidad interanual** (periodos de algunos años) ocurre cuando en algunos años se observan lluvias más intensas (o años más cálidos o fríos que otros años), en comparación con las que se presentan comúnmente según la perspectiva del observador. También se presenta variabilidad climática a escalas de tiempo menores, por ejemplo, variaciones dentro de la estación de lluvias, llamada **variación intraestacional**, la cual corresponde a la fluctuación del clima a escala mensual. La determinación del ciclo anual de los elementos climáticos, está asociada a la secuencia de las estaciones de invierno, primavera, verano y otoño en latitudes medias; y a la alternancia de temporadas lluviosas y temporadas secas en latitudes tropicales, producto, principalmente, de la migración de la zona intertropical de convergencia (ZITC), la cual es una de las más importantes fluctuaciones climáticas asociadas

a esta escala. La variabilidad interanual acopla las variaciones climatológicas que hacen presencia de año en año. Una de las oscilaciones dentro de este tipo de variabilidad es **El Niño Oscilación del Sur** (ENOS), fenómeno océano-atmosférico de escala planetaria que se presenta en el océano pacífico ecuatorial. Su desarrollo es tan irregular como sus consecuencias, pero definitivamente está ligado a la variabilidad del clima en el mediano plazo (Martínez J. y Fernández A., 2004). Los fenómenos asociados a las escalas temporales señaladas están caracterizados, a su vez, por fenómenos de tiempo atmosféricos de diferentes dimensiones espaciales y grados de intensidad que impactan de forma significativa el desarrollo de las actividades del ser humano en diferentes lugares o regiones donde son característicos. Forman parte de la fluctuación normal del clima y por si solos no constituyen (por muy extremos que sean) fundamento valido para hablar de cambio climático. Solo cuando las anomalías obedecen a una tendencia de largo plazo (30 años o más) y se modifican los patrones normales, se puede hablar en esos términos.

Las anomalías estacionales del clima están fuertemente influenciadas por la variabilidad en escalas de tiempo más largas. Actualmente, el Centro de Predicción Climática (CPC, por sus siglas en inglés) organismo perteneciente a la NOAA, ha identificado y monitorea las siguientes modulaciones, también llamadas teleconexiones: la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), la Este Atlántico (EA), Este Atlantico/Oeste de Rusia (EA/WP), Scandinavia (SCAND), Polar/Eurasia, Pacífico Oeste (WP), Pacífico Este – Pacífico Norte (EP-NP), Pacífico/Norteamérica (PNA), Trópico del Hemisferio Norte (TNH), Transición del Pacífico (PT), Oscilación del Artico (AO), Patrón del Pacífico-Norteamérica (PNA), Oscilación del Antartico (AAO), (Antarctic Oscillation), el Niño Oscilación del Sur (ENOS), Oscilación Madden-Julian (OMJ) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).

Las teleconexiones son unas de las causas internas más relevantes de la variación del sistema climático. (IPCC, 2007). Una teleconexión puede definirse como una interacción océano-atmósfera que se da en un punto terrestre distante y origina modos persistentes y recurrentes de variabilidad climática de baja frecuencia. (Kiladis y Diaz, 1989).

El termino PDO fue definido por Mantua et al. (1997) y ha sido descrito como una fluctuación de largo periodo en el Océano Pacífico (Trenberth 1990; Mantua y Hare, 2002). Sus efectos climáticos primarios se concentran en el Pacífico Norte y suroeste de Norteamérica.

Investigaciones previas (Zhang et al., 1997; Hare y Mantua, 2000), han observado una correspondencia entre eventos ENSO y respuestas climáticas de la PDO, siendo el ejemplo más claro el excepcional Niño del año 1998, donde cambios en la circulación atmosférica modificaron las anomalías de temperatura superficial del Océano Pacífico.

Méndez-González, et al. (2009) identificaron que la PDO se correlaciona positivamente con la precipitación, en particular durante el invierno boreal, lo que significa que su fase positiva favorece las lluvias, mientras que su fase negativa, genera sequías, especialmente en la Altiplanicie Mexicana y en el norte del país.

A nivel regional, para el noroeste de México, Raga et al. (2013) revelaron el coeficiente de correlación que existe entre las trayectorias reconstruidas de ciclones tropicales (que ingresaron a tierra) y las oscilaciones climáticas, y concluyen que la PDO tiene mayor influencia, contando con la correlación estadísticamente significativa más alta, incluso mayor que la del Niño3, NAO y SOI, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Correlación entre la serie anual reconstruida de huracanes que tocaron tierra e Índices Climáticos.

Period	Index	Correlation
1850-2010	NAO	0.22*
1866-2009	SOI	0.13**
1900-2010	PDO	0.31*
1856-2010	Niño3	0.22*

*Value significant at the 99% level.

**Value significant at the 90% level.

NAO: North Atlantic Oscillation; SOI: Southern Oscillation Index; PDO: Pacific Decadal Oscillation

El análisis en los registros del este del Pacífico Norte muestra el desarrollo de 579 ciclones tropicales durante el periodo 1969-2006, de los cuales aproximadamente el 10% impactó tierra en el noroeste de México. La mayoría de los impactos sucedieron a lo largo de las costas de Baja California Sur y Sinaloa. Así mismo, el análisis de la frecuencia temporal de incidencias indica que 28 trayectorias se desplazan a través de la Península de Baja California provenientes del sur y el 90% de estas trayectorias ocurren entre finales de agosto e inicio de octubre; 13 de éstas tienen un segundo impacto al norte de la Península o en el macizo continental; mientras que hacia finales de la temporada, se detectó que 27 ciclones tropicales

impactaron sobre México (sin tocar la península), tal como se muestra en la figura 3 (Farfán 2012).

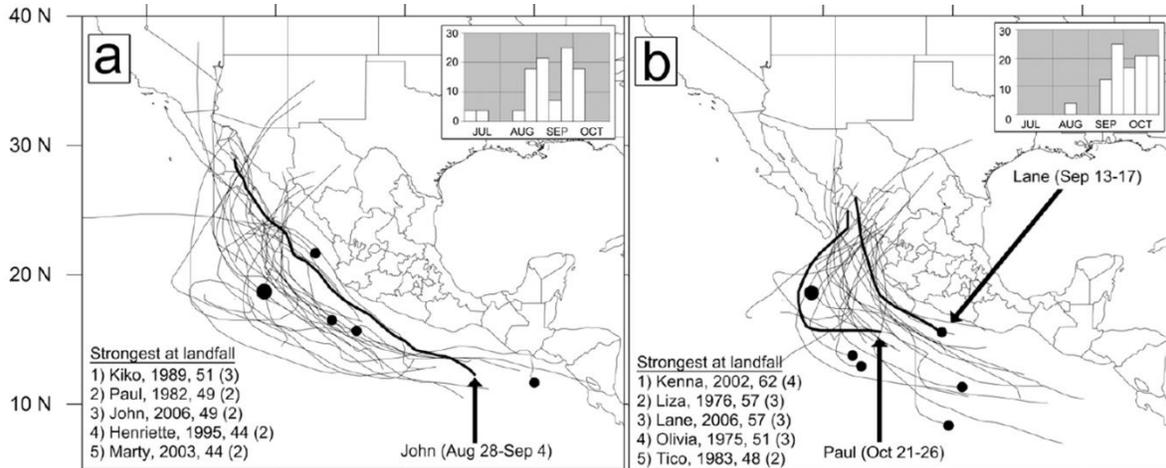


Figura 3. Trayectoria de ciclones tropicales que primero impactaron tierra en **a)** la Península de Baja California y **b)** continente. Fuente: Farfán, 2012.

De acuerdo a los registros de la base de datos climática de Baja California Sur, el mes con la mayor lámina de precipitación acumulada es septiembre, presentándose en este mes el mayor número de precipitaciones intensas, en su mayoría asociadas con el paso de un sistema tropical. Una de las consecuencias asociadas al calentamiento global, es la posibilidad de un incremento en los eventos extremos del tiempo y del clima, de acuerdo a estudios de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) en el año 2003 (OMM, 2003). Investigaciones posteriores sobre detección de cambios en extremos climáticos a escala global (Alexander et al., 2006) y de la región de Centroamérica (Aguilar et al., 2005) y Norteamérica (Peterson et al., 2008), han encontrado evidencia de cambios consistentes con el aumento de la temperatura del planeta: incremento en los eventos de temperaturas altas, disminución de eventos de temperaturas bajas e incremento en la lluvia intensa. Los eventos extremos son ocasionados por una amplia combinación de factores y también ocurren como parte del clima normal, es decir, aún en un clima sin modificaciones en su variabilidad, hay presencia de eventos extremos, por lo que la atribución de un extremo en particular es difícil de determinar.

La detección de cambios en los eventos extremos y su monitoreo es relevante, pues a diferencia de los eventos climáticos, que ocurren en períodos de tiempo largos (como en el

caso de las sequías), los eventos extremos ocurren en la escala de unos cuantos días y están asociados a sistemas atmosféricos regionales. La detección de los cambios en los extremos meteorológicos desde un punto de vista climático, requiere de observaciones en la escala diaria.

No hay una definición única que explique lo que es un evento extremo, sin embargo, puede concluirse que son eventos registrados en el comportamiento de una variable dada, que tienen baja probabilidad de ocurrencia y cuyo valor observado en dicha variable excede un umbral especificado, por ejemplo, para la identificación de extremos en la precipitación diaria. Nicholls y Murray (1999) sugieren al menos tres índices: a) la frecuencia de días que exceden los percentiles 90, 95 y 99, calculado con los días con lluvia; b) el 'índice simple de intensidad de lluvia' obtenido dividiendo la lluvia total entre el número de días con lluvia y c) el porcentaje de la lluvia en un periodo (año, estación, etc.) que ocurre en los días con lluvia por arriba de los percentiles 90, 95 y 99. El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI por sus siglas en inglés) coordinado por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (CCI/OMM), realizó el proyecto sobre Predecibilidad y Variabilidad Climática (CLIVAR), y la Comisión Técnica de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), donde se define 27 índices para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima. Este conjunto de índices permite integrar los índices de diferentes regiones a un cálculo válido internacionalmente (Karl et al., 1999; Peterson 2005).

Para el cálculo de los índices de cambio climático es requisito que las observaciones del clima, a partir de las cuales se calculen, sean de la mejor calidad. Esto implica que los datos diarios hayan sido sujetos a un estricto control de calidad y análisis de homogeneidad (Aguilar et al., 2003). Este aspecto es de gran importancia con respecto a los datos instrumentales del clima para el estudio del cambio climático, por lo que se requieren series de tiempo, a nivel diario, con mayor cantidad de información histórica disponible, pocos datos faltantes y cuya variación sea causada por efecto del clima y no por motivos externos.

El Control de Calidad, es un procedimiento necesario e imprescindible para el correcto análisis de las series climáticas y debe realizarse como paso previo a cualquier tipo de estudio, ya que permite identificar y eliminar errores que comprometan la veracidad de los registros, los cuales son ocasionados por causas diversas, frecuentemente relacionadas con errores de toma de lectura, digitalización, o manipulación de las bases de datos.

3. JUSTIFICACIÓN

El Quinto Informe del IPCC dice explícitamente que el cambio climático es un hecho, sus resultados indican que desde los 50's, la mayoría de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios: la atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado. Además, cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850.

Dada la fuerte dependencia que existe entre el clima y las actividades humanas, cualquier cambio climático tendrá impactos (en su mayoría adversos) en todos los ámbitos de la sociedad y de la naturaleza. Debido a que el clima cambia en distintas escalas espaciales, es necesario estudiar y analizar también los cambios en la escala regional, de tal manera que los resultados sean herramientas útiles para comprender eficientemente la variabilidad del clima y su cambio para que dicho conocimiento pueda incorporarse en el diseño de acciones climáticas regionales y locales.

En los últimos años, se han realizado estudios sobre la influencia que tienen las teleconexiones en México, los resultados han mostrado que la Oscilación Decadal del Pacífico tiene un impacto estadísticamente significativo en el clima del norte y noroeste del territorio nacional, incluso representa una influencia mayor que la del Niño. En contraste con el número de investigaciones realizadas sobre las variaciones interanuales y la influencia de las teleconexiones en el clima regional, con respecto a los cambios en los eventos extremos, solo relativamente pocos estudios fueron realizados, aunque se trata de unas de las mayores consecuencias esperadas por el calentamiento global.

Es importante destacar que los registros diarios deben ser sometidos a un proceso de Control de Calidad para asegurar el correcto análisis de las series climáticas dentro de los estudios del clima. El Control de Calidad debe realizarse como paso previo, pues permite identificar y eliminar errores que comprometan la veracidad de los registros, los cuales son ocasionados por causas diversas, frecuentemente relacionadas con errores de toma de lectura, digitalización, o manipulación de las bases de datos.

En Baja California Sur la precipitación presenta sus máximos acumulados en los meses de verano (específicamente en los meses de agosto y septiembre). Dicha lluvia puede ser ocasionada por cualquier tipo de sistema tropical (desde depresión hasta ciclón tropical). Bajo

este contexto es necesario analizar la influencia local de la PDO en los registros de cada estación climatológica, incluir dentro del análisis los escenarios de cambio climático y su influencia en las fases de la PDO y en el impacto de ciclones tropicales. Además es apremiante estudiar si ha habido un cambio en los patrones de lluvia y temperatura dentro los registros de las estaciones climáticas, así como en la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos y analizar a qué sistema se atribuyen.

Finalmente, el análisis permitirá, para una estación, pronosticar lluvias extremas esperadas en el futuro durante de la temporada de huracanes.

4. OBJETIVOS.

General: Evaluar la influencia de la Oscilación Decadal del Pacífico en la incidencia de Sistemas Tropicales en Baja California Sur bajo el efecto del Cambio Climático.

Específicos:

1. Evaluar la influencia de la PDO en la precipitación registrada en Baja California Sur.
2. Identificar la relación de la PDO con la incidencia de sistemas tropicales pasados y futuros
3. Proyectar el índice de la PDO utilizando los escenarios de cambio climático.
4. Pronosticar la precipitación acumulada anual en una estación climática utilizando como predictor la PDO obtenida de un escenario del cambio climático.
5. Identificar y analizar patrones sinópticos de presión atmosférica y de temperatura superficial del mar, proyectados en los escenarios de cambio climático
6. Detectar el cambio en los patrones de lluvia y temperatura.
7. Evaluar la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.
8. Elaborar una base de datos climática estatal con control de calidad a escala diaria con el máximo historial de información disponible.

5. METODOLOGÍA.

5.1 Descripción de la zona de estudio.

De acuerdo a la Síntesis Geográfica del Estado de Baja California Sur (INEGI, 1995), el estado está ubicado en el noroeste del país y ocupa la mitad sur de la Península de Baja California. Se localiza entre los 22° 52' 17" en Cabo Falso y los 28 ° 00 ' 00 "de latitud norte, y los 109 ° 24 ' 47 "al oriente del cerro Los Frailes y los 115 ° 04 ' 53 "de longitud oeste en Punta Eugenia, casi en su totalidad está rodeado por agua: al oriente colinda con el Golfo de California, al occidente con el Océano Pacífico y al sur con las aguas de ambos, mientras que solamente al norte limita con el estado de Baja California. Posee un litoral costero de 2,200 kilómetros y una superficie de 70,913.4 km², lo que representa el 3.64% del espacio total del país y que sitúa al estado en el doceavo lugar nacional en cuanto a extensión.

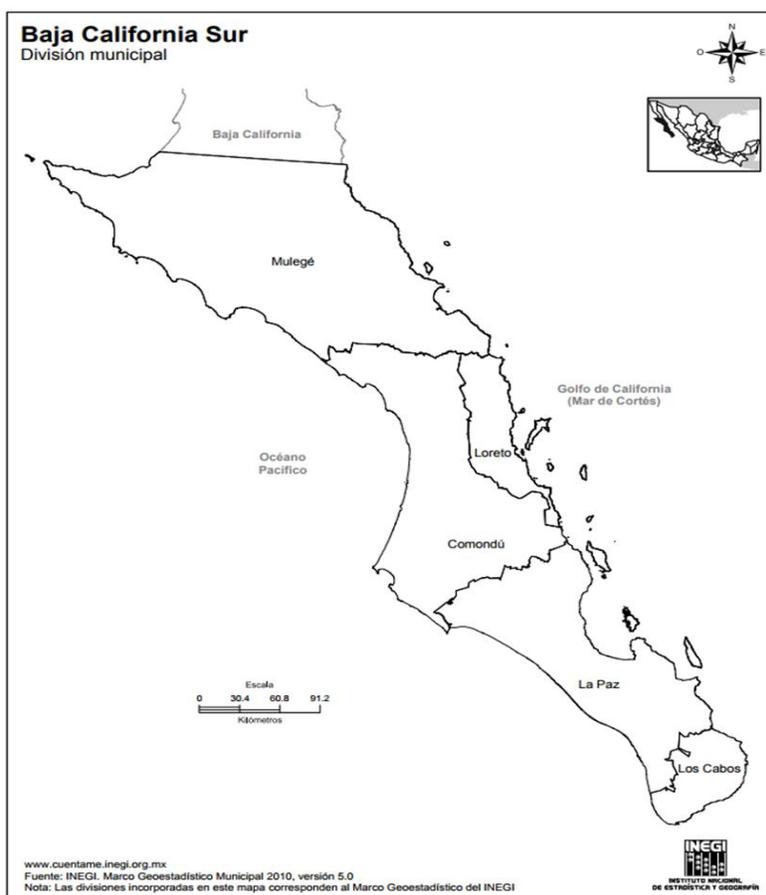


Figura 4. Mapa de Localización del Estado de Baja California Sur. Fuente: INEGI.

La vegetación en gran parte del territorio es de matorrales xerófilos (sarcocaula, sarcocrasicaule, sarcocrasicaule de neblina, desértico micrófilo y mezquital), y sólo en la discontinuidad Del Cabo crece la selva baja caducifolia y los bosques de encino y de pino-encino. En cuanto a suelos, la mayor cobertura es la de regosol (47.13%), que se distribuye tanto en llanuras como en sierras y es la que abunda en las discontinuidades Del Cabo y Desierto de San Sebastián Vizcaíno. El yermosol también cubre una extensión considerable (28%), sobre todo en los Llanos de la Magdalena, región en la que está situada la principal zona agrícola del estado.

Su población total en el año 2010 ascendía a los 637,026 habitantes, siendo uno de los estados con menor densidad demográfica, de acuerdo con el censo de población y vivienda del mismo año del INEGI. Más del 80% de sus habitantes se concentra en las principales ciudades: La Paz, con 215,178; San José del Cabo, 69,788; Cabo San Lucas, 68,463; Colonia del Sol, 48,032; Ciudad Constitución, 40,935; Las Palmas, 11,562; Las Veredas, 10,478; y Ciudad Insurgentes con 8,741 habitantes, mientras que el 20% restante de la población se localiza en pequeñas comunidades rurales (INEGI, 2010).

En cuanto al clima, en el estado predomina el clima Muy seco en el 91% del territorio, el clima Seco y semisecho presente en el 7% y el Templado subhúmedo cubriendo únicamente el 1% de la zona, específicamente en la región de la sierra de La Laguna. La temperatura media anual es 18 a 22°C. La temperatura promedio más alta (35°C) se presenta en los meses de julio y agosto, mientras la más baja (9°C) se registra en enero. En la ciudad de Loreto se han registrado temperaturas máximas extremas de 40°C en los meses de mayo a septiembre. Las lluvias son muy escasas y se presentan durante el verano, la precipitación total anual promedio en el estado es menor a 200 mm (INEGI, 2010).

Es importante resaltar que Baja California Sur es una prolongada y delgada franja peninsular, influenciada directamente por el Océano Pacífico en su litoral oeste y el Golfo de California en su costa este. A lo largo del estado se presentan sistemas montañosos importantes, en su mayoría de origen volcánico, como la Sierra de San Lorenzo y la Sierra de la Laguna en la zona sur, mientras que en la región norte, se encuentran la Sierra de Santa Lucía, la Sierra de las Vírgenes y la Sierra de la Giganta, y finalmente en la porción nororiental, se encuentra la Sierra de San Francisco, Santa Martha y San José. Todo el estado está bajo el efecto del Centro Semipermanente de Alta Presión del Pacífico y bajo el dominio de la Corriente de California, que le confiere condiciones secas de aridez y bajos niveles de lluvia. No obstante, durante el verano y el otoño, el estado es afectado por los sistemas tropicales, desarrollados

en el Golfo de Tehuantepec, que avanzan hacia el norte y generan masas de aire húmedo; al cruzar el estado y por efecto de la orografía descrita anteriormente, generan moderadas a intensas precipitaciones en el estado (CIB, 2013).

5.2 Descripción de las fuentes de información.

5.2.1 Estaciones Climatológicas Convencionales.

Una de las bases de datos que se utilizaron para la realización de este estudio, fue la de los registros diarios de las estaciones climatológicas convencionales del SMN, la cual se solicitó mediante un oficio y fue enviada a través de un FTP.

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM), una red de estaciones climática convencional cuenta con los siguientes instrumentos (OMM, 2011):

- Termómetros de máxima y mínima.
- Barómetros
- Psicrómetros
- Pluviómetro
- Heliógrafo
- Anemómetro y veleta
- Evaporímetro
- Higrotermógrafos.
- Termógrafos
- garita meteorológica

La base de datos climática de Baja California Sur, cuenta con 6,922,927 registros diarios (sin considerar los valores faltantes), está conformada por 161 estaciones, de las cuales 132 están operativas y 29 suspendidas, como se observa en la figura 5. El rango de altura en la que están posicionadas, varía desde los 2 hasta los 1,080 metros sobre el nivel medio del mar (ambas estaciones en el municipio de Mulege). La estación más antigua que aún opera es el observatorio de Santa Rosalía, desde el año 1921, mientras que la estación instalada más recientemente es El Ciruelito, colocada en la ciudad de La Paz en 2013. El mayor rango de

años con registros continuos es de 93, con el 91% de información disponible, perteneciente a la estación Mulegé.

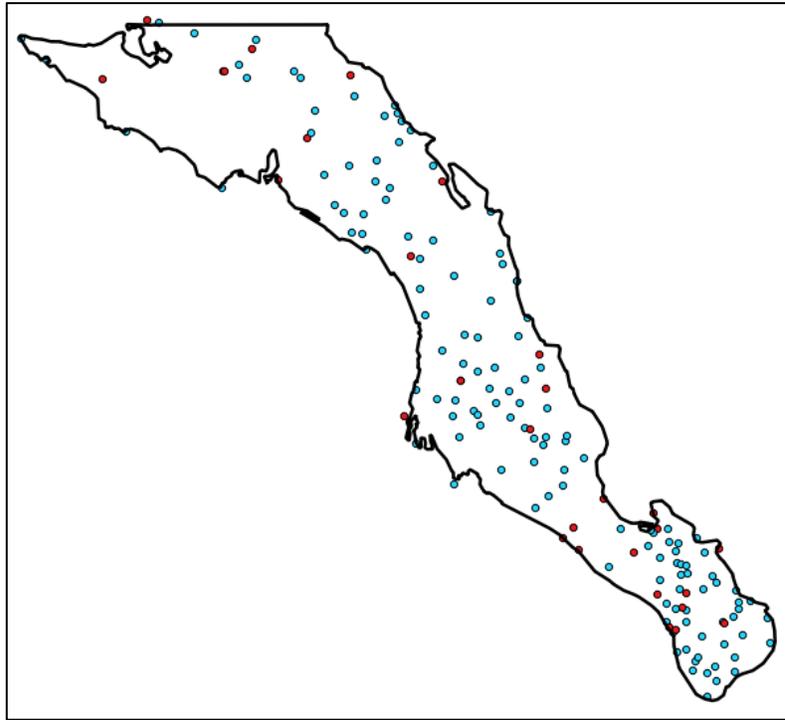


Figura 5. Localización de las estaciones climáticas que conforman la red climática estatal de Baja California Sur, el color azul indica las estaciones operativas y las rojas las suspendidas.

Las variables que se tienen digitalizadas en escala diaria dentro de la base de datos climática son:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura Máxima.
- Temperatura Mínima.
- Precipitación (acumulada en 24 horas).
- Evaporación.
- Días con tormenta.
- Días con granizo.
- Días con niebla.
- Cobertura nubosa.
- Días con helada.

Baja California Sur también cuenta con 5 observatorios meteorológicos, como se muestra en la tabla 2, los cuales además de tomar lectura a los instrumentos diariamente, hacen mediciones cada 3 horas y reportan cualquier fenómeno atmosférico importante.

Tabla 2. Observatorios meteorológicos en Baja California Sur.

Clave	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Altura (m)
3026	La Paz	La Paz	24.1166667	-110.316667	10
3046	Puerto Cortes	Comondú	24.4780556	-111.822222	10
3132	Ciudad Constitución	Comondú	25.0097222	-111.646667	48.3
3168	Loreto	Loreto	26.0166667	-111.347222	6.8
3169	Santa Rosalía	Mulege	27.2833333	-112.25	82

El Estado también posee una red de estaciones meteorológicas automáticas (EMAS), las cuales monitorean en tiempo real y guardan registros de las variables climáticas cada 5 minutos, dichas estaciones se encuentran localizadas como indica la tabla 3.

Tabla 3. Estaciones Meteorológicas Automáticas instaladas en Baja California Sur.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Fecha de instalación
Bahía de Loreto	26°00'35.1"	111°21'14.1"	25.184	13-dic-12
Cabo Pulmo	23°26'42.9"	109°25'28.4"	25.978	19-dic-12
Cabo San Lucas	22°52'52"	109°55'35"	224	26-abr-00
Gustavo Díaz Ordaz	27°38'36.6"	113°27'28.1"	83.5	18-may-15
San Juanico	26°15'27.1"	112°28'42.9"	36	28-dic-07
Sierra La Laguna	23°33'19.9"	109°59'55.3"	1949.07	24-dic-12
Todos Santos	23°26'47.6"	110°12'56.1"	48	29-abr-15

5.2.2 Índice PDO.

La información utilizada de la oscilación PDO fue obtenida del Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. La base de datos histórica fue descargada en el siguiente link: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>.

El índice de la PDO fue reconstruido utilizando la temperatura superficial del mar (SST) de la base de datos ERSST Versión 4 de la NOAA, está disponible a escala mensual y cuenta con registros desde enero de 1854 hasta la actualidad (en este caso, septiembre de 2017, mes en que se concluye esta tesis). La información está disponible en formato XML, CSV y JSON, y se pueden descargar de manera directa en el portal web.

5.2.3 Escenarios de Cambio Climático.

Para este estudio, una de las fuentes de información fue la base de datos de escenarios de cambio climático del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR, por sus siglas en inglés), el cual es un instituto no gubernamental de Estados Unidos. La página de donde es posible consultar la información y descargarla es: <https://gisclimatechange.ucar.edu/>, las características de los registros utilizados son los siguientes:

- Variables: precipitación, temperatura superficial y presión atmosférica a nivel del mar
- Meses: de julio a octubre.
- Periodo: de 1854 a 2099.
- Malla de 1.4 grados
- Formato: shapefile, y txt.
- Información global.
- Modelo: ensamble y todas las corridas que lo conforman.
- Escenario: Climate Change Commitment (CCC)

El escenario CCC se basa en 3 suposiciones: 1) el “compromiso de composición constante”, el cual denota el futuro incremento de la temperatura, el nivel del mar o de cualquier otro componente en el sistema climático, desde el tiempo de formación de la atmósfera, por lo que el forzamiento radiativo es constante; 2) el “compromiso de emisión constante”, el cual se

refiere a que los cambios futuros son el resultado de emisiones de gases de efecto invernadero constantes; y 3) el “compromiso de 0 emisiones”, el cual supone el cambio desde el momento en que las emisiones de gases de efecto invernadero sean cero.

Otra base de dato consultada, fue la del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP, por sus siglas en inglés), el cual reúne y revisa los modelos climáticos globales como parte de los Informes de Evaluación de Cambio Climático del IPCC. Dicho proyecto cuenta con dos versiones:

- CMIP3, es el conjunto de modelos para el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4) y fue publicado en 2010.
- CMIP5, es el conjunto modelo para el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5) y fue publicado en 2013.

La página de Internet del CMIP es: https://cmip.llnl.gov/cmip5/data_portal.html, donde se descargó la presión atmosférica reducida a nivel del mar, temperatura superficial y precipitación a escala mensual.

5.2.4 Base de Datos de Huracanes.

La base de datos de huracanes es de acceso libre y se encuentra disponible en el portal web del Centro Nacional de Huracanes (NHC, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, la dirección electrónica es: <http://www.nhc.noaa.gov/data/#hurdat>.

La información se encuentra en formato de texto, y cuenta con información de todas las trayectorias de los sistemas tropicales desarrollados en el este del océano Pacífico desde la temporada de 1949 a 2014, la información es presentada en columnas y cada una posee los siguientes datos:

- Nombre del sistema.
- Fecha y hora de localización de cada coordenada de trayectoria.
- Georreferencia de su localización cada 6 horas.
- Velocidad de viento.
- Presión atmosférica en el ojo.

5.3. Control de calidad y selección de estaciones climatológicas.

5.3.1 Aplicación de pruebas de control de calidad.

El control de calidad consiste en someter a las series de tiempo diarias de precipitación y temperatura máxima y mínima a pruebas estadísticas simples y a la inspección visual mediante gráficos, permitiendo detectar problemas de valores extremos registrados, de continuidad o inhomogeneidad en las estaciones. Previo a la aplicación de dichas pruebas, se seleccionaron las estaciones con mayor cantidad de información disponible (más del 85% de registros completos).

El software utilizado fue el Rclimdex y su funcionalidad de ExtraQC (extra Control de Calidad). Éste programa fue desarrollado por personal del Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC, por sus siglas en inglés) de la NOAA, y ha sido usado en talleres CCI/CLIVAR sobre índices de cambio climático desde 2001. El programa es de libre acceso y está disponible junto con su manual de usuario dentro del portal: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

Las pruebas que el programa realiza a las series diarias de temperatura y precipitación son:

- Detección de precipitación negativa
- Temperaturas máximas y mínimas intercambiadas por error de captura.
- Elaboración de box-plot de las series para facilitar la inspección visual y detección de outliers (registros por arriba o debajo de lo normal).
- Temperatura > 50 °C
- Precipitación > 200 mm.
- Excedencias sobre el tercer cuartil + 3 (5) veces el rango intercuartílico de la distribución térmica (pluviométrica) o los que no alcanzan el primer cuartil – 3 veces el rango intercuartílico (5 en precipitación)
- Precisión de la observación o prueba de redondeo.
- Fechas duplicadas
- Diferencias interdiarias superiores a 20 °C para las variables de temperatura
- Rachas consecutivas de cuatro o más valores idénticos

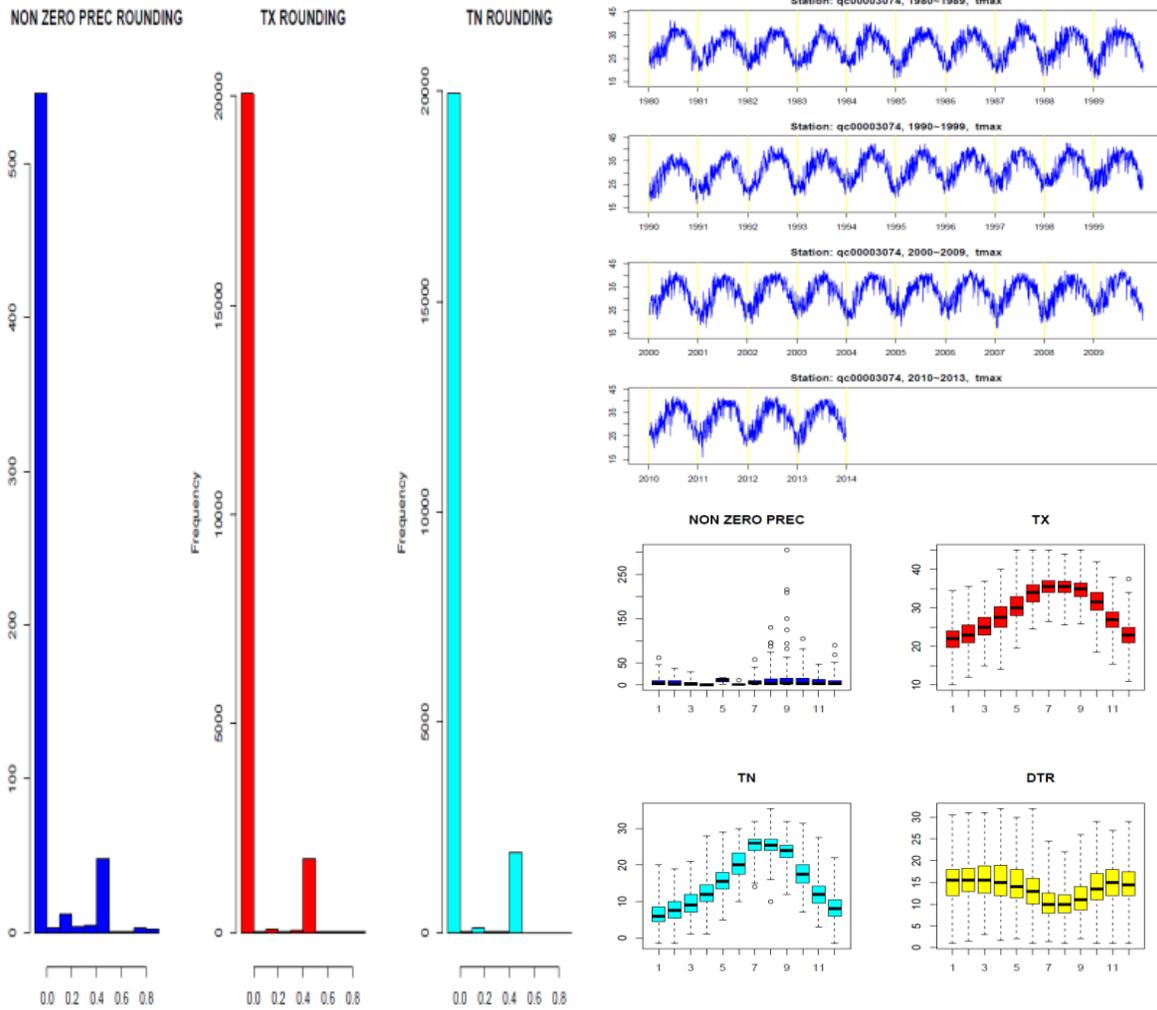


Figura 6. Ejemplo de gráficas elaboradas por el programa de control de calidad: La del lado izquierdo es referente a la prueba de redondeo (frecuencia de uso de cada decimal dentro del registro), las barras azules corresponden a precipitación, las rojas a la temperatura máxima y las color turquesa a la temperatura mínima. La primer gráfica del lado derecho es la marcha diaria de la temperatura máxima. Las gráficas de caja al inferior muestran los outliers detectados para cada variable (azules para precipitación, rojo para temperatura máxima, turquesa para temperatura mínima y amarillo para la oscilación térmica diaria).

Cuando el programa identifica un outlier, el registro es catalogado como sospechoso, por lo que requiere de una revisión a profundidad. El primer paso para validarlo, es consultar con la hoja de registro en papel, si se cuenta con tal información el dato era validado directamente, en caso de no contar con la hoja de registro, se procedió a revisar boletines meteorológicos, emitidos en la fecha del registro, para comprobar si se presentó algún sistema meteorológico importante, tal como un huracán, en esta fecha; así mismo, se comparó la información con 5 estaciones vecinas dentro de la misma región climática, para identificar valores y tendencia de

la variable, finalmente se logró corroborar con información sinóptica de reanálisis, que proporciona la situación meteorológica de la región.

Una vez que los registros sospechosos fueron revisados y validados, se procedió a la selección de estaciones con las que se elaboraron los análisis en este estudio.

5.3.2 Identificación de estaciones con los registros históricos más extensos.

Para fines de este estudio, se identificaron aquellas estaciones con la mayor cantidad de información disponible. Otro criterio fue la distribución de la información debe de ser lo más completa posible desde nivel mensual hasta todo el periodo de registro, es decir, debe tener más del 80 % de datos diarios en el mes, más del 85% de meses completos en el año y más del 85% de años completos en el periodo utilizado, la figura 7 muestra la disponibilidad de información para las 164 estaciones que conforman la red climática de Baja California Sur.

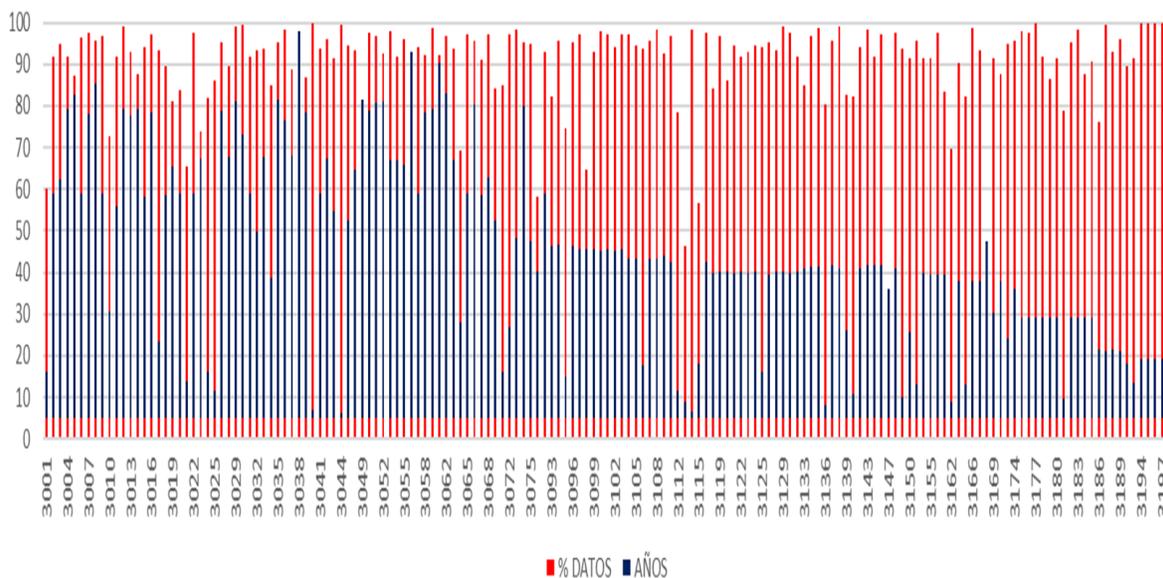


Figura 7. Disponibilidad de información por estación climatológica, en color azul el número de años con registros, y en rojo el porcentaje de información completa en su registro histórico.

Las variables que se analizaron en este estudio son: temperatura máxima, temperatura mínima y lluvia acumulada en 24 horas. Con la finalidad de utilizar información climática representativa a nivel regional, se aplicaron los siguientes filtros a cada estación y a cada de las series históricas de las variables:

- Registros completos:
 - 80 % de datos diarios al mes
 - 80 % de meses al año
 - 80 % de años en el periodo (1931 – 2014)
- Control de calidad previo al uso.
- Coherencia espacial (registros consistentes con el tipo de clima y altura).
- Coherencia temporal (registros históricos consistentes: estacionalidad, unidades de medida, variable bien ubicada, etc.).
- altura de las estaciones igual o menor a los 500 m (reducción del efecto de la orografía).

De las 164 estaciones que conforman la red climática en BCS, se seleccionaron 23 que cumplen con los criterios mencionados anteriormente (ver tabla 4). Esta selección da como resultado una base de datos climática robusta y representativa para cada región, ya que cuenta con la mayor cantidad de información histórica a nivel diario, mensual y anual, escalas imprescindibles a usar en este estudio. La localización geográfica de las estaciones se muestra en la figura 8.

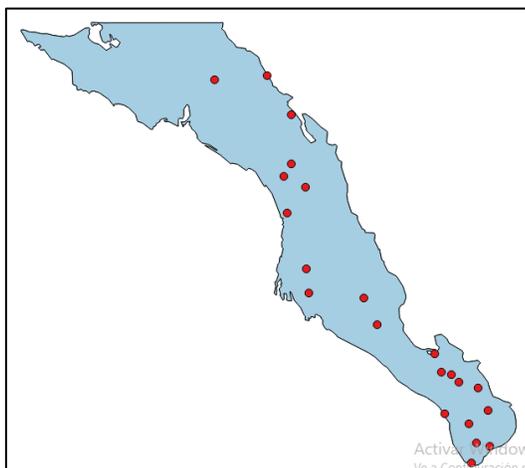


Figura 8. Las 22 estaciones climáticas en BCS que fueron seleccionadas para la generación de una base de datos climática robusta y representativa para cada región.

Tabla 4. Listado de estaciones seleccionadas

ID	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Total de años	Porcentaje de información
3004	Buenavista De Loreto	Comondú	25.12083333	-111.8133333	74.3	92
3005	Cabo San Lucas	Los Cabos	22.88194444	-109.9125	77.6	87.4
3007	Caduaño	Los Cabos	23.33194444	-109.9472222	72.9	97.5
3008	Comondú	Comondú	26.05833333	-111.825	80.2	95.7
3012	El Paso De Iritu	La Paz	24.77972222	-111.15	74.1	99
3013	El Pilar	La Paz	24.46972222	-111.0016667	72.8	92.9
3014	El Molino	Comondú	24.84027778	-111.7833333	74.3	87.8
3027	La Poza Grande	Comondú	25.76111111	-112.0375	74	95.1
3029	La Purísima	Comondú	26.18194444	-112.0777778	76.3	99
3036	Los Divisaderos	La Paz	23.89305556	-110.1430556	71.4	98.2
3038	Mulege	Mulege	26.88888889	-111.9844444	93	91.8
3039	Ojo De Agua	Comondú	26.32416667	-111.9847222	73.5	87
3049	San Antonio Sur	La Paz	23.80694444	-110.0583333	76.6	80.7
3050	San Bartolo	La Paz	23.74166667	-109.8402778	74	97.6
3051	San Felipe	Los Cabos	23.10833333	-109.8541667	75.9	96.7
3052	San Ignacio	Mulege	27.29861111	-112.875	76.1	92.5
3056	San José Del Cabo	Los Cabos	23.06944444	-109.7069444	88.1	85.7
3058	San Pedro	La Paz	23.925	-110.2638889	73.6	92.3
3061	Santa Rosalia	Mulege	27.33888889	-112.2697222	85.2	92.3
3062	Santiago	Los Cabos	23.48222222	-109.7183333	78	96.9
3066	Todos Santos	La Paz	23.44861111	-110.2233333	75.2	95.7
3074	La Paz	La Paz	24.13472222	-110.3361111	75	95.2

Posterior al análisis de disponibilidad y representatividad de la información, así como del clima, se extrajeron los datos para los meses de julio, agosto, septiembre y octubre y se calcularon los acumulados de lluvia y promedios de temperatura respectivos.

Finalmente, la información climática con la que se trabajó cuenta con las siguientes características:

- Base de datos de 22 estaciones climáticas.

- Variables: Temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación acumulada en 24 horas.
- Escala temporal: datos diarios y mensuales.
- Altura menor o igual a 500 m (evitar el efecto de la orografía)
- Coherencia espacial y temporal (representatividad)
- Cubrimiento de 83 años de información.

5.4 Análisis del Índice PDO.

5.4.1 Cálculo de la correlación de la PDO con los registros de precipitación.

Para el análisis de correlación con los registros de lluvia de las estaciones climáticas con la PDO, se utilizó el periodo 1931 – 2014, los meses se definieron tomando en cuenta lo siguiente:

- Más del 70% de la lluvia acumulada anual se registra en los meses de verano, específicamente en septiembre.
- La PDO tiene una influencia regional y en ciclos de tiempo largo
- De acuerdo a la dinámica atmosférica y a los patrones de lluvia, se definieron tres periodos de análisis: julio-agosto-septiembre, agosto-septiembre y octubre (JAS, AS y OCT, respectivamente).

Para determinar el grado de asociación entre la precipitación y la PDO se utilizó la correlación de Spearman, la cual es una prueba no paramétrica que mide la asociación entre dos variables discretas, la cual está definida por:

$$\rho = 1 - \left(\frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)} \right)$$

Donde: D es la diferencia entre los valores correspondientes de x – y, N es el número de parejas. Para N>20 sigue una aproximación a la distribución t de Student:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}}$$

Se utilizaron las series de precipitación normalizadas, ya que dentro de su procedimiento de análisis, Hare y Mantua (2000) muestran que, dentro de los estudios climatológicos, es una de las técnicas de corrección de datos más comunes.

Para normalizar los valores de la precipitación, se utilizó la siguiente fórmula:

$$PRECnormalizada = \frac{PRECObservada - PRECpromedio}{PRECdesviación\ standard}$$

La correlación entre la lluvia observada y la PDO se llevó a cabo de acuerdo a los siguientes pasos:

- Elaborar los acumulados de lluvia para cada periodo y cada estación climática.
- Normalizar los acumulados de precipitación
- Obtener los promedios de PDO para cada periodo.
- Correlacionar cada serie de lluvia con PDO.
- Elaborar una interpolación con el método inverso a la distancia al cuadrado de las correlaciones.
- Elaboración de mapas de cada periodo para representar las correlaciones.

5.4.2 Proyección de la PDO utilizando escenarios de cambio climático.

Para la proyección de la PDO, se utilizaron de los escenarios de cambio climático en el periodo 1850 al 2099. La metodología utilizada para la obtención del índice, fue la descrita por Mantua (1997), la cual, básicamente consiste en extraer el primer componente principal de la SST en el océano pacífico en el dominio de los 20°N hacia los polos. Se analizaron los datos históricos de 1850 a 2016 para validar la habilidad y los proyectados a 2099 de los escenarios de cambio climático del IPCC.

De acuerdo con Wilks (2006), una de las técnicas más utilizadas dentro del campo de las Ciencias Atmosféricas es el Análisis de Componentes Principales, también conocidas como Funciones Empíricas Ortogonales. Es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Técnicamente, dicho análisis busca una proyección en la que los datos puedan ser mejor representados en términos de mínimos cuadrados, por lo que convierte un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal llamadas *componentes principales*.

Para identificar el modelo que mejor representara la PDO, se utilizaron la información histórica del índice y la base de datos histórica de los escenarios de cambio climático de la variable SST, dentro del periodo 1850 a 2016, el procedimiento fue el siguiente:

- Normalización de la información en malla de las SST para cada modelo.
- Extracción del primer componente principal de las SST.
- Comparación de las correlaciones de cada componente principal con el registro histórico de la PDO para cada periodo.
- Identificación y selección de la componente principal con mejor correlación: el Ensamble.

Para la extracción de la PDO proyectada a 2099 a través de los escenarios de cambio climático, se le realizaron las siguientes adecuaciones:

- Eliminar los datos continentales de la malla de temperatura superficial.
- Acotación al dominio de la PDO, se consideró únicamente los registros de la malla dentro del Océano Pacífico ubicados por arriba de los de los 20°N.
- Cálculo de promedios para cada periodo: JAS, AS y OCT.
- Normalización de los datos.

Finalmente, después de contar con la PDO observada y proyectada para cada periodo, se llevó a cabo un estudio espectral, mediante la “descomposición” de cada serie en modulaciones menores a través de un análisis de Fourier.

Las series de Fourier se utilizan para descomponer una función, señal u onda periódica como suma infinita o finita de funciones, señales u ondas armónicas o sinusoidales; es decir, una

serie de Fourier es un tipo de serie trigonométrica (González, 1997). Dicho análisis se elaboró para cada par de serie (proyectada y observada) de PDO en los periodos analizados, a fin de detectar fluctuaciones, similitudes e identificar cuál es el comportamiento y en qué tiempo se encuentra la mayor influencia de cada serie de PDO.

5.4.3 Probabilidad de impacto de Sistemas Tropicales y la Fase de la PDO.

Para realizar el conteo del número de sistemas tropicales que han impactado Baja California Sur desde 1949, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Proyectar la base de datos de huracanes utilizando un sistema de información geográfica (en este estudio, el programa utilizado fue Quantum GIS).
- Proyectar el estado de Baja California Sur.
- Conteo de todos los sistemas desarrollados desde 1949 a 2014.
- Extracción y conteo de las trayectorias de los sistemas que tocaron el litoral costero del Estado.

Una vez cuantificado el número total de sistemas tropicales desarrollados y cuáles de estos impactaron el Estado, se identificó la fase de la PDO presente durante la existencia de cada fenómeno (desde su inicio hasta su degradación). Posteriormente se realizó el cálculo de la probabilidad de impacto, dividiendo el número de impactos entre el total de sistemas formados para cada periodo JAS, AS y el mes de octubre.

5.5 Escenarios de cambio climático.

5.5.1 Análisis decadal de la Presión Atmosférica y la Temperatura Superficial del Mar.

Para el análisis, interpolación y mapeo de los patrones sinópticos de SST y de presión a nivel del mar proyectados al 2099, se llevaron a cabo estos pasos:

- Cálculo de periodo base: 1961-2005.

- Cálculo de promedios por década:
 - Del año 2005 al 2015, se le denominó 2010
 - Del año 2015 al 2025, se le denominó 2020
 - Del año 2025 al 2035, se le denominó 2030
 - Del año 2035 al 2045, se le denominó 2040
 - Del año 2045 al 2055, se le denominó 2050
 - Del año 2055 al 2065, se le denominó 2060
 - Del año 2065 al 2075, se le denominó 2070
 - Del año 2075 al 2085, se le denominó 2080
 - Del año 2085 al 2095, se le denominó 2090
- Cálculo de anomalías para cada década: resta del promedio decadal menos el periodo base.
- Selección del dominio: 13°N a 38°N, -135°W a 66°W
- Mapeo de variables utilizando el método IDW

Para verificar si los modelos climáticos globales reflejaban el comportamiento regional de cada variable, se revisó su comportamiento a través de una inspección visual comparativa de registros observados y los modelados, ambos en el periodo 2005 a 2015.

5.6 Índices de Cambio Climático.

Como se explicó en la sección de Antecedentes, el ETCCDI, coordinado por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (CCI/OMM), el proyecto sobre Predecibilidad y Variabilidad Climática (CLIVAR), y la Comisión Técnica de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), ha formulado 27 índices para detectar los cambios en los patrones de los extremos del clima. El software que los calcula, es el mismo con el que se realizó el control de calidad, el Rclimdex.

A continuación, en la tabla 5 se enlistan y definen los 27 índices básicos del ETCCDI de acuerdo con el Manual del Usuario de Rclimdex:

Tabla 5. Definición de los Índices de Cambio Climático.

<u>ID</u>	<u>Nombre del Indicador</u>	<u>Definición</u>	<u>Unidad</u>
FD0	Días de heladas	Número de días en un año cuando TNmínimo diario<0°C	Días
SU25	Días de verano	Número de días en un año cuando TXmáximo diario>25°C	Días
ID0	Días de hielo	Número de días en un año cuando TXmáximo diario<0°C	Días
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año cuando TNmínimo diario>20°C	Días
GSL	Duración de la estación de cultivo	Anual 1st Ene a 31st Dic en HN, 1st Julio a 30th Junio en HS cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 Enero 1 en HS de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	Días
TX10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	Días
TN90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	Días
TX90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	Días
WSDI	Indicador de la duración de periodos calientes	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	indicador de la duración de periodos fríos	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm

ID	Nombre del Indicador	Definición	Unidad
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos definidos por $PRCP \geq 1.0$ mm en un año	mm/día
R10	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que $PRCP \geq 10$ mm	Días
R20	Número de días con precipitación muy intensa	Número de días en un año en que $PRCP \geq 20$ mm	Días
Rnn	Número de días sobre nn mm	Número de días en un año en que $PRCP \geq nn$ mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR < 1$ mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1$ mm	Días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que $RR > 95$ percentil	mm
R99p	Días extremadamente secos	Precipitación anual total en que $RR > 99$ percentil	mm
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos $RR \geq 1$ mm	mm

Para este estudio, los índices que fueron analizados fueron: TXx, TNx, DTR, TX90p, TNN, WSDI, RX1day, R95p, PRCPTOT y CDD, debido a que son representativos en los cambios en los patrones de lluvia y temperatura, adicionalmente de que no todos los índices aplican para la zona de estudio (días de nieve, hielo, etc.).

A cada serie de tiempo de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima de cada estación, se le realizó el cálculo de los valores de sus percentiles 66 y 33, además de la obtención del periodo climático base, el cual fue 1961 a 1900, esto con la finalidad de ingresar

los valores de referencia dentro del programa Rclimindex para el cálculo de los índices de cada estación; los índices son representados por medio de gráficas, como se muestra en la figura 9.

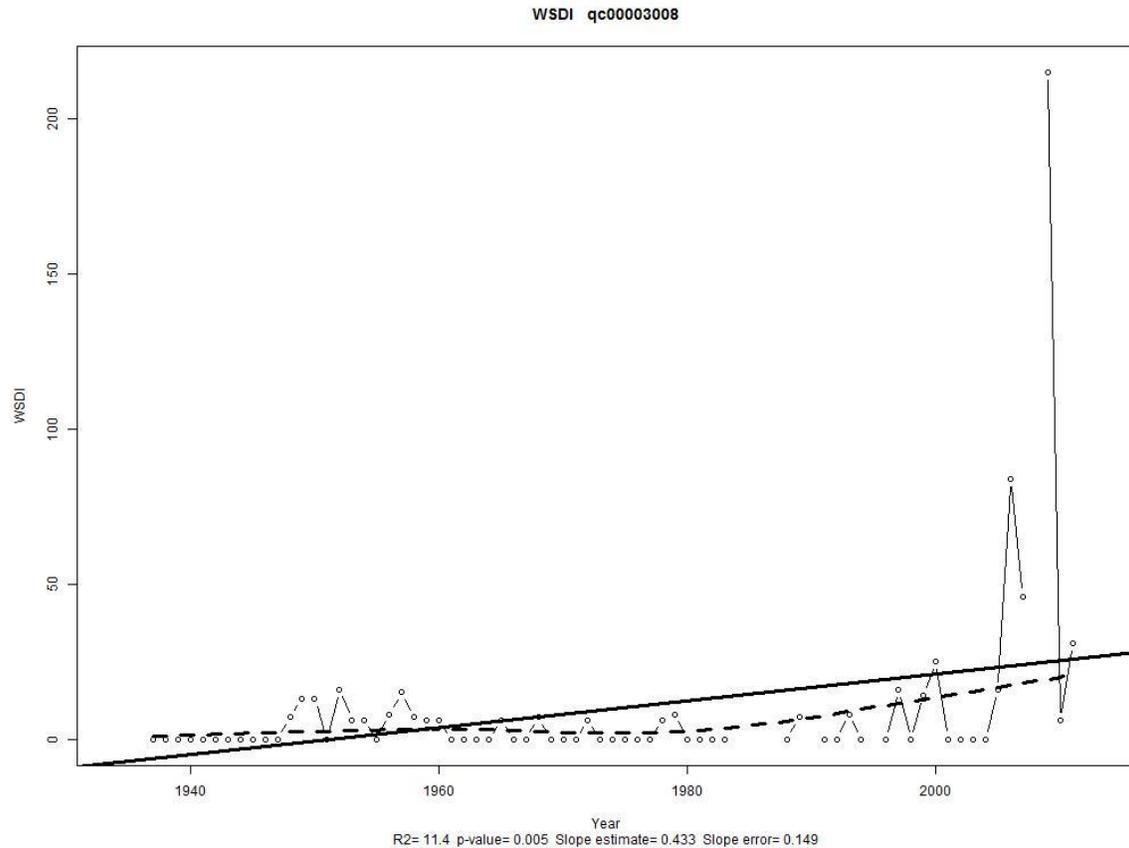


Figura 9. Ejemplo del índice “Ondas de calor” de la estación Comondú. La línea discontinua representa la frecuencia de periodos cálidos por año, la línea punteada es su media móvil y la línea continua es la tendencia.

Una vez calculados los índices, se identifica si la tendencia es estadísticamente significativa, además de analizar si es positiva (incremento de eventos) o negativa (decremento de eventos). Dicha información se muestra a través de mapas en la sección de Resultados.

6. RESULTADOS.

6.1 Evaluación de la influencia de la PDO en la precipitación registrada en Baja California Sur.

De acuerdo con los análisis para dar cumplimiento con el primer objetivo específico, se identificó que la correlación fue positiva para los periodos JAS y AS, mientras que, para el mes de octubre, se presentan condiciones positivas del centro hacia el norte del estado y negativas del centro hacia el sur. El octubre es un mes de transición y es influenciado también por sistemas invernales (escurrimientos de aire frío, frentes fríos, etc.) y otros factores regionales. El valor de correlación promedio entre las estaciones es de 0.3 y es estadísticamente significativo en su mayoría, tal como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Correlación entre la PDO y la lluvia acumulada mensual. Los puntos representan las estaciones climatológicas, las de color negro corresponden a estaciones con correlación estadísticamente significativa, mientras que las de color blanco no. El verde indica valores de correlación positivos y el café es correlación negativa.

6.2 Relación de la PDO con la incidencia de sistemas tropicales pasados y futuros.

El cumplimiento del segundo objetivo específico, permitió identificar la probabilidad de que el estado de Baja California Sur sea impactado por un sistema tropical (desde depresión hasta ciclón tropical) es de 2 sistemas por cada 10 que se formen para los periodos JAS y AS, y de 3 de cada 10 para el mes de octubre. Para el caso de las fases de la PDO, el mayor número de impactos se dan cuando el índice se encuentra en su fase negativa. En promedio para el periodo de julio a octubre, impactan 3 sistemas tropicales de los 10 que se forman, mientras que en su fase negativa, impactan 2 de 10.

Aunque la probabilidad de impacto es mayor en la fase negativa de la PDO, los datos muestran que es en su fase positiva cuando se tiene la mayor formación de sistemas tropicales intensos, por ejemplo, el Huracán Liza, que se desarrolló a finales de septiembre e inicios de octubre de 1976 con el índice en fase positiva desde julio del mismo año, esto como resultado del calentamiento de la temperatura superficial del mar, que permite que haya mayor energía para el desarrollo y fortalecimiento de los huracanes.

6.3 Proyección del índice PDO utilizando los escenarios de cambio climático.

A fin de dar cumplimiento al tercer objetivo específico planteado en este estudio, se realizó la proyección de la PDO desde 1850 hasta el año 2099 para cada periodo analizado, tal como se muestra en la figura 11.

La “descomposición” de cada serie en modulaciones menores a través de un análisis de Fourier, mostró que las series de la fase de PDO obtenidas a partir de los escenarios de cambio climático tienen un comportamiento similar con los datos históricos del índice, debido a que en ambos casos, éstas tienen mayor energía (o potencia) en los periodos entre los 15 y 23 años, tal como se muestra en la figura 12.

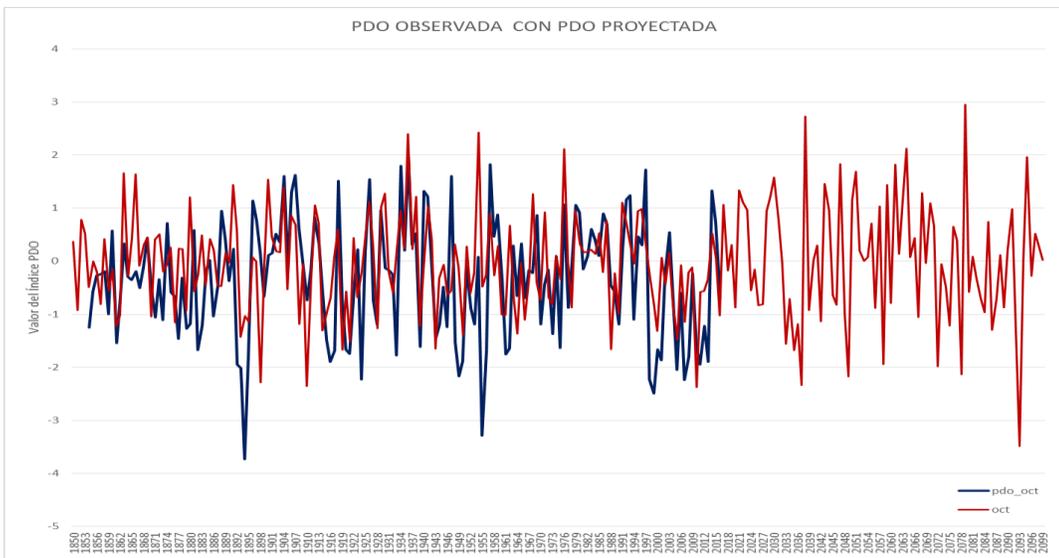
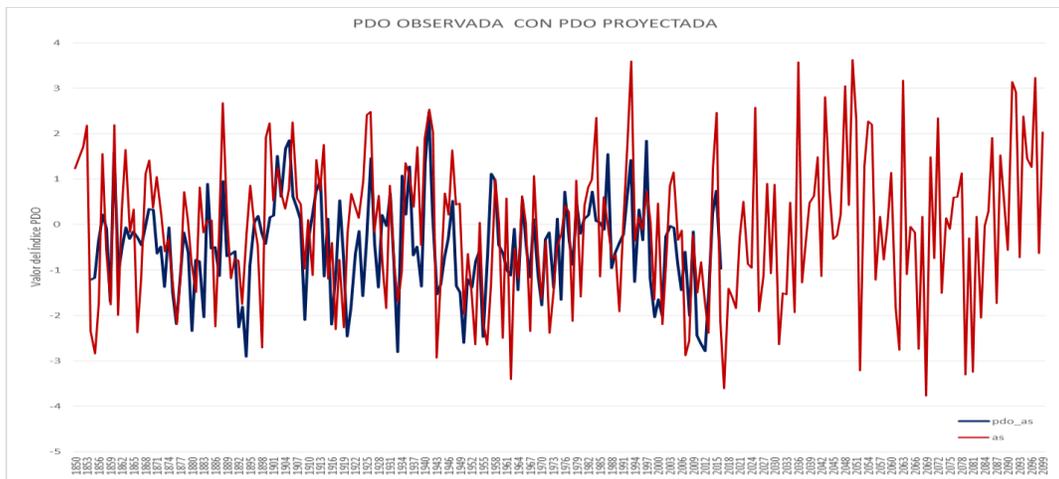
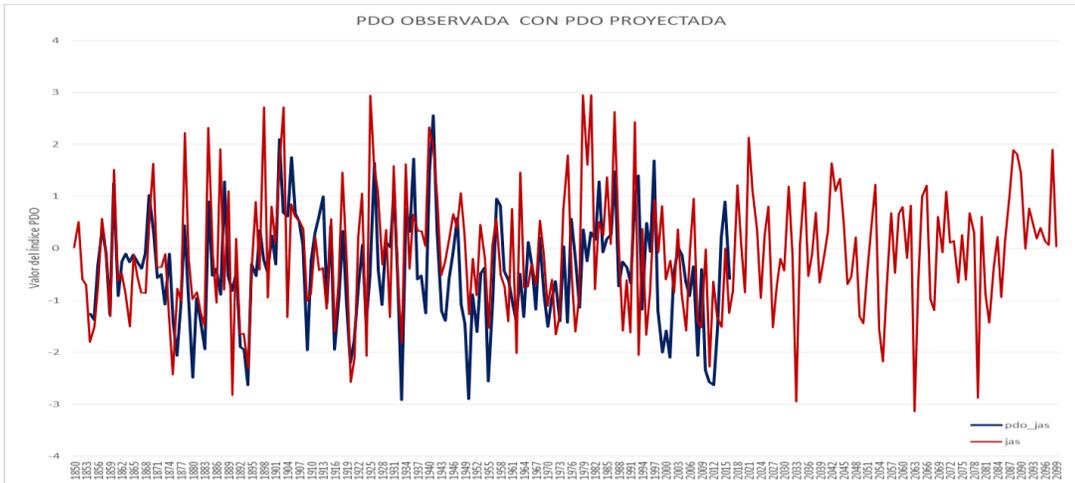


Figura 11. Fase PDO observada de 1850 a 2017 (línea azul) y proyectada (línea roja) a 2099. La primera gráfica es del periodo JAS, la segunda es AS y la tercera del mes de octubre.

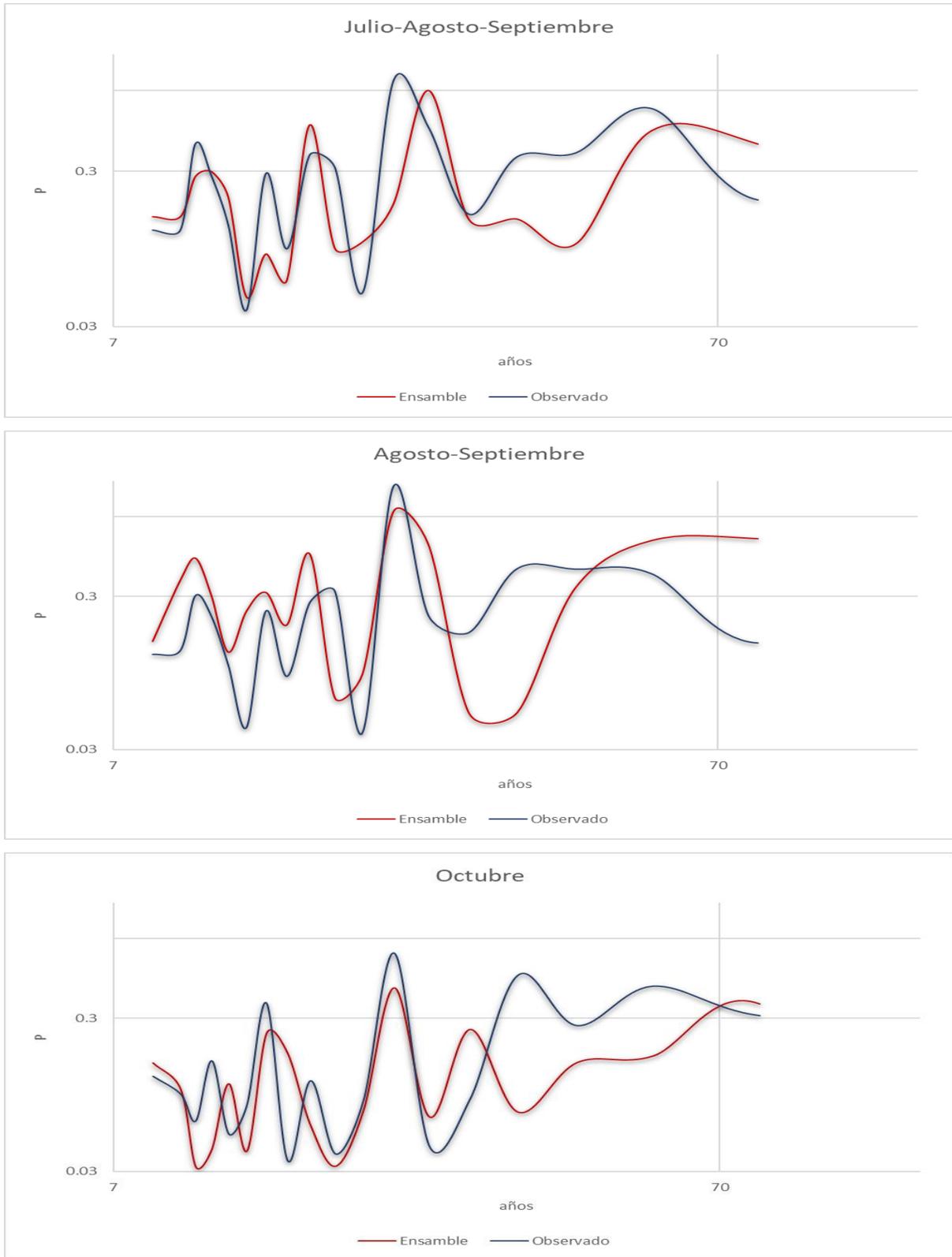


Figura 12. Análisis de Fourier para el índice PDO proyectado (línea roja) y registrado (línea azul). La primera es el periodo JAS, la segunda es la correspondiente a AS y la última, de octubre.

6.4 Pronóstico de la precipitación acumulada anual en una estación climática utilizando como predictor la PDO.

A través del cumplimiento del cuarto objetivo específico de este trabajo de tesis, se realizó la proyección de la precipitación acumulada anual (predictando o variable dependiente) en la estación de Comondú, utilizando como predictor (variable independiente) las fases de la PDO, dicha perspectiva puede observarse en la figura 11.

El análisis consistió en hacer diversos experimentos, cambiando y modificando las condiciones iniciales (por ejemplo, desfases en el tiempo, es decir, la fase de la PDO de uno o varios meses atrás cómo afecta la lluvia actual). finalmente, La habilidad se evaluó considerando el número de aciertos y fallas del modelo para predecir condiciones húmedas, normales o secas en los registros históricos.

En la Figura 13, se observa que los próximos 15 años se esperan condiciones por debajo de lo normal, en el lapso de 2031 a 2070, se esperan condiciones normales, mientras que después, se prevén condiciones húmedas, con acumulados por arriba de lo normal.

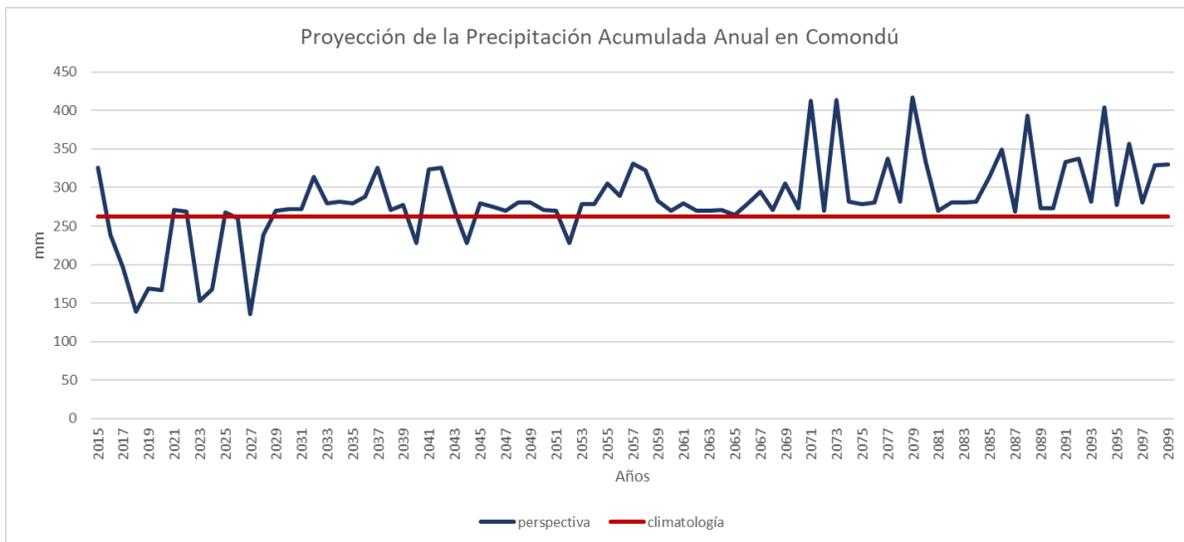


Figura 13. Precipitación acumulada anual en la estación Comondú proyectada al año 2099.

6.5 Proyección de patrones sinópticos de presión atmosférica y de temperatura superficial del mar utilizando los escenarios de cambio climático.

El quinto objetivo específico de éste trabajo de tesis, permitió detectar que la incidencia de los sistemas tropicales en la Península de Baja California está influenciada por el sistema de Alta Presión Semipermanente del Atlántico Norte, el cual, al inicio de la temporada de huracanes se sitúa en el suroeste de Estados Unidos, lo que ocasiona que la trayectoria de los sistemas tropicales sea paralela a las costas de la Península; casi al final de la temporada, ésta alta presión se localiza sobre el Golfo de México, propiciando que las trayectorias recurven cerca de las costas de Nayarit y Sinaloa e impactando tierra cerca de dichos estados.

La incidencia de los sistemas tropicales también está influenciada por una vaguada en niveles bajos sobre toda la Península de Baja California sur, y cuando ésta es muy intensa, se extiende hasta niveles altos de la atmósfera, cerca de los 500 mb. En este caso, tal como se muestra en la figura 14, 15 y 16, se prevé que dicha vaguada se debilite hacia la década de los 2050, comenzando a intensificarse a partir de 2060 hasta 2080, para después volver a decrementarse, como si se tratara de un ciclo.

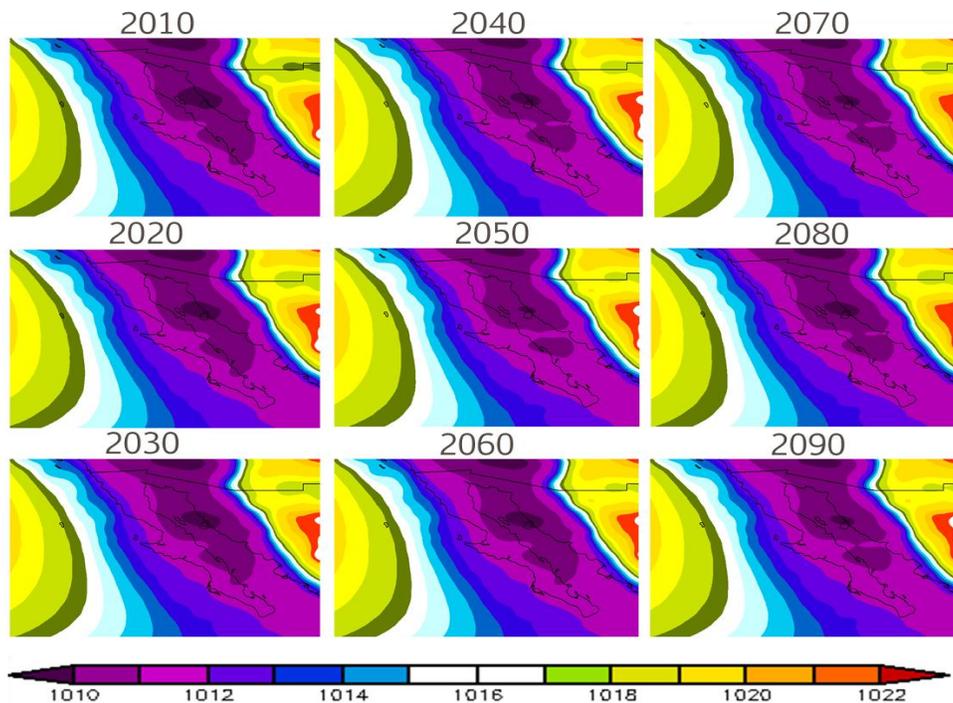


Figura 14. Presión a nivel del mar en décadas de 2010 a 2090 en el periodo julio, agosto y septiembre.

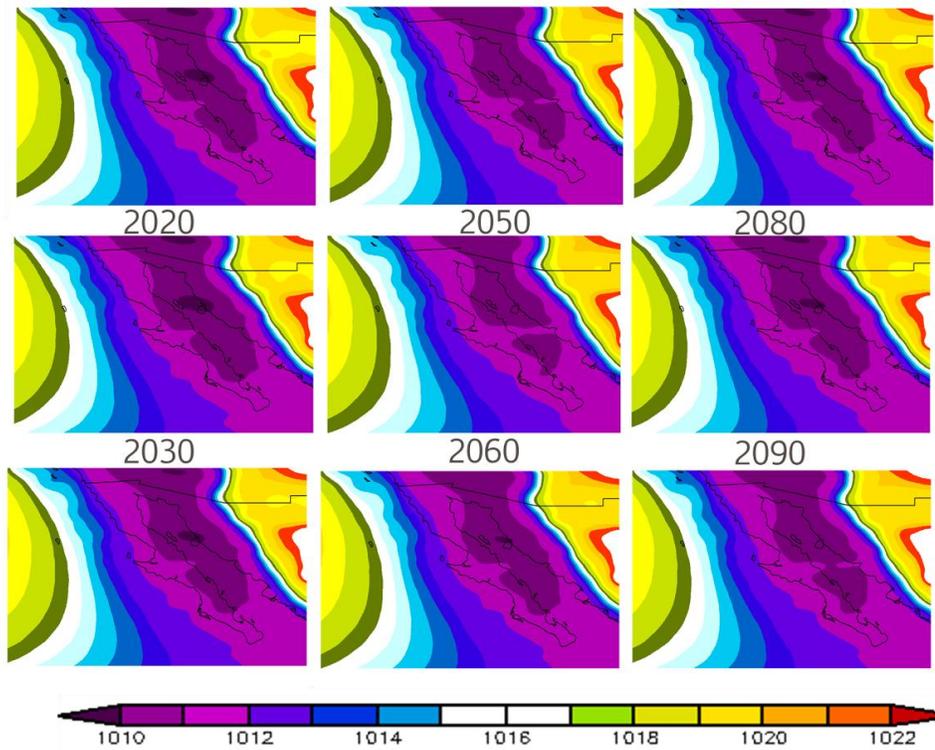


Figura 15. Presión a nivel del mar en décadas de 2010 a 2090 en el periodo agosto y septiembre.

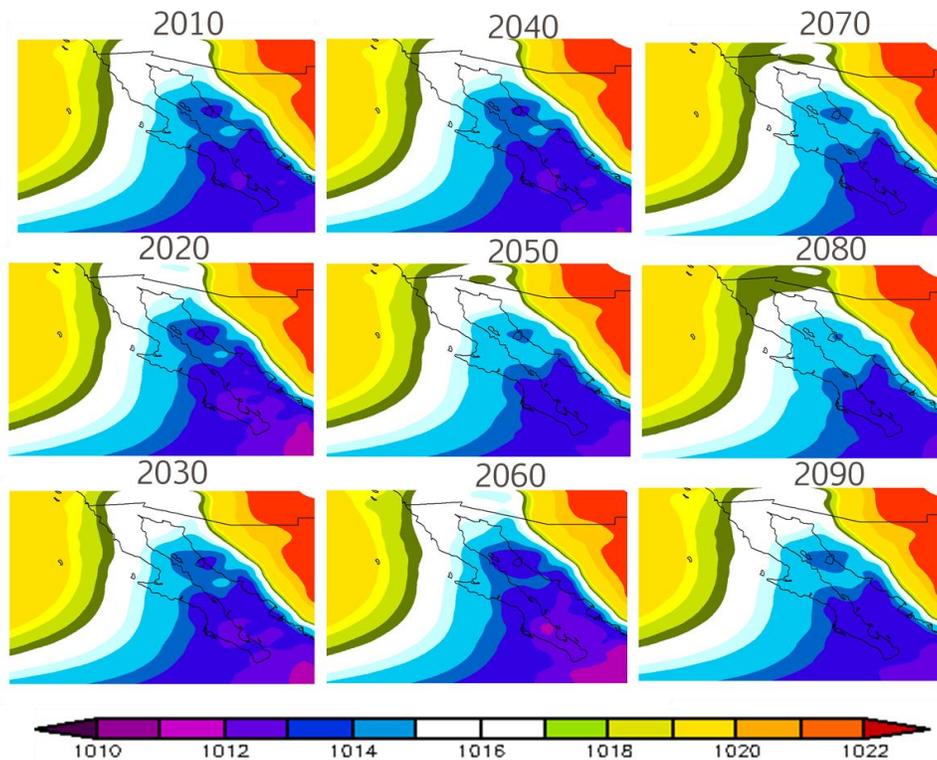


Figura 16. Presión a nivel del mar en décadas de 2010 a 2090 en el mes de octubre.

Uno de los factores más importantes para que comience a desarrollarse y se fortalezca un sistema tropical es la presencia de aguas cálidas. El análisis de la temperatura superficial del mar proyectada a 2099, muestra que en las siguientes décadas continuará incrementándose, incluso no se observan anomalías negativas, por lo que se tendrá mayor energía disponible (calor) para su desarrollo y fortalecimiento, tal como se observa en la figura 17.

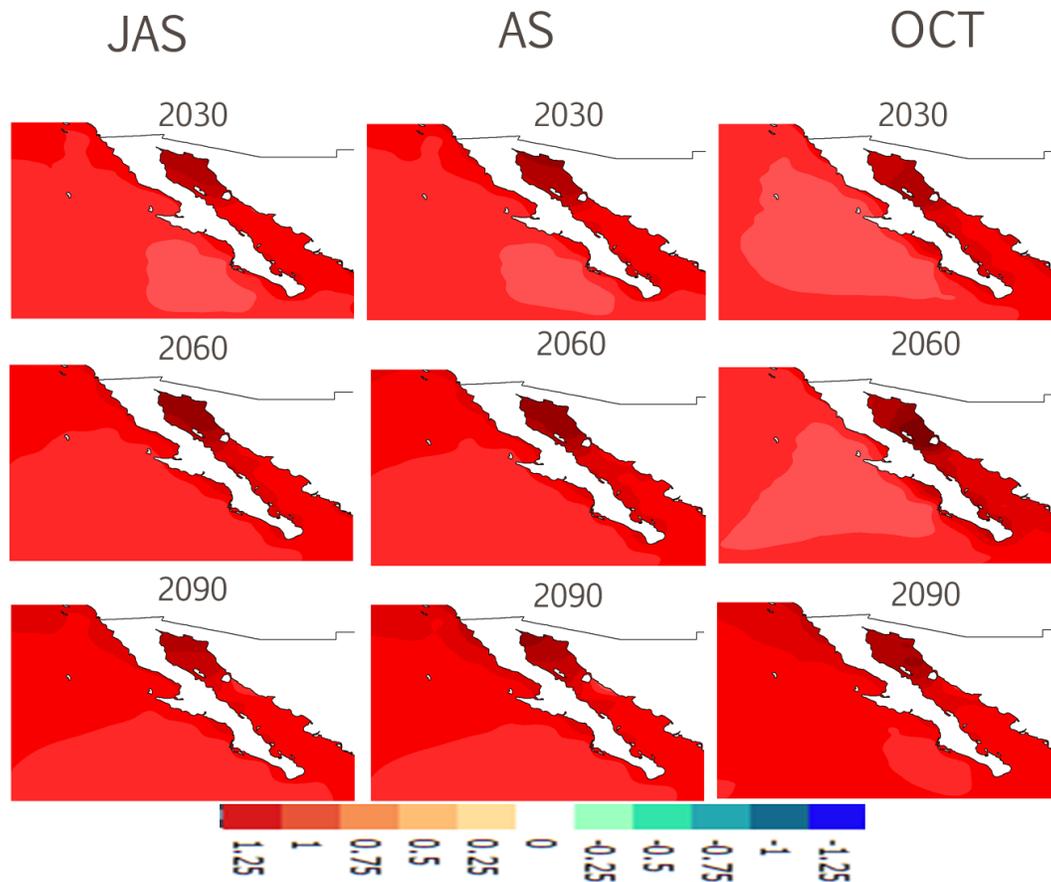


Figura 17. Anomalía de la temperatura superficial del mar para cada periodo en los promedios decadales de 2030, 2060 y 2090. Los colores rojos indican anomalías positivas mientras que los azules anomalías negativas. Periodo base para el cálculo: 1961-2005.

En cuanto al análisis de anomalías, se observa que el dominio de aguas cada vez más cálidas ha aumentado, pues prácticamente en las siguientes décadas no se observan valores negativos (frescos) de temperatura superficial del mar, por lo que se espera que los sistemas tropicales tengan mayor territorio disponible para formarse y fortalecerse.

6.6 Detección del cambio en los patrones de lluvia y temperatura.

De acuerdo con información obtenida de la base de datos climática proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), órgano dependiente de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), dentro del periodo 1961 a 2014, la temperatura máxima promedio estatal oscila entre los 22.0°C y los 36.7°C, mientras que la temperatura mínima va de los 7.1°C a los 24.1°C, registrándose las temperaturas más cálidas en el mes de agosto para ambas variables. El año 2014 ha sido el más cálido en su historia, dato que concuerda con el año más cálido a nivel mundial. En cuanto a precipitación, la lámina normal de lluvia a nivel estatal es de 172 mm, el año más húmedo fue 1984 con 348 mm, el año más seco fue 1991 con 48.7 mm, el mes más lluvioso es septiembre acumulando poco más del 30% de la lluvia total anual, como se observa en la figura 18.

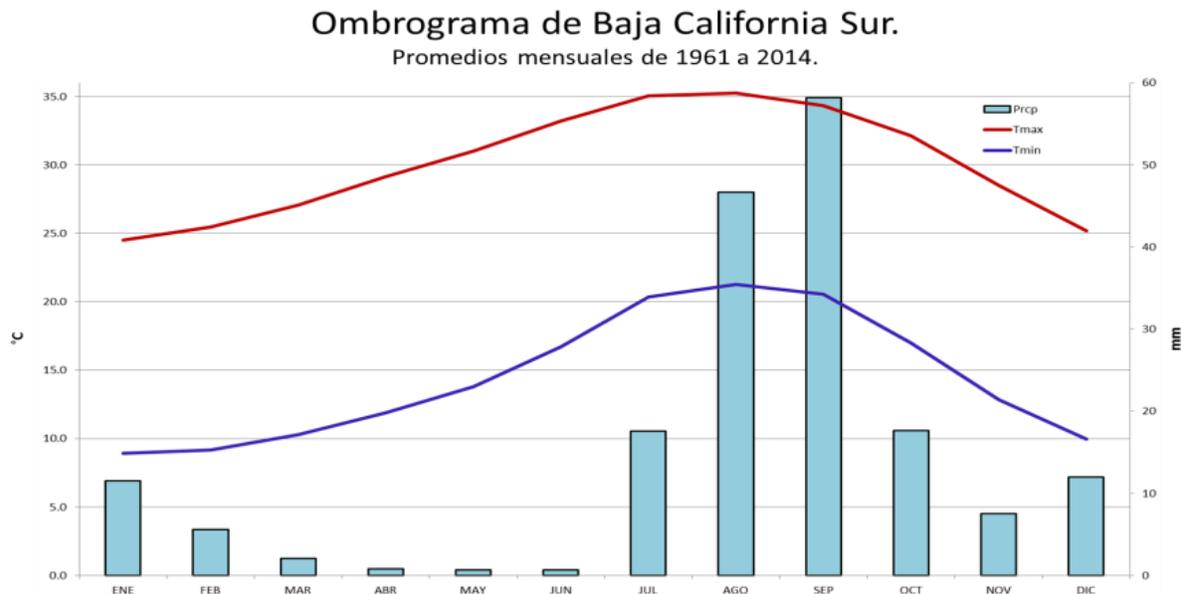


Figura 18. Marcha mensual promedio de 1961 a 2014 de la temperatura máxima (línea roja), temperatura mínima (línea azul) y precipitación acumulada (barras azules). Fuente: elaboración propia.

El análisis de los índices climáticos muestra que a nivel mensual no se ve aún incremento o decremento significativo de la lluvia acumulada, sin embargo, la revisión de los registros diarios de precipitación indican que ha habido un incremento de los eventos hidrometeorológicos extremos. Tal como se observa en la figura 19 y 20, referente a los índices de Máxima Lluvia al Mes y Día demasiado lluvioso, en los cuales se observa que actualmente hay mayor frecuencia de días con lluvias intensas que en años atrás, adicionalmente, éste

comportamiento se ve reflejado en la mayoría de las estaciones, salvo en 2 que se encuentran localizadas en nivel de costa.

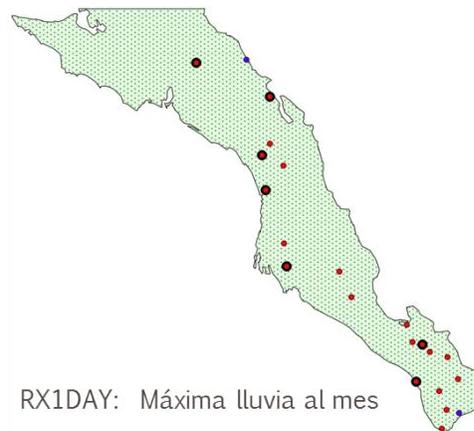


Figura 19. Mapeo del índice Máxima lluvia al mes. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

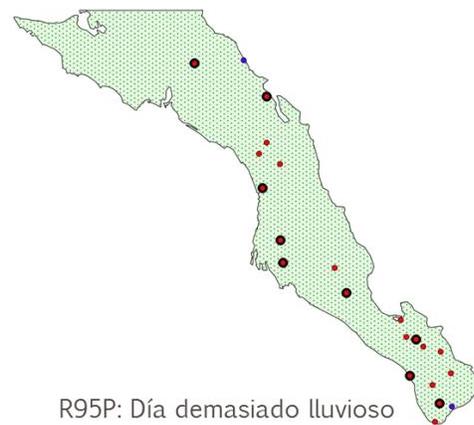


Figura 20. Mapeo del índice Día demasiado lluvioso. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

En cuanto al análisis de lluvia acumulada anual, se observa que en la mayoría de las estaciones del estado se ha tenido un incremento de la precipitación, tal como se observa en la figura 21; mientras que en algunas estaciones el número de días secos (días en los que la precipitación es igual a cero) ha aumentado, como se observa en la figura 22, confirmando que actualmente llueve más en menos días y esto es debido a la presencia de los eventos hidrometeorológicos extremos.

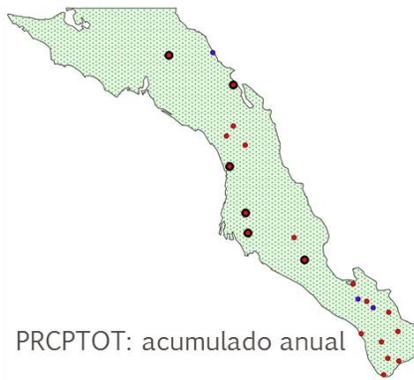


Figura 21. Mapeo del índice Acumulado anual. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

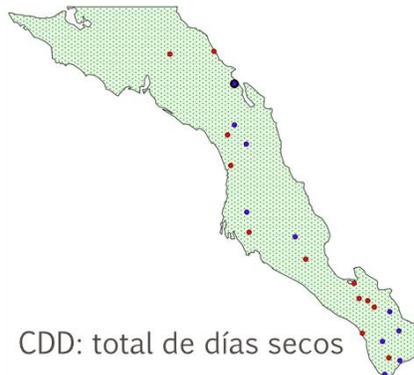


Figura 22. Mapeo del índice Total de días secos. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

En cuanto a la temperatura máxima, el promedio de temperatura estatal más alto que se tiene registrado es en el año 2014, tal como se muestra en la figura 23, a partir del año 1992 se a 2014, se tienen anomalías positivas, por lo que a nivel estatal se observa un incremento de la temperatura máxima.

En cuanto a la temperatura mínima, en la figura 24 se observa prácticamente que desde inicios de los 80's al 2014, se ha tenido un periodo cálido, prácticamente con todos los años con anomalías positivas presente, salvo por tres años con anomalías negativas.

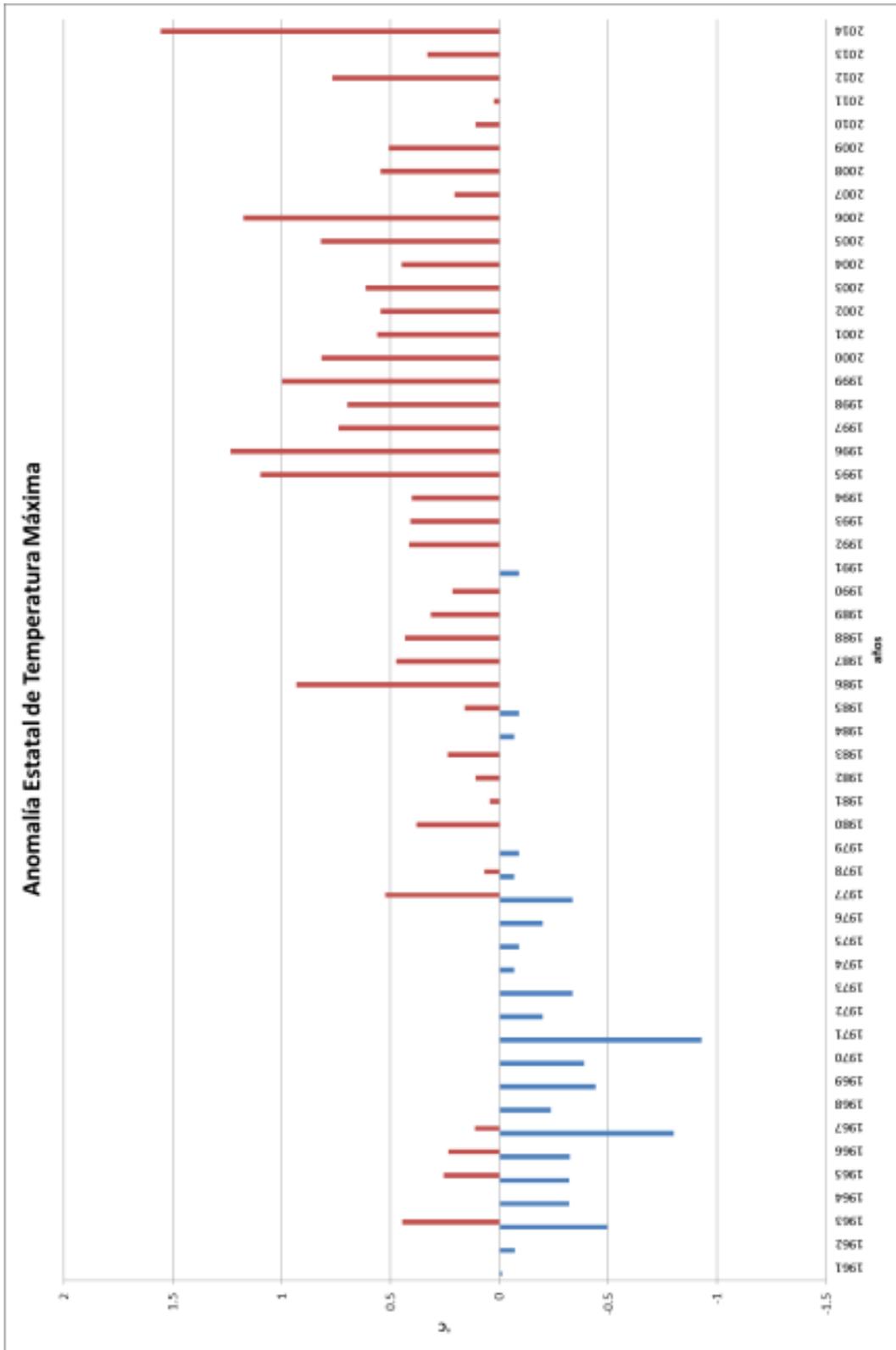


Figura 23. Anomalia de temperatura máxima estatal. El periodo base para el cálculo es 1961 a 1990.

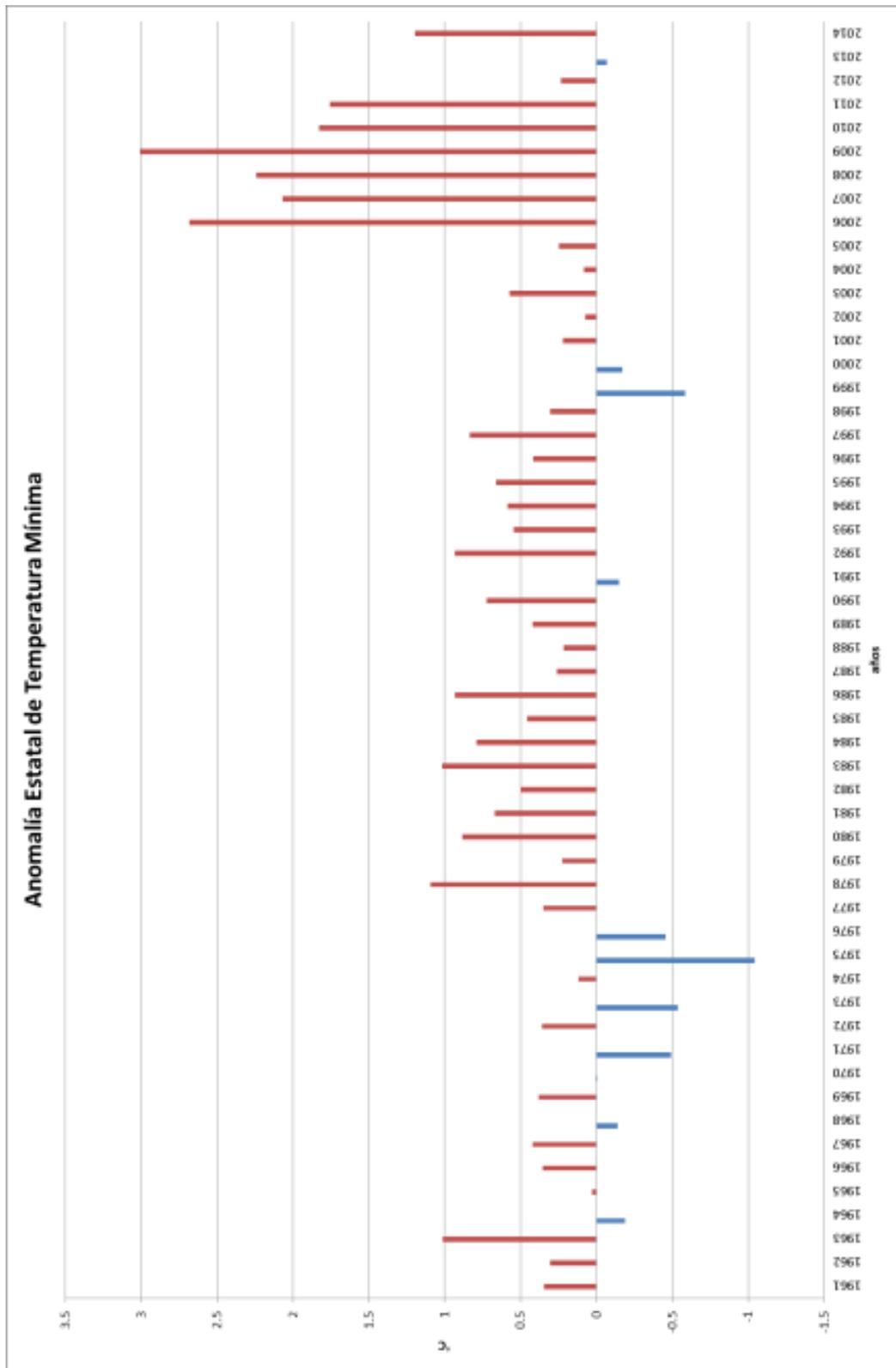


Figura 24. Anomalia de temperatura mínima estatal. El periodo base para el cálculo es 1961 a 1990.

El análisis de los índices de cambio climático a nivel local es decir, de cada estación, muestra que la temperatura máxima ha aumentado en la mayoría de las estaciones y su incremento ha sido estadísticamente significativo (ver figura 25), sin embargo, en la temperatura mínima el comportamiento ha sido diferente, puesto que a pesar de que a nivel estatal se observa un incremento, a nivel local muchas estaciones muestran tendencias negativas o de enfriamiento, salvo por aquellas localizadas cerca de alguna zona urbana (ver figura 26).

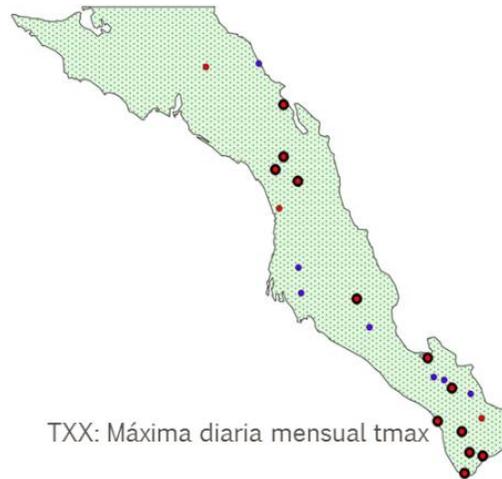


Figura 25. Mapeo del índice Máxima diaria mensual. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

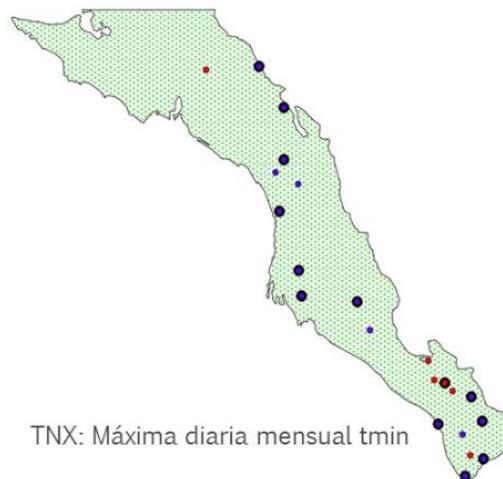


Figura 26. Mapeo del índice Máxima diaria mensual. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

El análisis de la oscilación diurna muestra que la temperatura máxima y mínima son cada vez más opuestas, o están más distanciadas, la mayoría de las estaciones del estado muestran este comportamiento de una manera estadísticamente significativa, como se observa en la figura 27.

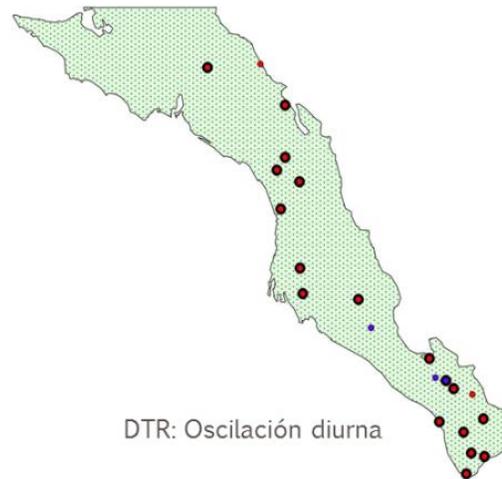


Figura 27. Mapeo del índice Oscilación diurna. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

La frecuencia de días cálidos ha aumentado en gran parte del estado, puesto que el número de veces en que los registros diarios de temperatura máxima han sobrepasado el percentil 90 es más usual ahora que en décadas atrás (ver figura 28).

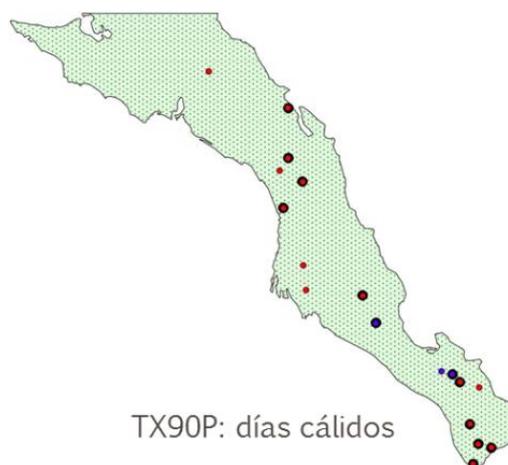


Figura 28. Mapeo del índice Días Cálidos. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones con tendencias estadísticamente significativas.

En cuanto a las ondas de calor, el índice muestra que su tendencia ha ido en aumento de manera significativa en la mayoría de las estaciones del Estado, dicho índice cuenta el número de veces en que la temperatura se mantiene por arriba del percentil 66 por lo menos 6 días consecutivos (ver figura 29).

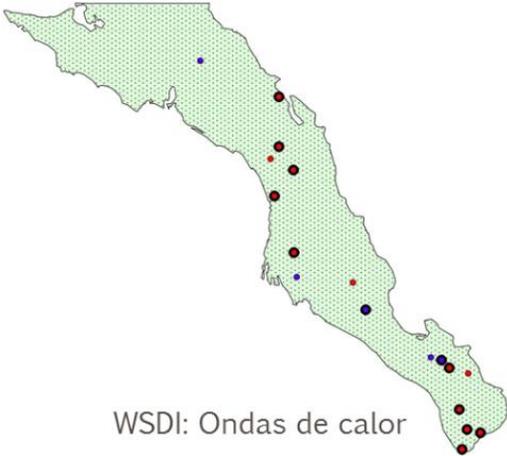


Figura 29. Mapeo del índice Ondas de Calor. Los puntos rojos indican estaciones con tendencia positiva, los puntos azules representan tendencias negativas. Las líneas gruesas que recubren cada punto, muestran las estaciones

6.7 Evaluación de la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

El séptimo objetivo específico permitió identificar la presencia de eventos de lluvia extrema, el análisis reveló que éstos son frecuentes durante el mes de septiembre, los cuales fueron ocasionados en su mayoría por algún tipo de sistema tropical, como se observa en la figura 30.

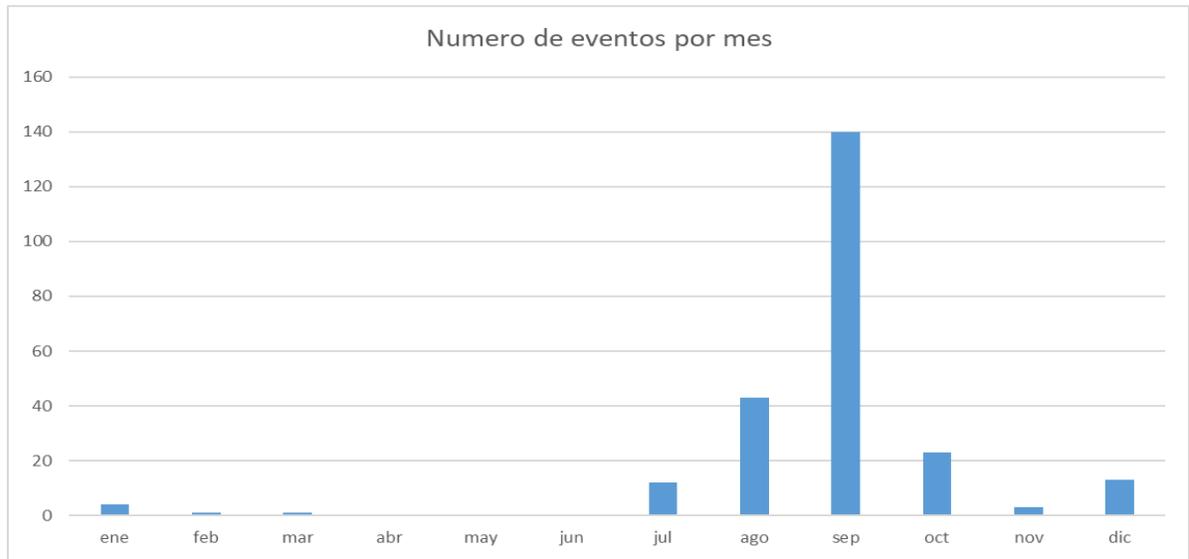


Figura 30. Frecuencia precipitaciones extremas en Baja California Sur entre los años de 1931 a 2014.

En un análisis anual, se observa que las lluvias extremas han aumentado a partir de los años 90's, como se observa en la figura 31.

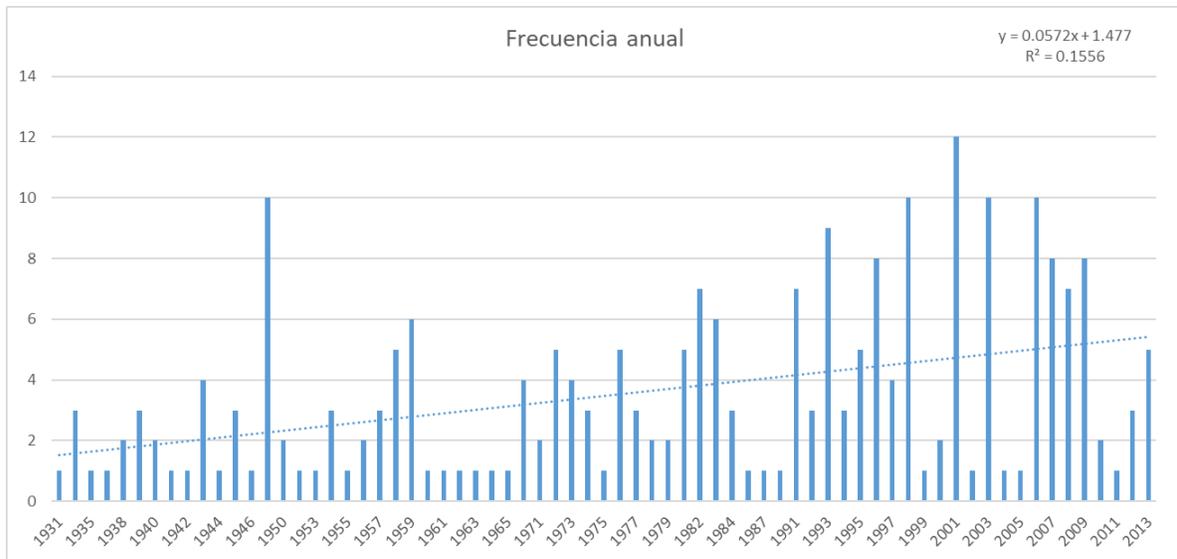


Figura 31. Frecuencia de lluvias extremas a nivel anual de 1931 a 2014 de las estaciones climáticas analizadas.

En un análisis decadal, se observa un incremento progresivo de la frecuencia de lluvias extremas, sin embargo, en los últimos 10 años, el número de eventos prácticamente se ha cuadruplicado comparado con la década de los 30's, tal como se puede observar en la figura 32.

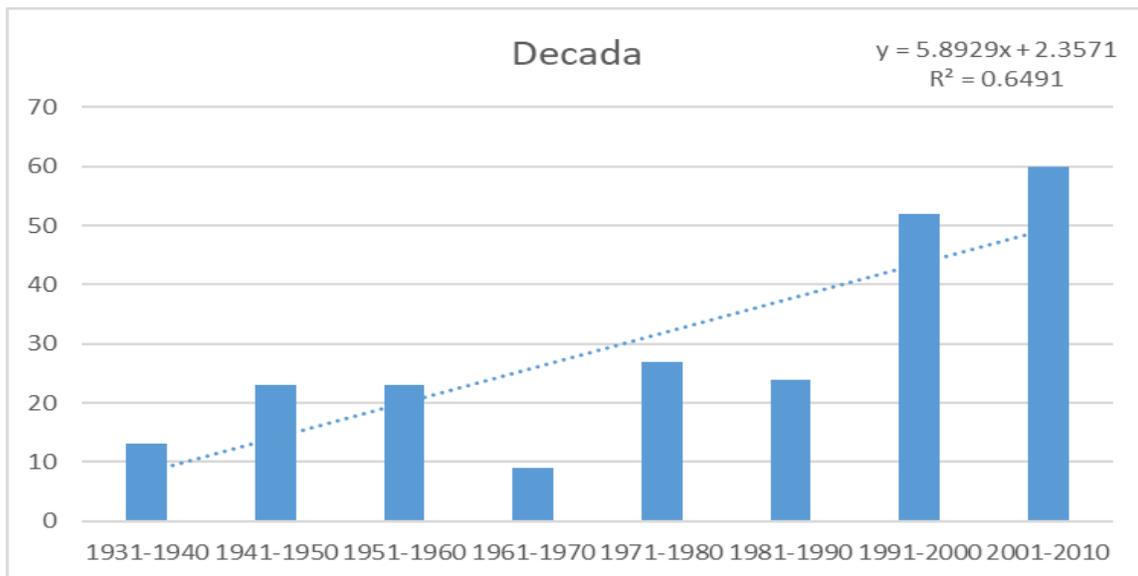


Figura 32. Frecuencia de lluvias extremas registradas por década.

El análisis de la frecuencia de lluvias extremas provocadas por algún sistema tropical, considerando aquellos que han impactado el estado y aquellos que no, muestra un incremento a partir del año 2005, tal como se observa en la figura 33.

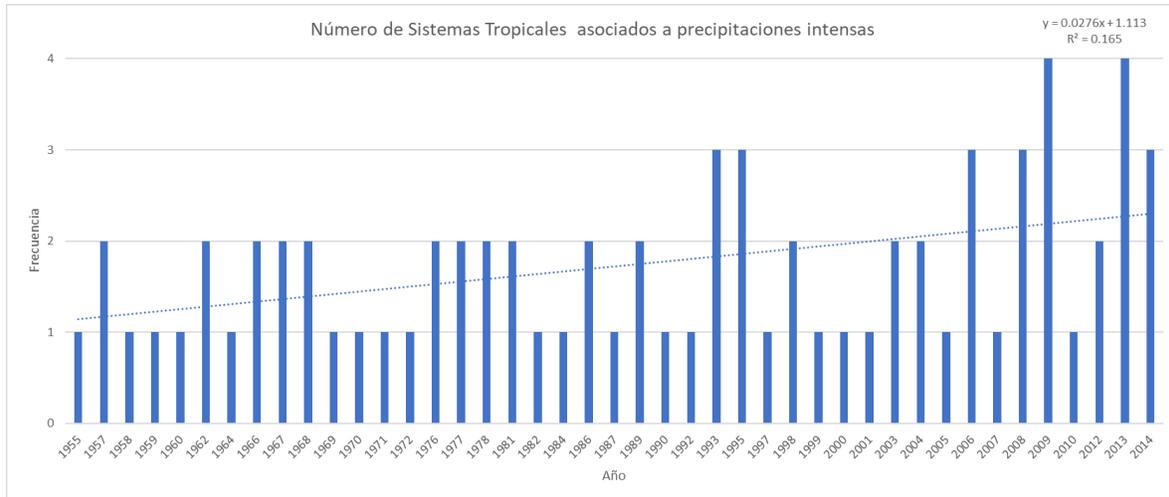


Figura 33. Frecuencia de sistemas tropicales (con o sin impacto en tierra) que provocaron precipitaciones intensas en el estado.

6.8 Elaboración de una base de datos climática estatal con Control de Calidad.

El cumplimiento del octavo objetivo específico, permitió conformar una red de estaciones climáticas con control calidad a escala diaria con el máximo historial de información disponible. Este análisis dio como resultado una base de datos climática robusta y representativa para cada región, ya que cuenta con la mayor cantidad de información histórica a nivel diario, mensual y anual, escalas imprescindibles a usar en este estudio. La localización geográfica de las estaciones se muestra en la figura 34.

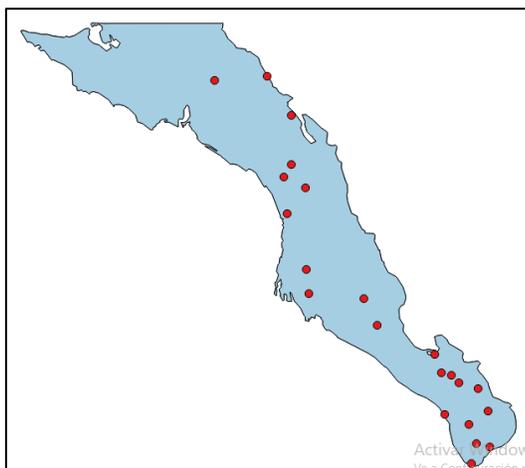


Figura 34. Las 22 estaciones climáticas en BCS que fueron seleccionadas para la generación de una base de datos climática robusta y representativa para cada región.

Tabla 6. Listado de estaciones seleccionadas

ID	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Total de años	Porcentaje de información
3004	Buenavista De Loreto	Comondú	25.12083333	-111.8133333	74.3	92
3005	Cabo San Lucas	Los Cabos	22.88194444	-109.9125	77.6	87.4
3007	Caduaño	Los Cabos	23.33194444	-109.9472222	72.9	97.5
3008	Comondú	Comondú	26.05833333	-111.825	80.2	95.7
3012	El Paso De Iritu	La Paz	24.77972222	-111.15	74.1	99
3013	El Pilar	La Paz	24.46972222	-111.0016667	72.8	92.9
3014	El Molino	Comondú	24.84027778	-111.7833333	74.3	87.8
3027	La Poza Grande	Comondú	25.76111111	-112.0375	74	95.1
3029	La Purisima	Comondú	26.18194444	-112.0777778	76.3	99

ID	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Total de años	Porcentaje de información
3036	Los Divisaderos	La Paz	23.89305556	-110.1430556	71.4	98.2
3038	Mulege	Mulege	26.88888889	-111.9844444	93	91.8
3039	Ojo De Agua	Comondú	26.32416667	-111.9847222	73.5	87
3049	San Antonio Sur	La Paz	23.80694444	-110.0583333	76.6	80.7
3050	San Bartolo	La Paz	23.74166667	-109.8402778	74	97.6
3051	San Felipe	Los Cabos	23.10833333	-109.8541667	75.9	96.7
3052	San Ignacio	Mulege	27.29861111	-112.875	76.1	92.5
3056	San Jose Del Cabo	Los Cabos	23.06944444	-109.7069444	88.1	85.7
3058	San Pedro	La Paz	23.925	-110.2638889	73.6	92.3
3061	Santa Rosalia	Mulege	27.33888889	-112.2697222	85.2	92.3
3062	Santiago	Los Cabos	23.48222222	-109.7183333	78	96.9
3066	Todos Santos	La Paz	23.44861111	-110.2233333	75.2	95.7
3074	La Paz	La Paz	24.13472222	-110.3361111	75	95.2

Dicha información climática se encuentra disponible en formato digital dentro de los anexos de esta tesis.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados del análisis de correlación entre la PDO y la precipitación mensual acumulada en Baja California Sur, muestran que la PDO tiene una influencia regional en el estado, además, la correlación mejoró significativamente cuando se utilizó una escala temporal estacional en vez de rangos de tiempo cortos. Estos resultados son consistentes con estudios previos como los realizados por Raga 2013 y Méndez-González 2009, ya que, en resumen, muestran que la oscilación que tiene mayor correlación con la lluvia es la PDO y ésta tiene una señal regional, uniforme y de largo periodo en el noroeste de México.

Considerando todas las trayectorias de los sistemas formados en el este del Pacífico desde 1949 a 2014, para el periodo de julio a octubre, durante la fase negativa de la PDO impactaron 3 de cada 10 sistemas, mientras que en su fase positiva 2 de cada 10. Aunque la probabilidad de impacto es mayor en la fase negativa de la PDO, es en su fase positiva cuando se ha tenido el ingreso de sistemas tropicales intensos, por ejemplo, el huracán Liza. Además, dado que para el cálculo del índice de la PDO uno de los factores importantes considerados es la temperatura superficial del mar, su análisis sinóptico mostró un aumento de sus anomalías positivas, y los escenarios de cambio climático indican que para las siguientes décadas ésta continuará incrementando, por lo que, en los próximos años, se tendrá mayor energía (calor) y territorio disponible para el desarrollo y fortalecimiento de un sistema tropical, tal como lo indica el IPCC dentro de su 5 informe, en el cual explica que el calentamiento global es inequívoco, y que una de las pruebas contundentes es el aumento en la temperatura del mar, así como el desarrollo de sistemas tropicales más intensos.

Se identificó un incremento en la frecuencia e intensidad en los eventos de lluvia extrema, dado que se observó un ligero aumento en la lluvia acumulada anual, decremento en el número de días sin precipitación y aumento en la frecuencia de días secos, por lo que se concluye que actualmente llueve más en menos días y esto es debido a la presencia de los eventos hidrometeorológicos extremos. El análisis de dichos eventos, mostró que hay un incremento significativo en la frecuencia de lluvias extremas en los últimos 10 años, ya que, en esta última década, el número de eventos se ha cuadruplicado comparado con los registrados en la década de los 30's; en cuanto a la temperatura, la anomalía estatal de temperatura máxima se ha mantenido positiva desde 1992 a 2014, por lo que el Estado se han registrado temperaturas cada vez más calurosas, además, el 2014 ha sido el año más cálido (resultados consistentes la OMM, que explica que el año 2014 ha sido el más cálido que se haya registrado

a nivel global); la temperatura máxima ha aumentado en la mayoría de las estaciones y su incremento ha sido estadísticamente significativo; la frecuencia de días cálidos ha aumentado, la frecuencia en que los registros diarios de temperatura máxima han sobrepasado su percentil 90 es más usual ahora que en décadas previas; y el número de ondas de calor detectadas ha ido en aumento de manera significativa. Estos datos concuerdan con los descritos por la OMM en 2013, que dicen que uno de los efectos del cambio climático será el aumento en la frecuencia de eventos relacionados con las ondas de calor y el aumento de la temperatura, además, dichos resultados coinciden con experimentos previos en detección de cambios en extremos climáticos a escala global (Alexander et al., 2006), de la región de Centroamérica (Aguilar et al., 2005) y Norteamérica (Peterson et al., 2008), en los cuales se encontró evidencia de cambios consistentes con el aumento de la temperatura del planeta: incremento en los eventos de temperaturas altas, disminución de eventos de temperaturas bajas e incremento en la lluvia intensa.

Para poder realizar todos estos análisis, es necesario contar con una base de datos climática confiable, tal como lo recomienda la OMM, por lo que la información diaria registrada en las estaciones climatológicas fue sometida a pruebas de control de calidad, lo que permitió contar con una base de datos revisada, validada, de largo periodo y representativa espacial y temporalmente.

Durante la elaboración del trabajo de tesis, se identificaron algunas debilidades, las cuales son:

- Pocas estaciones climáticas con historial largo y registros completos.
- No se cuentan con metadatos completos de las estaciones (instrumentos descalibrados, cambio de instrumentos, cambios de ubicación de la estación, etc.) que permitan elaborar un análisis de homogeneidad completo a las series climáticas.
- Los escenarios de cambio climático poseen escalas temporales y espaciales grandes, por lo que identificar sistemas tropicales pequeños y de corta duración es prácticamente imposible.
- Baja California Sur es una porción delgada de continente, por lo que la resolución espacial de los escenarios de cambio climático hace complicado su regionalización.

- Es necesario elaborar análisis con información a escala diaria, sin embargo, todas las salidas de los escenarios son a nivel mensual.
- Las bases de datos utilizadas son grandes y pesadas, por lo que se requiere de gran poder de cómputo para procesarlas.

8. CONCLUSIONES.

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo de tesis fueron alcanzados: uno de cuales era contar con una base de datos climática de calidad a nivel estatal, ya que previo al uso de los registros de lluvia y temperatura de las estaciones climáticas, los datos fueron sometidos a pruebas de control de calidad, revisados y validados, con la finalidad de contar con información climática confiable.

Otro de los objetivos planteados fue el del análisis de correlación entre los datos históricos de la PDO con los registros observados de precipitación acumulada mensual en Baja California Sur: los resultados del análisis muestran que la PDO tiene una influencia regional en el estado, además, la correlación mejoró cuando se hicieron los análisis a nivel estacional y no con escalas de tiempo corta. Estos resultados son consistentes con estudios previos como los realizados por Raga 2013 y Méndez-González 2009, ya que en resumen, muestran que la oscilación que tiene mayor correlación con la lluvia es la PDO y ésta tiene una señal regional, uniforme y de largo periodo en el noroeste de México.

El objetivo relacionado a la evaluación de la influencia de la PDO sobre el impacto de huracanes en el Estado, se cumplió al identificar que en promedio, tomando en cuenta todas las trayectorias de los sistemas formados en el este del Pacífico desde 1949 a 2014, para el periodo de julio a octubre, durante la fase negativa de la PDO impactaron 3 de cada 10 sistemas, mientras que en su fase positiva 2 de cada 10. Aunque la probabilidad de impacto es mayor en la fase negativa de la PDO, es en su fase positiva cuando se ha tenido el ingreso de sistemas tropicales intensos, por ejemplo, el huracán Liza. Este fortalecimiento se intensifica si se tienen presencia de El Niño.

El análisis de los patrones sinópticos de la temperatura superficial del mar mostró que ha aumentado y los escenarios de cambio climático indican que para las siguientes décadas ésta continuará incrementando, por lo que, en los próximos años, se tendrá mayor energía (calor) y territorio disponible para el desarrollo y fortalecimiento de un sistema tropical.

En cuanto al objetivo de identificar cambios en los patrones de lluvia y temperatura, los resultados muestran que ha habido un incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia extrema, puesto que se ha presentado un ligero aumento en la lluvia acumulada anual, sin embargo, el análisis de los índices de cambio climático permitió identificar un decremento en el número de días sin precipitación, por lo que se concluye que actualmente

llueve más en menos días y esto es debido a la presencia de los eventos hidrometeorológicos extremos.

El análisis de los datos diarios de precipitación, mostró que hay un incremento significativo en la frecuencia de lluvias extremas en los últimos 10 años, ya que, en esta última década, el número de eventos se ha cuadruplicado comparado con los registrados en la década de los 30's.

El análisis de temperatura reveló que la anomalía estatal de temperatura máxima se ha mantenido positiva desde 1992 a 2014, por lo que el Estado se han registrado temperaturas cada vez más calurosas, además, el 2014 ha sido el año más cálido, dato consistente con un comunicado emitido por la OMM, el cual indica que el año 2014 ha sido el más cálido que se haya registrado a nivel global.

Los análisis de datos diarios, muestran que la temperatura máxima ha aumentado en la mayoría de las estaciones y su incremento ha sido estadísticamente significativo; la frecuencia de días cálidos ha aumentado en gran parte del estado, puesto que el número de veces en que los registros diarios de temperatura máxima han sobrepasado el percentil 90 es más usual ahora que en décadas previas; asimismo, el número de ondas de calor registradas ha ido en aumento de manera significativa.

La proyección de la PDO utilizando los escenarios de cambio climático, permitió que esta variable fuera utilizada como predictando para la elaboración de una perspectiva climática de precipitación en Comondú, análisis cuyo resultado se encuentra dentro de los anexos.

Durante la elaboración de este trabajo de tesis, se detectaron las siguientes debilidades: pocas estaciones climáticas con historial largo y registros completos, no se cuentan con metadatos completos de las estaciones (instrumentos descalibrados, cambio de instrumentos, cambios de ubicación de la estación, etc.) que permitan elaborar un análisis de homogeneidad completo a las series climáticas; los escenarios de cambio climático poseen escalas temporales y espaciales grandes, por lo que identificar sistemas tropicales pequeños y de corta duración es prácticamente imposible; la resolución de los escenarios de cambio climático es grande, por lo que su análisis a nivel estatal es complicado, dado que Baja California Sur es una porción delgada de continente; de igual modo, la escala temporal de los escenarios es a nivel mensual, y es necesario contar con información proyectada a escala diaria; finalmente, las bases de

datos utilizadas son grandes y pesadas, por lo que se requiere de gran poder de cómputo para procesarlas y uso de lenguajes de programación.

Con la finalidad de obtener mejores resultados en estudios posteriores, se recomienda lo siguiente:

- ✓ Aplicar técnicas de composición de series a los registros estaciones, a fin de contar con más número de estaciones para el análisis.
- ✓ Actualmente se ha realizado la instalación de estaciones meteorológicas automáticas, se recomienda dar prioridad a los puntos donde se cuente ya con una estación climática convencional no operativa con largo historial de información, y ubicar ahí dichas unidades con la finalidad de dar continuidad a la serie histórica, de esta forma se contaría con información climática y datos actuales.
- ✓ Es necesario aplicar pruebas de control de calidad a todas las estaciones de la base de datos climática del Estado.
- ✓ Es necesario que la base de datos del Estado sea homogénea.
- ✓ Debido a que los sistemas tropicales tienen una escala temporal y espacial pequeña, los Modelos de Circulación General no los identifican, por lo que es necesario desarrollar técnicas que permitan su análisis dentro de los mismos.
- ✓ En cuanto a los eventos extremos, no basta con hacer un análisis histórico, es necesario hacer un análisis y proyección de su frecuencia e intensidad en el futuro, ya que son uno de los factores que más afectan a la sociedad y al medio ambiente.
- ✓ Es importante que los modelos de circulación general tomen en cuenta los eventos extremos y los sistemas tropicales, ya que en pequeñas regiones (como en el Noroeste de México) es el factor principal de precipitación.

9. BIBLIOGRAFIA.

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. Vol. I, Cambridge University Press, 996 pp.

IDAG, T. Barnett, F. Zwiers, G. Hegerl, M. Allen, T. Crowley, N. Gillett, K. Hasselmann, P. Jones, B. Santer, R. Schnur, P. Scott, K. Taylor, S. Tett, and A. Int Ad Hoc Detection, 2005: Detecting and attributing external influences on the climate system: A review of recent advances. *Journal of Climate*, 18, 1291-1314.

Brunet, M. and D. López-Bonillo, 2001: Detecting and Modelling Regional Climate Change. 1a ed. Springer, 651 pp.

Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, N. P. Gillet, Y. Luo, J. A. Marengo, N. Nicholls, J. E. Penner, and P. A. Stott, 2007: Understanding and Attributing Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, S. e. al., Ed., Cambridge University Press.

Trenberth, K. E., P. D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. R. Easterling, A. Kleint-Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J. A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden, and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.*, S. e. al., Ed., Cambridge University Press.

Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. R. Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, and J. L. Vazquez-Aguirre, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*.

Aguilar, E., T. C. Peterson, P. R. Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. G. Garcia, R. M. Araujo, A. R. Santos, V. E. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Alvarez, M. Bautista,

C. Castanon, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Sinay, E. Sanchez, G. I. H. Oviedo, F. Obed, J. E. Salgado, J. L. Vazquez, M. Baca, M. Gutierrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martinez, B. Olmedo, C. E. O. Espinoza, R. Nunez, M. Haylock, H. Benavides, and R. Mayorga, 2005: Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 110.

Peterson, T. C. and M. J. Manton, 2008: Monitoring changes in climate extremes - A tale of international collaboration. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89, 1266-1271.

Nicholls, N. and W. Murray, 1999: Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 - Breakout Group B: Precipitation. *Climatic Change*, 42, 23-29.

Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. Peterson, and J. Wieringa, 2003: Guidelines on Climate Metadata and Homogenization. *WCDMP*, 53, 55.

Karl, T. R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes - Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7

Peterson, T. C., 2005: Climate Change Indices. *WMO Bulletin*, 54, 83-86.

Martínez, J. y B. A. Fernández (2004) Cambio Climático. Una visión desde México, Instituto Nacional de Ecología, 1era Ed., [Fecha de consulta: 17 de marzo del 2015], disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf>.

IPCC, 2014: Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, pags. 127-141.

Trenberth, K. E. (1997), 'The definition of El Nino', *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, no. 78, pp. 2771-2777.

Kiladis, G. N. and H. Diaz (1989), "Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation", *J. Climate*, no. 2, pp. 1069-1090.

Mantua, N. J. and S. R. Hare (2002), "The Pacific Decadal Oscillation", *J. Oceanography*, no 58, pp. 35-44.

Zhang, Y., J. M. Wallace and D.S. Battisti (1997), "ENSO-like interdecadal variability", *J. Climate*, no. 10, pp. 1004-1020.

Farfán, L., Romero-Centeno, R., & Raga, G. (2012). Observations and Forecasts from the Landfall of Tropical Cyclones John, Lane, and Paul (2006) over Northwestern Mexico. *American Meteorological Society*, 1373-1393.

IPCC. (2013). *Cambio Climático 2013 Bases Físicas*. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Méndez González, J., Ramírez Leyva, A., Cornejo Oviedo, E., Zárate Lupercio, A., & Cavazos Pérez, T. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 57-70.

Raga, G., Bracamontes-Ceballos, B., Farfán, L., & Romero-Centeno, R. (2013). Landfalling tropical cyclones on the Pacific coast of Mexico: 1850-2010. *Atmósfera*, 209-220.

Sitios web:

<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>

<https://gisclimatechange.ucar.edu/>

https://cmip.llnl.gov/cmip5/data_portal.html

<http://www.nhc.noaa.gov/data/#hurdat>.

<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

10. ANEXOS.

10.1 Pronóstico de lluvia acumulada anual en Comondú.

PROYECCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN COMONDÚ:

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS UTILIZADOS

La información utilizada de la oscilación PDO fue obtenida del Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. La base de datos histórica fue descargada en el siguiente link: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>.

El índice fue reconstruido utilizando la temperatura superficial del mar (SST) de la base de datos ERSST Versión 4 de la NOAA, está disponible a escala mensual y cuenta con registros desde enero de 1854 hasta la actualidad (en este caso, septiembre de 2017, mes en que se concluye esta tesis). La información está disponible en formato XML, CSV y JSON.

Para la regionalización de los escenarios de cambio climático, se utilizó la base de datos climatológica estatal de Baja California Sur, proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua, mientras que los escenarios de cambio climático, fueron obtenidos del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. Las características de ambas bases se describen a continuación:

	Datos Observados (SMN)	Escenarios de Cambio Climático (NCAR)
Variable	Precipitación	Temperatura superficial del mar
Escala temporal	Mensuales	Mensuales

Periodo	1950-2014	Simulación Histórica: 1950-1999 Escenario: ensamble
Escala espacial	Puntos de observación	Global (1.4 grados)
Formato	CSV delimitado por comas	TXT

CORRELACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA PDO:

La correlación de la lluvia observada y la PDO se llevó a cabo de acuerdo a los siguientes pasos:

- elaborar los acumulados de lluvia para cada periodo y cada estación climática.
- Obtener los promedios de PDO para cada periodo
- Correlacionar cada serie de lluvia con PDO utilizando el método de spearman.
- Elaborar una interpolación (inverso a la distancia al cuadrado) para mapear los valores.

Para la comparación del PDO observado y el proyectado a través de los escenarios de cambio climático, se utilizó el periodo 1854 – 2017. La metodología utilizada consiste en extraer el primer componente principal de la SST en el océano pacífico en el dominio de los 20°N hacia los polos, en este caso en vez de utilizar los registros observados, se utilizaron los datos históricos (para validar la habilidad) y proyectados a 2099 de los escenarios de cambio climático del IPCC.

Los pasos a seguir para obtener la PDO proyectada fueron:

- Extracción de la primer componente principal de las SST para cada modelo y el ensamble en cada periodo.
- Comparación de cada componente principal extraída con el registro histórico de la PDO.
- Selección de la proyección con mejor correlación: el Ensamble.

Finalmente, después de contar con la PDO observada y proyectada para cada periodo, se llevó a cabo un estudio espectral, mediante la “descomposición” de cada serie en modulaciones menores a través de un análisis de Fourier. Dicho análisis se hizo para cada par de serie de PDO en los periodos, a fin de detectar fluctuaciones, similitudes e identificar cual es el comportamiento y en qué tiempo se encuentra la mayor energía o influencia de cada serie de PDO.

PROYECCIÓN DE LA LLUVIA.

Para proyectar la lluvia, se consideró como predictor la PDO (variable independiente) y el predictando fue la precipitación registrada (variable dependiente). El análisis consistió en hacer diversos experimentos, cambiando y modificando las condiciones iniciales (por ejemplo desfases en el tiempo, es decir, la fase de la PDO de uno o varios meses atrás cómo afecta la lluvia actual).

Finalmente, La habilidad se evaluó considerando el número de aciertos y fallas del modelo para predecir condiciones húmedas, normales o secas en los registros históricos

INDICADORES DE CAMBIO CLIMATICO PARA LA ESTACIÓN COMONDÚ

IND	DETALLE			OBSERVACIONES
		S ^(a)	T ^(b)	
DTR	Diferencia media mensual entre la Temp. Máx. y la Temp.. Min.	S	+	El rango diario de temperatura ha aumentado, por lo
FD13	Número de días al año cuando la temperatura mínima es menor a 13°C (Rango bajo de la Temp. Min. Equivalente al percentil 33)	N	+	

TR19	Número de días al año cuando la temper. mínima es mayor a 19 °C (Rango alto de la Temp. mínima Equivalente al percentil 66)	S	-	hay mucha diferencia entre la temperatura al amanecer y al medio día. Los registros indican que los valores de temperatura mínima han disminuido.
TR20	Noches calientes (2): Días al año cuando la temperatura mínima diaria es mayor a 20°C	N	-	
TNN	Temperatura nocturna mínima: Valor mensual mínimo de la temperatura mínima diaria	N	+	
TNX	Temperatura nocturna máxima: Valor mensual máximo de la temperatura mínima diaria	N	-	
TN10p	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil (noches frías)	N	+	
TN90p	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil (noches calientes)	S	-	
SU25	Días al año con Temperaturas máximas mayor a 25°C	S	+	La temperatura máxima ha aumentado significativamente
ID25	Número de días al año cuando la temperatura máxima es < a 25.5 C (Rango bajo de la Temp. Max.. Equivalente al percentil 33)	S	-	
SU33	Número de días en un año cuando la temperatura máxima es mayor a: 33°C (Rango alto de la Temp. Max. Equivalente al percentil 66)	S	+	
TXN	Temperatura diaria mínima: Valor mensual mínimo de la temperatura máxima diaria	S	+	

TXX	Temperatura diaria máxima: Valor mensual máximo de la temperatura máxima diaria	S	+	
TX10p	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil (Días fríos)	S	-	
TX90p	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil (Días calientes)	S	+	
WSDI	Días cálidos. Días consecutivos con la temperatura máxima mayor a 33°C por lo menos 6 días consecutivos consecutivos.	S	+	Las ondas de calor han aumentado significativamente.
CWD	Mayor número de días húmedos consecutivos en un año	N	+	<p>- La precipitación total anual está disminuyendo en un rango de 1.16 mm al año.</p> <p>- El número de días con aguaceros han aumentado.</p> <p>- los eventos de lluvia extrema han aumentado</p>
PRCTOT	Precipitación total al año	S	+	
R10mm	Número de días en un año con lluvia mayor a 10mm	N	+	
R20mm	Número de días en un año con lluvia mayor a 20mm	N	+	
R25mm	Número de días en un año con lluvia mayor a 40mm	N	+	
R95P	Número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 para los días húmedos (Prec. > 1,0mm)	N	+	
R99P	Número de días en un año con lluvia mayor al percentil 99 para los días húmedos (Prec. > 1,0mm)	N	+	
RX1day	Máximo anual de precip. en 1 día	N	+	
RX5day	Máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos	N	+	
SDII	Precipitación total anual /días con lluvia al año con (Prec. > 1,0mm)	N	-	

(a) Esta columna me informa si la serie es estadísticamente significativa (S) o no significativa (N).

(b) Esta columna me indica si la tendencia de la serie es positiva (+) o negativa (-).

RESULTADOS: Se obtuvieron 12 proyecciones de precipitación, una por cada mes, de 2018 a 2099 y un acumulado anual en el mismo periodo, asimismo, se calcularon los índices de cambio climático para la región de Comondú.

10.2 Tablas de correlación entre la PDO y precipitación.

Tabla 1. Correlaciones entre la PDO y la Precipitación registrada por estación en el periodo julio-agosto-septiembre.

Nombre de la estación	Pendiente	Significativa
CABO SAN LUCAS	0.0287202	No
CADUAÑO	0.06524929	Si
COMONDÚ	0.08579598	No
EL PASO DE IRITU	0.12861966	Si
EL PILAR	0.26728896	Si
EL MOLINO	0.00885814	No
LA POZA GRANDE	0.06087141	Si
LA PURISIMA	0.09473959	No
LORETO (DGE)	0.20893107	Si
LOS DIVISADEROS	0.33344446	Si
OJO DE AGUA	0.33025525	Si
SAN ANTONIO SUR	0.20562807	No
SAN BARTOLO	0.06538579	No
SAN FELIPE	0.10139326	Si
SAN IGNACIO	0.03691502	No
SAN JOSE DEL CABO	0.05934109	Si
SAN PEDRO	0.20845446	Si
SANTA ROSALIA (DGE)	0.08153553	Si
SANTIAGO	0.03681803	No
TODOS SANTOS (DGE)	0.06027231	Si
LA PAZ (DGE)	0.12106523	Si

Tabla 2. Correlaciones entre la PDO y la Precipitación registrada por estación en el periodo agosto-septiembre.

Nombre de la estación	Pendiente	Significativa
CABO SAN LUCAS	0.06035952	si
CADUAÑO	0.12428028	si
COMONDÚ	0.04499264	No
EL PASO DE IRITU	0.10043912	No
EL PILAR	0.22575549	si
EL MOLINO	0.00963869	No
LA POZA GRANDE	0.0693423	si
LA PURISIMA	0.07382171	No
LORETO (DGE)	0.22212287	si
LOS DIVISADEROS	0.21770781	si
OJO DE AGUA	0.19761104	si
SAN ANTONIO SUR	0.104282	si
SAN BARTOLO	0.02808098	No
SAN FELIPE	0.12766512	si
SAN IGNACIO	0.04322417	No
SAN JOSE DEL CABO	0.07312684	si
SAN PEDRO	0.19237741	si
SANTA ROSALIA (DGE)	0.00070872	No
SANTIAGO	0.04638829	No
TODOS SANTOS (DGE)	0.02277631	No
LA PAZ (DGE)	0.09773166	si

Tabla 3. Correlaciones entre la PDO y la Precipitación registrada por estación en el periodo octubre.

Nombre	Pendiente	Significativa
CABO SAN LUCAS	-0.02359228	No
CADUÑO	-0.05591286	No
COMONDÚ	-0.03286229	No
EL PASO DE IRITU	-0.14338499	Si
EL PILAR	-0.04730817	No
EL MOLINO	-0.16156857	Si
LA POZA GRANDE	0.14568167	Si
LA PURISIMA	0.17533648	Si
LORETO (DGE)	-0.11161736	No
LOS DIVISADEROS	0.00099228	No
OJO DE AGUA	0.16945031	Si
SAN ANTONIO SUR	0.00757898	No
SAN BARTOLO	-0.16876715	No
SAN FELIPE	-0.01382671	No
SAN IGNACIO	0.00039632	No
SAN JOSE DEL CABO	-0.12428231	No
SAN PEDRO	-0.06337829	No
SANTA ROSALIA (DGE)	0.10394938	No
SANTIAGO	-0.02196707	No
TODOS SANTOS (DGE)	-0.02184136	No
LA PAZ (DGE)	0.04316516	Si

10.3 Tabla de frecuencia de Sistemas Tropicales en Baja California Sur.

Mes	Total	Impactaron	Desarrollados con PDO+	Desarrollado con PDO-	Impactaron con PDO+	Impactaron con PDO-
Julio	40	3	12	28	2	1
Agosto	59	13	14	45	3	10
Septiembre	70	21	26	44	6	15
Octubre	56	19	18	38	4	15

10.4 Tabla de Índices de Cambio Climático.

Tabla 1. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3004.

Indices	Pendiente	Valor de P
su25	0.338	0.274
id0	0	NaN
tr20	-0.294	0.049
fd0	-0.002	0.844
su30	0.209	0.418
id24	-0.338	0.238
tr13	-0.428	0.03
fd7.5	0.253	0.192
gsl	0.001	0.647
txx	-0.002	0.872
txn	0.004	0.844
tnx	-0.027	0.017
tnn	0.014	0.307
tx10p	-0.06	0.467
tx90p	0.053	0.311
tn10p	-0.009	0.787
tn90p	-0.085	0.11
wsgi	0.211	0.04
csdi	0.01	0.846
dtr	0.031	0.013
rx1day	0.309	0.129
rx5day	0.505	0.051
sdi	-0.005	0.926
r10mm	0.029	0.083
r20mm	0.011	0.294
R25mm	0.017	0.063
cdd	-0.722	0.174
cwd	0.018	0
r95p	0.877	0.028
r99p	-0.181	0.479
prcptot	1.208	0.037

Tabla 2. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3005.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.275	0.14
id0	0	NaN
tr20	-0.78	0
fd0	0	NaN
su30	0.554	0.044
id27	-0.37	0.081
tr14	-1.151	0
fd19	1.019	0
gsl	0	0.924
txx	0.025	0.048
txn	0.012	0.201
tnx	-0.049	0
tnn	-0.024	0.094
tx10p	-0.033	0.361
tx90p	0.223	0.009
tn10p	0.19	0
tn90p	-0.253	0
wsgi	0.5	0.006
csdi	0.347	0
dtr	0.06	0
rx1day	0.026	0.944
rx5day	-0.071	0.9
sdi	0.042	0.502
r10mm	-0.003	0.858
r20mm	-0.004	0.768
R25mm	-0.006	0.656
cdd	-0.133	0.718
cwd	-0.004	0.591
r95p	0.591	0.389
r99p	0.274	0.639
prcptot	0.276	0.769

Tabla 3. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3008.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.933	0
id0	0	NaN
tr20	-0.395	0.074
fd0	0	NaN
su33	1.232	0
id28	-1.152	0
tr16	-0.604	0.03
fd11	0.18	0.424
gsl	-0.001	0.833
txx	0.061	0
txn	0.032	0.026
tnx	-0.023	0.128
tnn	0.008	0.584
tx10p	-0.385	0
tx90p	0.196	0
tn10p	0.066	0.062
tn90p	-0.263	0.004
wsgi	0.433	0.005
csdi	0.111	0.158
dtr	0.062	0
rx1day	0.285	0.282
rx5day	0.495	0.207
sdi	-0.024	0.732
r10mm	0.024	0.192
r20mm	0.021	0.065
R25mm	0.017	0.074
cdd	-0.702	0.084
cwd	0.002	0.779
r95p	0.231	0.74
r99p	0.118	0.851
prcptot	1.163	0.145

Tabla 4. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3012.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.148	0.253
id0	0	NaN
tr20	-1.025	0
fd0	0.001	0.5
su34	0.798	0
id28.5	-0.228	0.137
tr15	-1.342	0
fd10	1.238	0
gsl	-0.003	0.295
txx	0.022	0.002
txn	0.012	0.418
tnx	-0.068	0
tnn	-0.036	0
tx10p	-0.11	0.012
tx90p	0.123	0.007
tn10p	0.423	0
tn90p	-0.465	0
wsgi	0.01	0.914
csdi	0.967	0
dtr	0.082	0
rx1day	0.164	0.332
rx5day	0.299	0.178
sdi	0.01	0.727
r10mm	0.024	0.184
r20mm	0.015	0.216
R25mm	0.013	0.252
cdd	-0.189	0.491
cwd	0.011	0.121
r95p	0.399	0.302
r99p	0.006	0.979
prcptot	0.918	0.118

Tabla 5. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3013.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	-0.534	0.002
id0	0	NaN
tr20	-0.391	0.124
fd0	0.002	0.076
su34	-0.446	0.099
id29	0.841	0
tr15	-0.275	0.302
fd8	0.416	0.162
gsl	0.015	0.255
txx	-0.012	0.442
txn	-0.053	0.004
tnx	-0.029	0.087
tnn	-0.032	0.003
tx10p	0.129	0.009
tx90p	-0.176	0.008
tn10p	0.007	0.891
tn90p	-0.321	0.001
wsgi	-0.304	0.024
csdi	-0.034	0.725
dtr	-0.003	0.84
rx1day	0.348	0.116
rx5day	0.66	0.049
sdi	0.113	0.066
r10mm	0.055	0.015
r20mm	0.039	0.006
R25mm	0.024	0.049
cdd	0.242	0.558
cwd	0.006	0.507
r95p	0.936	0.052
r99p	0.138	0.652
prcptot	1.961	0.012

Tabla 6. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3014.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.377	0.043
id0	0	NaN
tr20	-0.935	0
fd0	0.008	0.169
su31	0.127	0.541
id26	-0.467	0.02
tr15	-1.315	0
fd9	0.712	0
gsl	-0.002	0.556
txx	-0.005	0.715
txn	0.002	0.914
tnx	-0.062	0
tnn	-0.011	0.444
tx10p	-0.096	0.048
tx90p	0.01	0.825
tn10p	0.125	0.002
tn90p	-0.479	0
wsgi	-0.076	0.269
csdi	0.079	0.107
dtr	0.067	0
rx1day	0.784	0
rx5day	0.808	0
sdi	0.271	0
r10mm	0.03	0.021
r20mm	0.034	0
R25mm	0.032	0
cdd	0.61	0.38
cwd	0	0.989
r95p	1.217	0
r99p	0.64	0.006
prcptot	1.653	0

Tabla 7. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3027.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	1.215	0
id0	0	NaN
tr20	-0.711	0
fd0	0	NaN
su29	1.202	0
id24	-0.765	0.002
tr13	-0.652	0.008
fd10	-0.01	0.975
gsl	0	0.967
txx	0.015	0.131
txn	0.042	0.006
tnx	-0.062	0
tnn	0.034	0.015
tx10p	-0.1	0.011
tx90p	0.306	0
tn10p	-0.026	0.494
tn90p	-0.172	0.004
wsgi	0.88	0
csdi	0.049	0.371
dtr	0.065	0
rx1day	0.384	0.02
rx5day	0.511	0.014
sdi	0.197	0.002
r10mm	0.022	0.105
r20mm	0.01	0.155
R25mm	0.017	0.002
cdd	0.732	0.324
cwd	0.001	0.775
r95p	0.901	0.002
r99p	0.567	0.02
prcptot	0.807	0.02

Tabla 8. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3029.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.331	0.076
id0	0	NaN
tr20	-0.087	0.534
fd0	0	NaN
su34	0.793	0.002
id29	-0.651	0.014
tr16	-0.221	0.186
fd11	0.782	0
gsl	0	0.855
txx	0.026	0.036
txn	0.009	0.539
tnx	-0.013	0.119
tnn	-0.031	0
tx10p	-0.178	0.008
tx90p	0.083	0.112
tn10p	0.138	0.006
tn90p	-0.189	0.001
wsgi	0.015	0.864
csdi	-0.009	0.94
dtr	0.053	0
rx1day	0.414	0.03
rx5day	0.363	0.092
sdii	0.06	0.076
r10mm	0.011	0.471
r20mm	0.001	0.884
R25mm	0.003	0.678
cdd	0.25	0.515
cwd	0.001	0.803
r95p	0.418	0.167
r99p	0.464	0.08
prcptot	0.524	0.251

Tabla 9. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3036.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	-0.04	0.89
id0	0	NaN
tr20	0.818	0
fd0	0	NaN
su31	-0.168	0.642
id25	-0.041	0.878
tr18	0.885	0
fd14	-0.955	0.013
gsl	-0.001	0.88
txx	-0.003	0.852
txn	-0.041	0.048
tnx	0.012	0.072
tnn	0.02	0.047
tx10p	-0.061	0.149
tx90p	-0.201	0.077
tn10p	-0.295	0
tn90p	0.065	0.048
wsgi	-0.898	0.003
csdi	-0.632	0.001
dtr	-0.034	0.052
rx1day	0.956	0.013
rx5day	1.293	0.01
sdii	0.038	0.159
r10mm	-0.013	0.568
r20mm	0.022	0.208
R25mm	0.008	0.578
cdd	0.062	0.825
cwd	0.007	0.458
r95p	2.012	0.011
r99p	2.047	0.001
prcptot	1.5	0.11

Tabla 10. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3018.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	0.295	0.011
id0	0	NaN
tr20	-0.267	0.001
fd0	0.008	0.011
su31	0.383	0
id24	-0.363	0.001
tr18	-0.277	0
fd10	0.49	0
gsl	0	0.905
txx	0.034	0
txn	0.019	0.034
tnx	-0.024	0.001
tnn	-0.015	0.042
tx10p	-0.046	0.009
tx90p	0.274	0
tn10p	0.252	0
tn90p	-0.122	0
wsvi	0.772	0
csdi	0.53	0
dtr	0.051	0
rx1day	0.661	0.003
rx5day	0.74	0.002
sdi	0.123	0.001
r10mm	0.022	0.032
r20mm	0.014	0.02
R25mm	0.011	0.025
cdd	-0.909	0.015
cwd	0.008	0.018
r95p	1.044	0
r99p	0.829	0.002
prcptot	1.376	0

Tabla 11. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3039.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	1.718	0
id0	0	NaN
tr20	-0.974	0
fd0	0	NaN
su33	1.01	0
id24	-1.366	0
tr14	-1.113	0
fd7	0.822	0.001
gsl	0	0.873
txx	0.063	0
txn	0.035	0.104
tnx	-0.046	0.002
tnn	-0.047	0
tx10p	-0.475	0.001
tx90p	0.223	0
tn10p	0.164	0.052
tn90p	-0.312	0
wsgi	0.303	0.007
csdi	0.243	0.238
dtr	0.128	0
rx1day	0.432	0.093
rx5day	0.496	0.075
sdi	0.073	0.092
r10mm	0.001	0.963
r20mm	0.002	0.874
R25mm	-0.007	0.474
cdd	-0.05	0.914
cwd	0.008	0.332
r95p	0.39	0.35
r99p	0.684	0.051
prcptot	0.248	0.686

Tabla 12. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3049.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	-0.13	0.258
id0	0	NaN
tr20	0.072	0.437
fd0	0	NaN
su33	0.588	0
id28	-0.114	0.322
tr18	-0.028	0.745
fd11	0.298	0.006
gsl	0.003	0.398
txx	0.021	0.004
txn	0.004	0.786
tnx	0.007	0.352
tnn	0.002	0.82
tx10p	-0.081	0.006
tx90p	0.187	0
tn10p	-0.013	0.638
tn90p	-0.011	0.684
wsgi	0.33	0.003
csdi	0.049	0.131
dtr	0.02	0
rx1day	0.525	0.183
rx5day	0.742	0.193
sdii	0.118	0.004
r10mm	-0.06	0.029
r20mm	-0.018	0.336
R25mm	0.004	0.826
cdd	0.485	0.131
cwd	-0.024	0.017
r95p	1.584	0.17
r99p	0.962	0.335
prcptot	-0.185	0.884

Tabla 13. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3050.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	0.151	0.402
id0	0	NaN
tr20	0.041	0.829
fd0	0	NaN
su31	0.376	0.023
id26	-0.282	0.109
tr19	0.155	0.412
fd11	-0.223	0.229
gsl	-0.001	0.596
txx	-0.006	0.447
txn	-0.008	0.556
tnx	-0.023	0.037
tnn	0.025	0.024
tx10p	-0.079	0.036
tx90p	0.042	0.212
tn10p	-0.21	0
tn90p	-0.039	0.328
wmdi	0.063	0.352
csdi	-0.207	0.11
dtr	0.007	0.57
rx1day	0.631	0.315
rx5day	1.155	0.163
sdi	0.035	0.496
r10mm	-0.005	0.794
r20mm	-0.005	0.705
R25mm	-0.008	0.542
cdd	-0.239	0.411
cwd	0.006	0.372
r95p	0.888	0.41
r99p	1.761	0.065
prcptot	0.621	0.601

Tabla 14. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3051.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	0.033	0.809
id0	0	NaN
tr20	-0.182	0.36
fd0	0	NaN
su33	0.902	0.001
id29	-0.336	0.084
tr15	-0.268	0.082
fd9	0.001	0.994
gsl	-0.001	0.814
txx	0.03	0.033
txn	0	0.982
tnx	0.002	0.909
tnn	0.012	0.172
tx10p	-0.084	0.021
tx90p	0.398	0
tn10p	-0.023	0.538
tn90p	-0.122	0.097
wsgi	1.266	0
csdi	-0.041	0.59
dtr	0.036	0.002
rx1day	0.519	0.41
rx5day	1.167	0.144
sdi	0.203	0.03
r10mm	-0.027	0.483
r20mm	-0.009	0.703
R25mm	-0.012	0.586
cdd	0.187	0.558
cwd	-0.016	0.436
r95p	2.245	0.05
r99p	1.102	0.267
prcptot	1.131	0.473

Tabla 15. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3052.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.555	0.001
id0	0	NaN
tr20	0.013	0.918
fd0	0.012	0.111
su32	0.105	0.615
id26	-0.594	0
tr13	-0.086	0.704
fd8	0.186	0.355
gsl	0	0.87
txx	0.015	0.066
txn	0.011	0.543
tnx	0.025	0.172
tnn	-0.004	0.752
tx10p	-0.113	0.005
tx90p	0.077	0.306
tn10p	0.062	0.278
tn90p	0.014	0.822
wsgi	-0.192	0.425
csdi	0.127	0.456
dtr	0.026	0.033
rx1day	0.733	0.004
rx5day	0.962	0.015
sdii	0.095	0.045
r10mm	0.018	0.231
r20mm	0.034	0.002
R25mm	0.023	0.01
cdd	0.139	0.709
cwd	0.009	0.148
r95p	1.508	0.004
r99p	0.986	0.004
prcptot	1.536	0.01

Tabla 16. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3056.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	0.302	0.14
id0	0	NaN
tr20	-0.5	0.015
fd0	0	NaN
su31	0.61	0.069
id27	-0.629	0.017
tr20	-0.5	0.015
fd14	0.551	0
gsl	-0.012	0.058
txx	0.023	0.025
txn	0.04	0.002
tnx	-0.023	0.003
tnn	-0.028	0.025
tx10p	-0.094	0.051
tx90p	0.357	0.005
tn10p	0.055	0.235
tn90p	-0.292	0
wsgi	1.038	0.005
csdi	-0.029	0.788
dtr	0.05	0
rx1day	-0.558	0.455
rx5day	0.185	0.848
sdi	0.008	0.91
r10mm	0.027	0.183
r20mm	0.025	0.144
R25mm	0.021	0.159
cdd	-0.05	0.895
cwd	0.004	0.616
r95p	-0.609	0.554
r99p	-0.568	0.523
prcptot	0.479	0.685

Tabla 17. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3058.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	-0.08	0.584
id0	0	NaN
tr20	0.693	0.001
fd0	0	NaN
su34	-0.218	0.256
id28	0.02	0.902
tr17	0.5	0.018
fd11	0.134	0.548
gsl	0	0.934
txx	-0.01	0.312
txn	-0.014	0.395
tnx	0.018	0.142
tnn	-0.035	0.011
tx10p	0.014	0.777
tx90p	-0.064	0.202
tn10p	-0.063	0.369
tn90p	0.081	0.089
wsgi	-0.108	0.183
csdi	-0.181	0.258
dtr	-0.018	0.11
rx1day	0.22	0.52
rx5day	0.37	0.432
sdi	0.002	0.972
r10mm	-0.029	0.234
r20mm	-0.01	0.626
R25mm	-0.026	0.156
cdd	0.299	0.351
cwd	-0.011	0.332
r95p	0.204	0.786
r99p	-0.075	0.909
prcptot	-0.691	0.519

Tabla 18. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3061.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	0.126	0.238
id0	0	NaN
tr20	-0.112	0.301
fd0	0	NaN
su32	0.281	0.038
id25	-0.219	0.034
tr19	0.03	0.804
fd14	-0.299	0.023
gsl	-0.017	0.153
txx	-0.002	0.856
txn	0.028	0.011
tnx	-0.02	0.011
tnn	0.01	0.304
dtr	0.01	0.109
rx1day	-0.446	0.084
rx5day	-0.605	0.049
sdi	0.005	0.93
r10mm	-0.017	0.136
r20mm	-0.009	0.299
R25mm	-0.008	0.3
cdd	0.01	0.978
cwd	-0.009	0.117
r95p	-0.69	0.135
r99p	-0.31	0.367
prcptot	-0.83	0.127
R25mm	-0.026	0.156
cdd	0.299	0.351
cwd	-0.011	0.332
r95p	0.204	0.786
r99p	-0.075	0.909
prcptot	-0.691	0.519

Tabla 19. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3062.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.138	0.285
id0	0	NaN
tr20	-0.151	0.075
fd0	-0.003	0.325
su35	0.351	0.116
id29	-0.403	0.016
tr18	-0.217	0.023
fd10	0.658	0
gsl	0	0.897
txx	0.004	0.655
txn	0.004	0.787
tnx	-0.022	0.002
tnn	-0.002	0.857
dtr	0.04	0
rx1day	0.241	0.458
rx5day	0.486	0.288
sdii	-0.027	0.51
r10mm	-0.004	0.874
r20mm	-0.003	0.863
R25mm	0.008	0.486
cdd	-0.112	0.707
cwd	0.016	0.03
r95p	0.352	0.624
r99p	0.127	0.789
prcptot	0.566	0.524
R25mm	-0.026	0.156
cdd	0.299	0.351
cwd	-0.011	0.332
r95p	0.204	0.786
r99p	-0.075	0.909
prcptot	-0.691	0.519

Tabla 20. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3066.

Indices	Pendiente	valor de P
su25	-0.175	0.448
id0	0	NaN
tr20	-0.719	0
fd0	0	NaN
su29	-0.018	0.93
id25	0.006	0.979
tr18	-0.749	0
fd12	1.087	0
gsl	0.001	0.846
txx	0.034	0.004
txn	-0.014	0.206
tnx	-0.021	0.015
tnn	-0.046	0.001
dtr	0.044	0
rx1day	0.619	0.025
rx5day	0.85	0.035
sdi	0.112	0.005
r10mm	0	0.987
r20mm	0.015	0.258
R25mm	0.01	0.338
cdd	0.353	0.368
cwd	-0.005	0.536
r95p	1.049	0.046
r99p	0.837	0.014
prcptot	0.82	0.238
R25mm	-0.026	0.156
cdd	0.299	0.351
cwd	-0.011	0.332
r95p	0.204	0.786
r99p	-0.075	0.909
prcptot	-0.691	0.519

Tabla 21. Índices de cambio climático correspondientes a la estación 3074.

Índices	Pendiente	valor de P
su25	0.813	0
id0	0	NaN
fd0	0	NaN
su33	1.176	0
id26	-0.691	0
tr18	-0.044	0.825
fd13	0.088	0.729
gsl	0.003	0.399
txx	0.042	0
txn	0.023	0.028
tnx	0.002	0.757
tnn	0.001	0.929
dtr	0.049	0
rx1day	0.045	0.821
rx5day	0.088	0.737
sdii	0.01	0.738
r10mm	-0.007	0.689
r20mm	-0.007	0.595
R25mm	-0.007	0.484
cdd	0.434	0.157
cwd	0.002	0.711
r95p	0.245	0.558
r99p	0.274	0.363
prcptot	0.032	0.958
R25mm	-0.026	0.156
cdd	0.299	0.351
cwd	-0.011	0.332
r95p	0.204	0.786
r99p	-0.075	0.909
prcptot	-0.691	0.519

10.5 BASE DE DATOS CLIMÁTICA CON CONTROL DE CALIDAD.