

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA**



Cálculo de Índices de Cambio Climático para el Municipio de Saltillo,
Coahuila, México

Por:

SILVIA VÁSQUEZ SALDAÑA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA

Cálculo de Índices de Cambio Climático para el Municipio de Saltillo,
Coahuila, México

POR:

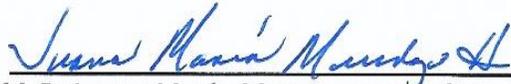
SILVIA VÁSQUEZ SALDAÑA

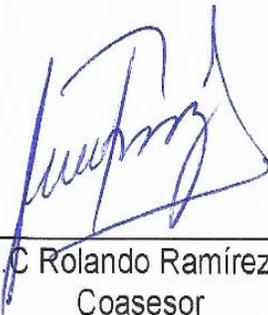
TESIS

**Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
requisito para obtener el título de:**

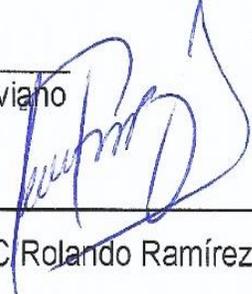
INGENIERO AGRONOMO ADMINISTRADOR

Aprobada por:


M.C Juana María Mendoza Hernández
Asesor Principal


M.C Rolando Ramírez Segoviano
Coasesor


M.C Roberto Constancio Torres Ramírez
Coasesor


M.C Rolando Ramírez Segoviano
Coordinador de la División de Ciencias Socioeconómicas

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 202

DECLARACION DE NO PLAGIO

DECLARO QUE:

La presente investigación titulada **“Cálculo de Índices de Cambio Climático para el Municipio de Saltillo, Coahuila, México”** es una elaboración propia, sin contener de forma total o parcial citas, imágenes, tesis, artículos y otras obras sin tener cita referida, donde señale su autor.

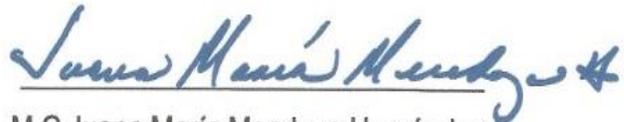
Estando consiente que, en caso de cometer plagio, será objeto de sanción por medio del Comité Editorial y/o legales, así mismo como el derecho de no aprobación de la misma.

ALUMNO



Silvia Vásquez Saldaña

ASESOR PRINCIPAL



M.C Juana María Mendoza Hernández

AGADECIMIENTOS

Dios

Mi infinita gratitud a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento de mi vida. Por haberme brindado amigos y maestros que con su cariño, consejos y enseñanzas dejaron marcada mi vida.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Mi profundo agradecimiento a mi alma mater por recibirme y acogerme en su seno; agradezco formar parte de esta gran familia, por permitir realizarme como profesionalista, adquiriendo conocimientos de diversas formas.

Gracias por permitirme conocer a mis compañeros que se convirtieron en buenos amigos y a maestros que se convirtieron como en padres en este camino.

Gracias **M.C Juana María Mendoza Hernández**, por todas las facilidades que me brindó durante el trabajo de investigación, por su dedicación, los consejos y por su confianza para realizar un trabajo de gran importancia.

Gracias **M.C Roberto Constancio Torres Ramírez**, por su tiempo, colaboración y buenos consejos para realizar este proyecto de investigación donde fortaleció mis conocimientos.

Gracias **M.C Rolando Ramírez Segoviano**, por todo su apoyo y colaboración, no solo en el trabajo de investigación, si no durante toda mi estancia en la Universidad desde el primer momento en el que llegue a la Universidad.

A mis amigos:

Julisa Guadalupe Millán Tapia, Gustavo Pedraza Vicuña, Iñer Francisco López Díaz

Gracias por su infinita amistad, por estar siempre conmigo, por todos los buenos, malos momentos que pasamos a lo largo de estos 5 años, por sus consejos y palabras que fueron motivación para seguir adelante.

Gracias a todas las personas que contribuyeron en mi investigación.

DEDICATORIA

A mis padres:

Eduarda Saldaña Estrada y Victorino Vásquez Mérida.

Por todo el sacrificio y esfuerzo que realizaron para darme todo lo necesario a lo largo de estos 5 años en la Universidad, gracias por creer en mí, por brindarme siempre su apoyo, comprensión y cariño.

A mi Hermana:

Luisa Fernanda Vásquez Saldaña

Por todo su apoyo brindado durante este proceso, por los consejos y el ánimo recibido.

A mi abuelita:

Elodia Estrada Olivares

Por el apoyo recibido durante todo el tiempo en mi estancia en la Universidad, los buenos consejos, sus buenos deseos, por creer en mí y siempre estar cuando la necesitaba.

A mi abuelita:

Julia Mérida

Por los buenos consejos, sus buenos deseos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	1
INTRODUCCIÓN	3
Problemática	4
Justificación.....	4
Objetivos	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
Hipótesis	5
Metodología	6
Índices establecidos para Saltillo	7
CAPITULO I MARCO TEÓRICO	9
1.1. Migración de especies vegetales	11
1.2. Cambio climático y efecto invernadero.....	12
1.3. Consecuencias del cambio climático.....	13
1.4. Cambio climático en México.....	14
1.5. Cambio climático en la agricultura.....	16
1.6. Aportación de la agricultura al cambio climático.....	18
1.7. Importancia de la medición en el cambio climático	18
1.8. Población y cambio climático	20
CAPITULO II ÁREA DE ESTUDIO	22

2.1. Estado de Coahuila	22
2.2. Agricultura para el Estado de Coahuila	24
2.4. Clima de Saltillo.....	27
2.5. Eventos extremos climáticos.....	27
2.6. Agricultura en el municipio de saltillo	28
2.7. Superficie sembrada y superficie cosechada en Saltillo.....	28
CAPITULO III RESULTADOS	30
3.1 SU25 (días con temperatura mayor a 25°C)	30
3.2. TXx (máxima de temperatura máxima)	31
3.3. TNx (máxima de temperatura mínima).....	32
3.4. TXn (mínima de temperatura máxima).....	32
3.5. TNn (mínima de temperatura mínima)	33
3.6. TX90P (días cálidos).....	34
3.7. Días fríos (TX10P)	35
3.8. TN90P (Noches cálidas)	35
3.9. TN10P (Noches frías)	36
3.10. WSDI (Duración de períodos cálidos)	37
3.11 ICDS (Duración de períodos fríos)	38
3.12. DTR (Oscilación temperaturas).....	39
3.13. Rx1 (Máxima lluvia en 1 día).....	40
3.14. Rx5 (Lluvia máxima en 5 días consecutivos)	40
3.15. SDII (Índice simple de intensidad diaria).....	41
3.16. R10 (Días con precipitación mayor a 10 mm)	42
3.17. R20 (Días con precipitación mayor a 20 mm)	43
3.18. R5 (Días con precipitación sobre 5)	44

3.19. CDD (Días secos consecutivos).....	44
3.20. CWD (Días húmedos consecutivos)	45
3.21. RRCPTOT Lluvia total anual en días húmedos.....	46
3.22. Días húmedos	46
3.23. FD (Días con helada, temperatura min igual o menor que 0° C).....	47
3.24. TR Noches tropicales, Temperatura mínima > 15°C.....	48
3.25. ID (Días muy fríos, Temperatura máxima menor a 10°C)	49
3.26 Periodo libre de helada	50
CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES	54
LITERATURA CITADA	55
ANEXO METODOLOGICO	60
INDICES MODIFICADOS PARA SALTILLO	69
GLOSARIO.....	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cultivos en Saltillo	28
Cuadro 2. Noches cálidas y no cálidas según período.....	49
Cuadro 3. Utilidad de los índices.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de Coahuila	23
Figura 2. Mapa de Coahuila	24
Figura 3. Superficie sembrada y cosechada para Coahuila	25
Figura 4. Localización de Saltillo, Coahuila	26
Figura 5 Superficie sembrada y cosechada para saltillo	29
Figura 6. Días con temperaturas mayores a 25 °C	30
Figura 7. Máxima de temperatura máxima	31
Figura 8. Máxima de temperatura mínima	32
Figura 9. Mínima de temperatura máxima	33
Figura 10. Mínima de temperatura mínima.....	34
Figura 11. Días cálidos.....	34
Figura 12. Días fríos.....	35
Figura 13. Noches calientes.....	36
Figura 14. Noches frías	37
Figura 15. Duración de períodos calientes	38
Figura 16. Duración de períodos fríos	39
Figura 17. Oscilación temperaturas.....	39
Figura 18. Máxima lluvia en 1 día.....	40
Figura 19. Lluvia máxima en 5 días consecutivos	41
Figura 20 Índice simple de intensidad diaria	42
Figura 21 Días con precipitación mayor a 10 mm	42

Figura 23. Días con precipitación sobre 5	44
Figura 24. Días secos consecutivos	45
Figura 25. Días húmedos consecutivos.....	45
Figura 26. Días húmedos consecutivos.....	46
Figura 27. Días húmedos	47
Figura 28. Días con helada	48
Figura 29. Noches tropicales.....	48
Figura 30. Días muy fríos	50
Figura 31. Periodo libre de heladas.....	51

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático es una variación de los eventos meteorológicos de varios años con respecto a un corto periodo de años, estos cambios se deben a diversas causas, lo cual implica consecuencias en distintos sectores.

Se adaptaron y modificaron 25 índices de cambio climático para el municipio de Saltillo, Coahuila los cuales se basaron en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Dichos índices están agrupados en varios tipos: basados en percentiles, como los que indican noches y días fríos, los días en que la temperatura está por abajo del percentil 10¹; noches y días cálidos en los que la temperatura está por arriba del percentil 90². Los índices de valores absolutos, que comprenden los índices TXX, temperatura máxima de máximas durante el día, TNx, temperatura máxima de las mínimas, índice TXn este índice indica la temperatura mínima de las máximas, TNn temperatura mínima de las mínimas, Rx1, la lluvia máxima en un día, Rx5 lluvia máxima en un periodo de 5 días consecutivos. Índices definidos por umbrales, días en que la temperatura o la lluvia sobrepasan un umbral definido, el índice FD nos indica los días donde la temperatura fue menor a 0°C, ID, índice de los días fríos, en los que la temperatura durante el día fue menor a 10°C, SU25 indica los días donde la temperatura fue mayor a los 25°C, TR índice de las noches tropicales, donde la temperatura mínima fue mayor a 15°C, R10mm indica los días donde la lluvia fue mayor a 20 milímetros, R20mm en este índice hace referencia a los días donde la precipitación fue mayor a 10 milímetros, R5mm nos indica los días donde la precipitación fue mayor a 5 milímetros. Índices comprendidos en periodos: estos índices hacen referencia a períodos, como el índice CSDI que indica los

¹ 10 por ciento de datos que son menor a un determinado valor.

² 90 por ciento de datos que son mayor a un determinado valor.

periodos con heladas, donde la temperatura fue menor que 0°C; WSDI este índice nos indica el periodo de días cálidos donde la temperatura fue mayor a 25°C; CDD periodo de días secos, días sin lluvia; CWD periodo durante el cual se tienen dos o más días consecutivos de precipitación. Otros índices: RRCTTOT indica la precipitación total, DTR hace referencia a la oscilación térmica, es decir, la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima, SDII indica la intensidad diaria de precipitación, DIAS HUMEDOS nos indica los días totales de lluvia.

En los resultados obtenidos, no se muestra gran significancia en algunos índices, pero en otros se observa un comportamiento constante que demuestra algún cambio, los periodos fríos cada vez disminuyen, los periodos secos (días sin lluvia) cada vez aumentan, las noches tropicales han aumentado a partir del 2010, el periodo libre de heladas ha aumentado hasta llegar a tener 345 días. Se elaboró la fórmula climática de Saltillo, por el método de Koeppen, modificado por Enriqueta García, para dos periodos de tiempo: 1948-1978 y 1987-2017) encontrándose que, la fórmula climática para el primer período: **BS₀ h x'(w)(e) n**; pasó a ser **BS₀ h w(x')(e) n** observando un cambio en la distribución de las lluvias, que pasaron de lluvias todo el año, más marcadas en verano, a lluvias de verano, con tendencia a llover todo el año, lo cual estaba predicho en las proyecciones climáticas para el estado de Coahuila para el escenario del año 2020 (J Mendoza, 2012)

Haciéndose presente, por lo tanto, hasta el año 2017, la gestación de un cambio climático, por lo que, se recomienda realizar estudios posteriores de los ciclos obtenidos en cada índice, en un período de tiempo más corto, así como, la actualización de datos hasta la fecha, de ser posible.

Palabras clave: cambio climático, índices, fórmula climática, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, percentil, período, umbral, absoluto.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un hecho, en los últimos años se han observado en todo el mundo eventos extraordinarios que así lo demuestran, provocados por cambios en la variabilidad natural del clima, misma que puede estar siendo afectada por el Calentamiento Global.

El municipio de Saltillo no puede ser ajeno a estos cambios, sin embargo, hasta ahora no existen indicadores que demuestren si estos cambios que están sucediendo, realmente representan un cambio en su clima, es decir la magnitud del cambio, si es que se está presentando.

No puede haber sustento al definir los cambios en el clima basados únicamente en valores promedio de los parámetros meteorológicos, es necesario establecer indicadores climáticos que consideren los cambios en los valores extremos de éstos, para no dejar duda de la existencia o no de estos cambios, es decir, la aplicación de una metodología que avale los resultados y los sustente; cabe aclarar que la presente investigación se acota al año de 2017, por ser la información a la que se tuvo acceso.

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) formado conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (WMO), el Proyecto de Variabilidad Climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), propusieron un conjunto de 27 índices de cambio climático, que, con algunas variantes, podrían usarse para el municipio de Saltillo, Coahuila, considerando que hay suficiente información meteorológica como para establecerlos.

El presente trabajo cuenta con tres capítulos los cuales serán descritos a continuación: Capítulo I Marco teórico: recopilación de literatura donde se mencionan diversos temas disponibles sobre el cambio climático, para la mejor comprensión de esta investigación.

En el Capítulo II se describe la ubicación del área donde se realizó la investigación siendo el municipio de Saltillo, Coahuila; al mismo tiempo se describe el clima, eventos extraordinarios y la agricultura de dicho municipio, para pasar al análisis de resultados en el capítulo III, mostrando a detalle los 27 índices establecidos y calculados para el municipio de Saltillo, Coahuila, considerando si los datos fueron significativos o solo es variabilidad natural.

Problemática

La ciudad de Saltillo no cuenta con indicadores climáticos que puedan precisar si el clima está cambiando realmente o sólo es la variabilidad natural del clima.

Justificación

El cambio climático es una serie de fenómenos meteorológicos fuera de lo normal que afecta a todo el planeta, cada vez más acelerado por la actividad humana; el deterioro ambiental, la explosión demográfica y el estancamiento económico, se citan a menudo como los problemas centrales a largo plazo del hombre moderno, la supervivencia de la sociedad humana depende de la velocidad y la eficacia con lo que el mundo responde a estos temas; sin embargo, solo una pequeña fracción de la población mundial está activamente preocupada con la comprensión de estos problemas o la búsqueda de sus soluciones. (Donella, Dennis, Jorgen, & William, 1972)

De seguir con la tendencia actual del clima, ¿los agricultores podrán seguir sembrando en las fechas que establecieron?, ¿será seguro viajar en periodos

vacacionales?, para ello es necesario contar con indicadores climáticos que sustenten el cambio climático que se vive en el municipio de Saltillo, Coahuila.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar y definir los índices de cambio climático; con su valor numérico para determinar si el clima está cambiando y fortalecer la toma de decisiones en todos los niveles para el desarrollo de la entidad.

-

Objetivos específicos

- Identificar los lineamientos establecidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), para la formulación de los índices de cambio climático en Saltillo.
- Automatizar datos en Excel para un mejor manejo, para la primera etapa de la investigación.
- Sentar las bases para un seguimiento y mantenimiento de los índices, que permitan su actualización constante.

Hipótesis

El clima de la ciudad de Saltillo, Coahuila como el de todo el mundo, ha cambiado con el paso del tiempo.

Metodología

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través del Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) ha propuesto un conjunto de 27 índices de cambio climático para uso de escala global, los cuales son los siguientes:

1. FD, Número de días de heladas
2. SU, Número de días de verano
3. ID, Número de días de formación de hielo
4. TR, Número de noches tropicales
5. GSL, Duración de la temporada de cultivo
6. TX x , Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria
7. TN x , Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria
8. TX n , Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria
9. TN n , Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria
10. TN $10p$, Porcentaje de días cuando TN <10 ° percentil
11. TX $10p$, Porcentaje de días cuando TX <10 ° percentil
12. TN $90p$, Porcentaje de días en que TN > 90 ° percentil
13. TX $90p$, Porcentaje de días cuando TX > 90 ° percentil
14. WSDI, Duración de periodos calientes
15. ICDS, Índice simple de intensidad diaria
16. DTR, Rango de temperatura diaria
17. Rx1day, precipitación máxima mensual de 1 día
18. Rx5day, precipitación máxima mensual consecutiva de 5 días
19. SDII Índice de intensidad de precipitación simple
20. R10mm Recuento anual de días cuando PRCP \geq 10 mm
21. R20mm Recuento anual de días cuando PRCP \geq 20 mm
22. R nn mm Recuento anual de días cuando PRCP \geq nn mm, nn es un umbral definido por el usuario
23. CDD. Duración máxima de la racha seca, número máximo de días consecutivos con RR <1 mm

- 24.CWD. Duración máxima de la racha húmeda, número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1$ mm
- 25.R95pTOT. PRCP total anual cuando $RR > 95p$
- 26.R99pTOT. PRCP anual total cuando $RR > 99p$
- 27.PRCPTOT. Precipitación total anual en días húmedos (ETCCDI pacificclimate, 2021)

Índices establecidos para Saltillo

Para el municipio de Saltillo, se hicieron modificaciones a algunos índices, se omitieron algunos y se agregaron otros. Las modificaciones se hicieron dadas las características climáticas de la localidad, por ejemplo, las temperaturas mínimas, aún en verano, rara vez llegan a los 20°C, se modificó ese índice a un umbral de 15°C que sí es común que se presente y si daría resultados significativos. Los siguientes 25 índices son los que se utilizaron:

- 1. SU25: Días de verano
- 2. TXx: Máxima de Temperatura máxima
- 3. TNx: Máxima de Temperatura mínima
- 4. TXn: Mínima de Temperatura máxima
- 5. TNn: Mínima de Temperatura mínima
- 6. TN10p: Noches frías
- 7. TN90p: noches calientes
- 8. TX10p: Días fríos
- 9. TX90p: Días calientes
- 10. WSDI: Duración de períodos calientes
- 11. CSDI: Duración de períodos fríos
- 12. DTR: Oscilación temperaturas
- 13. RX1día: Máxima lluvia en 1 día
- 14. RX5días: Lluvia máxima en 5 días consecutivos
- 15. SDII: Índice simple de intensidad diaria

16. R10: Días con precipitación intensa
17. R20: Días con precipitación muy intensa
18. R5: Días con precipitación sobre 5
19. CDD: Días secos consecutivos
20. CWD: Días húmedos consecutivos
21. RRCPTOT: Lluvia total anual en días húmedos
22. RD: Días húmedos
23. FD: Días con helada, temperatura mínima $\leq 0^{\circ}$
24. TR: Noches tropicales, Temperatura mínima $> 15^{\circ}\text{C}$
25. ID: Días muy fríos, Temperatura máxima $< 10^{\circ}\text{C}$

Los índices fueron calculados mediante fórmulas en Excel Microsoft office (véase Anexo metodológico). Para verificar que los resultados fueran correctos, se analizaron como muestra testigo en el software IPCC, en el que se agregaron los datos de temperatura máxima, mínima y precipitación. Los datos fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) acotándose al año 2017, por lo que no se tienen datos hasta la actualidad, comprendiendo un periodo de 68 años.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

Existe ahora, un consenso del 97% de confianza entre los científicos del clima, que la actividad antropogénica es la principal causante del calentamiento global desde el siglo XX, y que éste, está asociado a las acciones humanas, principalmente a la quema de combustibles fósiles y a procesos de cambio de uso de suelo (fundamentalmente a la deforestación). Se ha observado que con el aumento de un 35% de las concentraciones de dióxido de carbono desde el inicio de la era industrial (1790), la temperatura de la Tierra ha aumentado más de 1°C, (IPCC AR6, 2021) en algunas regiones; así mismo, para el mismo período, las concentraciones de metano aumentaron en un 148% y de óxido nitroso en un 18%, considerados como los principales gases de efecto invernadero. (Ímaz Gispert, 2013)

Éste aumento en la temperatura global trae consecuencias muy graves para el futuro de la humanidad; como el ascenso en el nivel del mar, el deshielo de los polos, eventos meteorológicos más intensos, cambios en la distribución de las lluvias, que podrían provocar sequías muy severas e inundaciones (El confidencial , 2020). De seguir el comportamiento actual para 2030, la temperatura podría aumentar 2°C y no se lograría la meta de la COP 21: 2.5°C; lo cual sería catastrófico, pues para 2100, la temperatura podría llegar a más de 3°C y el cambio climático podría tornarse irreversible. (IPCC AR6, 2021)

Durante los años 1970 al 2000, es claro que no todos los años se obtuvieron los mismos valores de temperatura media anual para todo el mundo. Hubo en ese periodo años mucho más calientes que otros, y aún años en los que las temperaturas máximas (extremas) pusieron en peligro la salud, la agricultura, y en

general, el bienestar humano. Esas temperaturas extremas anómalas, forman parte de fenómenos que se denominan eventos extremos. Así, han aumentado en la mayoría de las regiones terrestres, los días y las noches muy cálidos, así como los llamados golpes de calor, al mismo tiempo ocurrieron lluvias torrenciales y sequías extremas; por otra parte, los huracanes categoría 4 y 5 se han duplicado, no todos tocan tierra, pero el aumento en la frecuencia de estos eventos nos indica que han incrementado los riesgos de pérdidas humanas y de infraestructura en las costas mexicanas, al mismo tiempo pérdida en la agricultura. (Ímaz Gispert, 2013)

En cuanto al clima, se dice que el mejor pronóstico es el que se basa en el clima observado (Garduño, 1995; Gay, 2003) como se citó en (Ímaz Gispert, 2013). Para construirlo, requerimos varias decenas de años de datos del estado del tiempo, para poder saber en promedio, cuál es el clima esperado en un cierto tiempo y lugar.

Las erupciones volcánicas afectan al clima de manera forzada, las cenizas bloquean la entrada de la radiación solar, lo que lleva a que en periodos de meses se presenten temperaturas por debajo de lo normal. Cuando un volcán entra en erupción libera a la atmósfera grandes cantidades de gases y ceniza. En la nube volcánica uno de los gases más importantes es el dióxido de azufre (SO_2), que en su ascenso puede combinarse con el vapor de agua, y así formar con las pequeñas gotas de agua, cristales de ácido sulfúrico y otros sulfatos. Estas partículas van a actuar como espejos reflejando de vuelta al espacio una parte de la radiación procedente del Sol, disminuyendo así la energía total que llega a la superficie terrestre. No todas las erupciones, sin embargo, llegan a producir un impacto apreciable en el clima. Para que el enfriamiento sea prolongado y su efecto sea global, es necesario que la erupción sea lo suficientemente intensa para que la pluma de cenizas volcánicas penetre en la estratosfera. Una vez allí, las partículas pueden distribuirse globalmente gracias al efecto de la circulación estratosférica. En esta capa, además, las partículas de origen volcánico pueden permanecer durante varios años, prolongando así su impacto sobre la temperatura en superficie. (Ortega Montilla Pablo, s.f.)

1.1. Migración de especies vegetales

Para que las plantas y animales sobrevivan al enfrentarse al cambio climático, tienen dos opciones: desplazarse o adaptarse; con la rápida velocidad del cambio climático, destrucción de hábitat natural y aumento de ciudades; las especies no se adaptan y tienden a emigrar.

El cambio climático es sin duda una de las mayores amenazas del mundo natural. Unos investigadores de la Universidad de Purdue en EE.UU., han estudiado la migración de los árboles de las regiones orientales de Estados Unidos en los últimos 30 años. Los árboles se están mudando hacia el oeste a una velocidad de 15,4 km por década, mientras que los que van hacia el norte se mueven a sólo 11 kilómetros por década (Alberto, 2017). Con esto nos podemos dar cuenta que las especies se mueven de lugar porque ya no les es posible adaptarse a cambios en su hábitat mayormente siendo cambios en el clima y no en el tiempo.

Los países desarrollados tendrán que llegar a un acuerdo para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, que son los mayores contaminadores del planeta, que provocan el calentamiento global, tendrán que reducir su dependencia en combustibles fósiles y migrar hacia energías renovables. Si se cumple el Protocolo de París de limitar las futuras emisiones para mantener la temperatura global por debajo del límite 1,5 °C, ayudando a financiar proyectos que ayuden a los más vulnerables a adaptarse; entonces podremos evitar los peores impactos del cambio climático (WWT, 2021), serán beneficiosos los proyectos no solo para algunos países si no para el planeta en su totalidad, ya que subiendo al límite de aumento de temperatura hasta 4°C como es la tendencia, de seguir como vamos actualmente, ya no habrá vuelta atrás, el cambio será irrevdensible, haciendo imposible la vida en todo el planeta.

Al margen del resultado en París, es una realidad que el cambio climático es una de las mayores amenazas del mundo natural. Los líderes del mundo deben ponerse al

día con las ciudades, empresas, grupos religiosos y bancos que ya están tomando acciones reales para detener el cambio climático. (Cornelius, 2015)

1.2. Cambio climático y efecto invernadero

Para iniciar con el tema de cambio climático se hace necesario analizar las definiciones de clima y tiempo, dos conceptos cuya definición crea confusión en cuanto a los cambios en el clima, pero la información que se deriva de estos dos conceptos es la base que sustenta el cambio climático.

- Tiempo, son los eventos atmosféricos que suceden en un instante dado, que pueden ser actuales, pasados o futuros, de cierta duración.
- Clima, en cambio, puede decirse que es el promedio del tiempo en un lugar, estableciendo como mínimo una temporalidad de 30 años, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial. (Juana Maria, 2020)

El cambio climático es una anomalía climática ocasionada por forzamientos en el sistema climático, pueden ser internos, como inestabilidad en la atmósfera y/o el océano, o externos, como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (concentración de gases de efecto invernadero, cambios en el uso de suelo, etc.) resultado de la actividad humana; (O., 2004) multiplicando los fenómenos climáticos extremos afectando al planeta entero.

Se cree que el efecto invernadero es malo, pero no es así, el efecto invernadero es un fenómeno natural y beneficioso que permite mantener un balance en la radiación solar entrante y la radiación saliente, emitida por la superficie terrestre; sin el efecto invernadero no sería posible la vida en el planeta. Determinados gases presentes en la atmósfera retienen parte de la radiación térmica (que luego es emitida) que la superficie terrestre emite, tras ser calentada por el Sol, manteniendo la temperatura del planeta a un nivel adecuado para el desarrollo de la vida. La acción del hombre,

ha aumentado la presencia de estos gases en la atmósfera, principalmente, dióxido de carbono y metano, haciendo que se retenga más calor e incrementando la temperatura planetaria. Es lo que se conoce como calentamiento global.

Consecuencias del calentamiento global:

- La escasez de alimentos
- Propagación de enfermedades y pandemias
- Impacto en la agricultura y la ganadería
- Desertificación de zonas fértiles
- Migraciones de especies
- Huracanes más devastadores
- Inundaciones de islas y ciudades costeras
- Deshielo de masas glaciares

Estrategias de mitigación:

- Usar energías renovables.
- Emplear el transporte público y otros medios no contaminantes, como el vehículo o la bicicleta eléctrica.
- Fomentar la concienciación ecológica entre los ciudadanos y las diferentes administraciones.
- Apostar por el reciclaje y la economía circular.
- Reducir el consumo de carne y el desperdicio de alimentos.
- Consumir productos ecológicos. (IBERDROLA, 2021)

1.3. Consecuencias del cambio climático

Los cambios del clima provocan defunciones y enfermedades debidas a desastres naturales tales como olas de calor, inundaciones y sequías. Además, muchas enfermedades importantes son muy sensibles a los cambios de temperatura y pluviosidad. (OMS, 23). Es probable que se presenten con mayor frecuencia condiciones atmosféricas extremas, como fuertes precipitaciones pluviales que

propiciarían inundaciones y erosión en los suelos, así como sequías frecuentes o permanentes. Las temperaturas extremas, propiciarán olas de calor intensas, aún en lugares que normalmente no las padecen y también inusuales ondas de frío en latitudes bajas. Algunas regiones basan su economía en el turismo, tanto de playa como invernal; enfrentarán problemas con el aumento de calor y el nivel del mar; las áreas de sequía, las inundaciones, tormentas y avalanchas, afectarán los espacios recreativos y la infraestructura turística, principalmente con los eventos extremos. (Manuel, 2009). El cambio climático representa una amenaza significativa para la supervivencia de las especies y para el mantenimiento de la biodiversidad.

El cambio climático reduce la funcionalidad, estabilidad y adaptabilidad de los ecosistemas, es probable que se convierta en uno de los impulsores más importantes de la pérdida de biodiversidad a finales de este siglo. (Pérez Isabel, 2018)

1.4. Cambio climático en México

México es uno de los países más vulnerables al cambio climático, por su ubicación geográfica, su toponimia y su red hidrológica lo hacen frágil a grandes daños por eventos hidrológicos o meteorológicos extremos; México se ha vuelto más cálido desde la década de los años sesenta del siglo pasado. Las temperaturas promedio a nivel nacional aumentaron 0.85°C y las temperaturas invernales en 1.3°C Se ha reducido la cantidad de días más frescos desde los años 60 del siglo pasado y hay más noches cálidas. La precipitación pluvial ha disminuido en la región sureste del país desde hace medio siglo. Así como el aumento de huracanes, sequías, deslizamientos, temperaturas extremas y lluvias torrenciales, inundaciones e incendios que hasta hoy han ocasionado altos costos económicos y sociales. (CEDRSSA, 2020)

Adelanto en las épocas de calor, en las regiones del norte del país las épocas de calor comienzan de manera anticipada y terminan después del tiempo habitual, comparadas con años anteriores.

Alrededor del 67% de los bosques están fragmentados, hay una reducción en la calidad y cantidad de los hábitats silvestres; a partir de evaluaciones globales se estima, que la fragmentación de bosques es más severa en los estados del sur, incluyendo Veracruz, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Michoacán y Chiapas. Los manglares mexicanos cubren 742 mil hectáreas, 55% de ellas se ubican en la península de Yucatán; este tipo de ecosistema ayuda a mitigar los efectos del cambio climático. En 2016 la tasa estimada de deforestación de manglar generó alrededor del 10% de las emisiones globales de carbono por año. (CEDRSSA, 2020)

Algunas de las consecuencias son:

- Disponibilidad de agua: De acuerdo con el Centro Nacional de la Atmosfera, los estados de mayor vulnerabilidad son Baja California y Chihuahua, porque se localizan en regiones que tienden a ser más cálidas y secas, tendrán fuertes demandas de agua; vulnerabilidad media se encuentran los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Estado de México y Puebla, los estados de Chiapas y Veracruz aumentara el porcentaje de precipitación.
- Aumento de nivel del mar: la elevación del mar provocara un impacto en los ecosistemas marinos, contaminación de agua potable, huracanes e inundaciones. Siendo Tabasco, Veracruz y Tamaulipas los que serán más afectados.
- Calidad del aire: el incremento de temperatura podría ocasionar un aumento de las concentraciones de ozono en la atmosfera de las ciudades como Guadalajara, Tijuana y Ciudad de México.
- Producción de alimentos: ante el cambio climático los cultivos están reduciendo su superficie.

Se estima que los impactos económicos en México son de 3.5% y 9.56% del PIB, con 70 millones de personas en condiciones de vulnerabilidad de agua, inundaciones, huracanes y otros fenómenos relacionados con el cambio climático. (WWF, 2010)

1.5. Cambio climático en la agricultura

A nivel centroamericano, la agricultura ya ha tenido fuertes impactos a consecuencia del cambio climático en los últimos años, con pérdidas de hasta 11 mil millones de dólares (5.7% del PIB) por efecto de eventos climáticos extremos entre 1972-2007.

El escenario futuro para la agricultura centroamericana no es alentador ya que el impacto se verá reflejado en el ingreso y en la reducción del rendimiento de los principales cultivos. Se estima que el cambio climático podrá ocasionar pérdidas en la agricultura equivalentes a 5.4% y 19.1% del PIB centroamericano para los años 2050 y 2100 respectivamente, bajo un escenario pesimista de emisiones. En general, la reducción de la productividad, el aumento de las pérdidas de cosecha y la degradación de recursos naturales provocarán escasez de alimentos en toda la región y crearán situaciones de dependencia de alimentos importados a precios elevados y de dudosa calidad y contenido nutricional. (Viguera M. Bárbara, 2017).

El aumento de las temperaturas reducirá la producción agrícola de los cultivos deseados, a la vez que provocará la proliferación de malas hierbas y plagas, teniendo siniestro y la principal causa será la precipitación o temperaturas extremas.

Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, la prolongación de los periodos vegetativos derivados del aumento de la temperatura ocasionará un aumento en la producción agrícola en algunas regiones, siendo la agricultura extremadamente vulnerable a los cambios en el clima. (Gerald C. Nelson, 2009). El

aumento de temperatura deshidratará los suelos por lo que los cultivos no tendrán suficiente humedad y eso también puede ocasionar disminución de la biodiversidad.

Los problemas de la producción agropecuaria trascienden los aspectos técnico-ambientales porque se vinculan estrechamente con factores económicos, sociales, históricos e institucionales.

Para adaptación y mitigación el cambio climático en la agricultura se recomienda:

- Propiciar en las entidades del sector acciones de capacitación en temas de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático dirigidos a los productores del estado.
- Propiciar cambios en las reglas de operación que privilegien el establecimiento de sistemas de cultivo.
- Mejorar la capacidad de los tomadores de decisiones en el entendimiento del cambio climático y de los mecanismos que permitan adaptarse a éste.
- Establecer redes de monitoreo para evaluar el impacto del cambio climático, en la idea de contar con los insumos locales y regionales que permitan la toma de decisiones; es decir, se necesita un programa de prevención basado en la investigación y el monitoreo de los efectos del cambio climático sobre los sistemas agropecuarios y forestales. (Universidad Veracruzana, 2019) los datos deben ser actualizados para poder prever posibles cambios.

Si se presenta un aumento global menor de 3°C, es probable que la productividad agrícola se incremente en latitudes altas. En latitudes bajas, los decrementos en esta productividad se pueden dar aun con cambios locales de temperatura menores (entre 1° y 2°C). Si se presenta un aumento superior a los 3°C en la temperatura global, es probable que la productividad disminuya en la mayoría de las regiones del planeta. (Pachauri Rajendra K., 2017)

1.6. Aportación de la agricultura al cambio climático

La agricultura contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) asociados al uso de combustibles y agroquímicos, e indirectamente como agente de cambios en el uso del suelo; (Viguera Barbara R. M., 2017), Las zonas áridas se caracterizan por la escasez de agua, al modificar la vegetación (plantas nativas por plantas exóticas) son regadas con mayor cantidad de agua, por lo que se libera dióxido de carbono, la vegetación nativa utilizan el agua de manera más eficiente y su liberación de carbono en el suelo es menor, incluso en períodos de sequía, principalmente por su adaptación a las condiciones climáticas. (Flores Rentería Dulce, 2021). Se estima que un cuarto de las emisiones de gases de efecto invernadero emitidos anualmente a nivel mundial provienen de sector agropecuario.

1.7. Importancia de la medición en el cambio climático

Los modelos climáticos prevén cambios drásticos en las condiciones climáticas en muchas regiones del mundo, incluyendo cambios en temperatura, precipitación e incremento en la frecuencia y severidad de eventos extremos como sequías y huracanes. Estos cambios tendrán efectos en el rendimiento y distribución de los cultivos agrícolas, en la variación de los precios, la producción y el consumo; además de afectar el bienestar de las familias productoras. Se espera que los rendimientos de los granos básicos, como arroz, maíz y trigo, disminuyan significativamente a nivel mundial para el año 2050, con diferencias entre países en vías de desarrollo y los países desarrollados. Los precios mundiales de los alimentos incrementarán a consecuencia de la disminución de la producción global que se espera debido a los efectos del cambio climático. Estas reducciones impactarán negativamente a la seguridad alimentaria a nivel mundial, por lo que se espera que al 2050 el consumo per cápita de cereales disminuya en 7.1% en países en vías de desarrollo. (Viguera Barbara, 2017)

Por ello es importante conocer datos precisos, saber cuánto ha cambiado el clima, para prever las posibles consecuencias, tomando las medidas necesarias, y al mismo tiempo las estrategias para considerar futuras decisiones que permitan reducir riesgos y daños, facilitando la adaptación a los cambios en el clima.

El desafío es particularmente agudo en los países menos adelantados, donde una gran parte de la población es vulnerable al cambio climático, para ello se requieren acciones eficaces para disminuir los riesgos y vulnerabilidad, no solo para los seres humanos, sino para todo ser vivo en el planeta. Muchas opciones de adaptación y mitigación pueden ayudar a abordar el cambio climático, pero ninguna opción es suficiente por sí sola. La aplicación efectiva depende de las políticas y la cooperación a todas las escalas, y puede mejorarse mediante respuestas integradas que vinculen la adaptación y la mitigación con otros objetivos sociales.

Está previsto que aumente la escasez de agua, la inseguridad alimentaria, los daños y pérdidas humanas por fenómenos meteorológicos extremos como las inundaciones, tormentas, olas de calor y sequías. Habrá zonas donde la vida será imposible por el alto nivel del mar o por las altas temperaturas en determinados momentos del año. (Pérez Isabel, 2018)

Investigaciones realizadas en el oeste de Estados Unidos, en las que se usaron datos meteorológicos diarios de más de trescientas estaciones meteorológicas a largo plazo, para comprender los cambios en las cantidades de precipitación y el tiempo durante el periodo de 1976 a 2019, encontraron una precipitación general más baja combinada con una mayor variabilidad en el tamaño de los eventos de precipitación; lo que indica que EEUU: no solo se está volviendo más cálido y seco, si no que los sistemas están experimentando más variaciones de año a año en la precipitación. El tiempo promedio sin precipitaciones ha aumentado en los últimos 45 años. (Fangyue Zhang, 2021)

Diferentes investigaciones de vulnerabilidad permitirán diseñar estrategias de adaptación de los sistemas humanos donde descansa la productividad y bienestar de nuestras sociedades. Los países en desarrollo son los más vulnerables a las condiciones de cambio climático, en estos países se espera una importante reducción en los cultivos, por lo que, se tendrán que diseñar estrategias que permitan seguir cultivando ciertos alimentos que son indispensables para el desarrollo del ser vivo, también se prevé un decremento significativo en la disposición de agua, un aumento en el número de personas expuestas a enfermedades como el paludismo y cólera, así como el aumento en el riesgo de inundaciones producto de lluvias torrenciales y aumento del mar. (Conde Cecilia, 2021).

La agricultura de temporal sufrirá grandes pérdidas o bien, tendrá que sufrir grandes transformaciones para adaptarse; un claro ejemplo de ello fue en 1997 y 1998 en que se presentó uno de los eventos del El Niño más fuertes del siglo, la precipitación en México disminuyó el 50% en promedio y hubo pérdidas de más de 2 millones de toneladas de maíz en la república. Desarrollando un estudio en el Estado de Tlaxcala se entregaron a los productores pronósticos climáticos al inicio de cada año, considerando esta información se tomaron decisiones importantes para los cultivos de ese año atrasando los días de siembra y fertilización, también optaron por cambiar de cultivos, la precipitación es un factor relevante para las actividades de la agricultura siendo el pronóstico más exitoso en el año de 1998. (Conde Cecilia, 2021).

1.8. Población y cambio climático

En el último siglo, México ha sufrido una profunda transformación demográfica. En 1900 había poco más de 13 millones de habitantes, para el 2000 casi se alcanzaron los 100 millones, la población mexicana en el 2005 era de 103.3 millones de habitantes, de acuerdo con el censo del año 2020 se tienen 126 millones 14 mil 24 habitantes. A pesar de la reducción en la tasa de crecimiento, el incremento neto de

la población en el periodo 2000-2005 fue de casi 5.8 millones de personas, es decir, se tuvo un crecimiento del 1% anual. Según las proyecciones elaboradas por el CONAPO, la población seguirá creciendo hasta alcanzar cerca de 130 millones en el año 2040, para posteriormente iniciar lentamente su descenso. (SEMARNAT, 2021) El ritmo acelerado de la población demanda más alimento, vestimenta, entre otras cosas básicas para la supervivencia humana, influenciando la degradación del medio ambiente por el enorme consumo de recursos naturales no renovables, escasez de agua por el mal uso de los acuíferos, deforestación por la tala de árboles para la agricultura y ganadería.

CAPITULO II

ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Estado de Coahuila

El estado de Coahuila de Zaragoza se localiza al norte del México, entre las coordenadas 27.29544° 53' - 24° 32' latitud Norte y 102.04404° 51' - 103° 58' longitud Oeste.

Cuenta con una superficie de 151,562.56 km², lo que representa 7.88% de la superficie total del país, ocupa el tercer lugar en extensión territorial. Colinda al norte con los Estados Unidos de América al este con el estado de Nuevo León, al sur con Zacatecas y al oeste con Chihuahua y Durango.

El nombre Coahuila deriva de los términos nativos de la región y ha sido conocido por variaciones como Cuagüila y Cuauila. Algunos historiadores creen que esto significa “serpiente voladora”, “lugar de muchos árboles” o “lugar donde se arrastran las serpientes”. El nombre oficial del estado es Coahuila de Zaragoza, en honor al General Ignacio Zaragoza.

Está conformado políticamente por 38 municipios y su capital es el municipio de Saltillo. Cuenta con una gran cantidad de ecosistemas, que van desde los desiertos en la Comarca Lagunera a los bosques en la Sierra Madre Oriental.

Figura 1. Ubicación de Coahuila



Fuente: México Real

El clima es generalmente seco y semicálido a cálido extremoso en gran parte del estado de Coahuila, con algunas variantes a través de las regiones del estado.

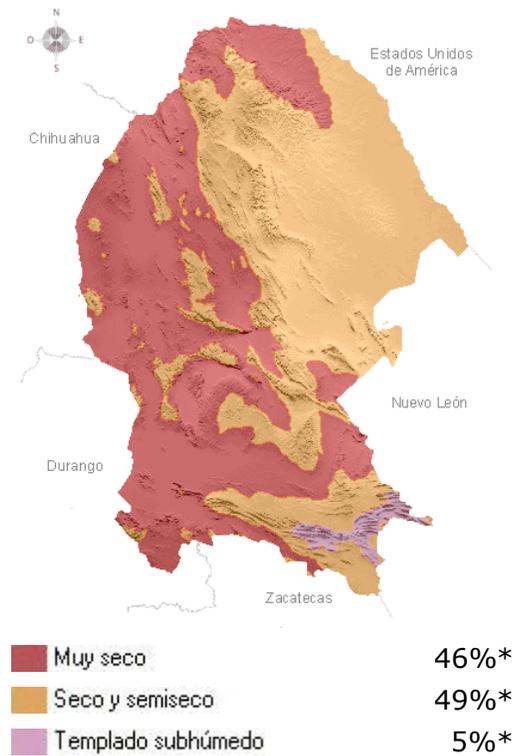
En la Región Sureste el clima es caluroso, en primavera y verano generalmente en Saltillo, y Arteaga, llueve más en los meses de julio, agosto y septiembre, en invierno el tiempo es frío y brumoso. En la Región Lagunera el tiempo es caliente en primavera y verano, caluroso y seco por el otoño y con los inviernos relativamente apacibles, eventualmente fríos. En la Región Centro y Carbonífera, el tiempo es caliente en primavera y la temperatura en verano es muy alta. En verano hay lluvias que pueden ser intensas. Los inviernos son fríos. En la Región Norte el clima es caliente en primavera y verano y frío en invierno, con las lluvias más abundantes en la región, en julio agosto y septiembre.

Las nevadas son frecuentes en la zona norte del estado, en las sierras de Múzquiz, y en la sierra de Arteaga en el sureste del estado durante la temporada invernal.

En el estado de Coahuila se presentan 3 tipos de climas diferentes, que van desde los muy áridos (muy secos) hasta el templado y 10 subclimas. Esta variabilidad

climática permite la presencia de una gran riqueza biológica en el estado. (INEGI, 2021)

Figura 2. Mapa de Coahuila



Fuente: INEGI

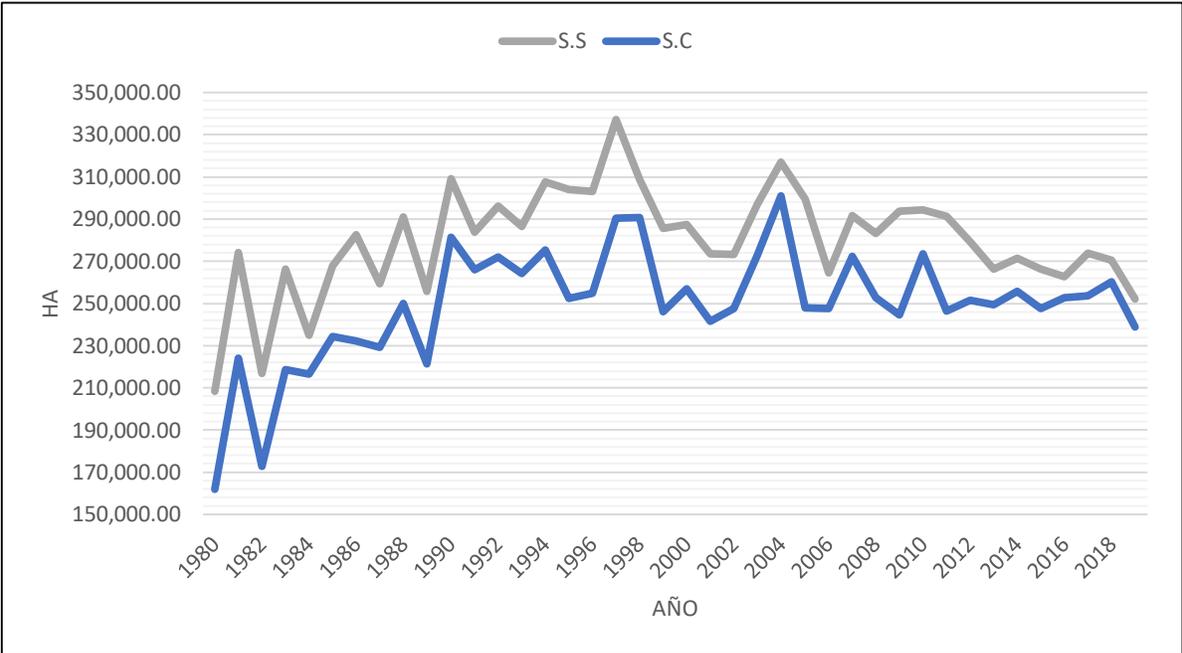
2.2. Agricultura para el Estado de Coahuila

Para el estado de Coahuila se analizaron comparaciones de superficie cosechada (ha) y superficie sembrada (ha), notándose que del año 1980 a 1990 aumento 100,000 ha., a partir de ese año la superficie sembrada disminuyó a menos de 250,000 ha., siendo hasta el año 2019 que la superficie sembrada fue 252,041.62 ha y superficie cosechada de 238,990.39 ha.

A partir del año 2011, disminuyó completamente la superficie cosechada para el estado de Coahuila, siendo 2011 el año con la peor sequía en los últimos 70 años,

a partir de ese año no se volvió a sembrar lo mismo que años anteriores. (Véase Figura 3)

Figura 3. Superficie sembrada y cosechada para Coahuila

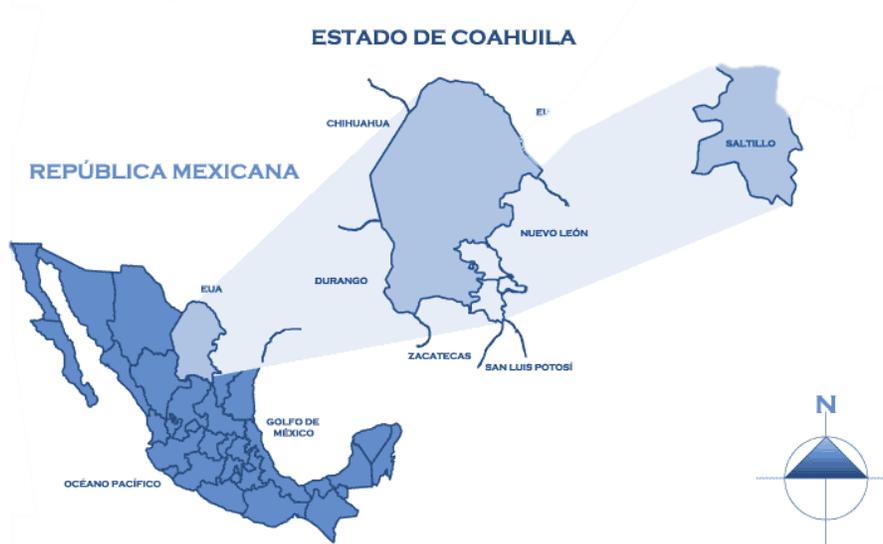


Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON

2.3. Localización del área de estudio, municipio de Saltillo

El municipio de Saltillo es la ciudad capital del estado de Coahuila de Zaragoza, México. Cuenta con una población de 864,431 habitantes, lo que la convierte en la decimocuarta ciudad más poblada de México. Cuenta con una superficie de 3837 km² y se localiza en la región Noreste de México y en la región sureste de Coahuila, rodeada por altas montañas de la sierra madre oriental, y a 400 km al sur de la frontera con Texas, Estados Unidos, y a 842 km de la Ciudad de México. A una altura de 1,600 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de Ramos Arizpe; al sur con los estados de San Luis Potosí y Zacatecas, al este con el municipio de Arteaga y al oeste con el municipio de Parras. (MONOGRAFIA SALTILLO, 2021)

Figura 4. Localización de Saltillo, Coahuila



Fuente: Revista digital de posgrado, investigación y extensión del campus Monterrey

El municipio de Saltillo es una zona urbana y comercial, una gran parte de la población labora en la industria que se concentra en el municipio de Ramos Arizpe, considerado una de las zonas más industrializadas del país que conforma uno de los mayores clústers automotrices en México, desde 1970 se han instalado en la región plantas como Grupo Industrial Saltillo, General Motors, Magna, Fiat Group, Chrysler, Daimler, Freightliner, Delphi, Nemak, Plastic Omnium, etc.

Al sur de Saltillo, Coahuila, con dirección a Zacatecas, se encuentran algunos parques industriales, entre ellos La Angostura y Derramadero los cuales sirven como canales para aumentar el comercio y que en poco tiempo han crecido a pasos agigantados. Las empresas tanto nacionales como extranjeras están jugando un papel muy importante en cuanto a la inversión en esta zona, debido a que estas empresas han acercado a sus proveedores para facilitar los procesos logísticos, con ellos se generan fuentes de empleo y se crea una mejor imagen de la región haciéndola atractiva para inversiones futuras.

2.4. Clima de Saltillo

El clima de Saltillo, de acuerdo a la clasificación de Koeppen modificada por Enriqueta García, es: $BS_0 h x(w) (e') n$; Árido, semicálido (templado, con tendencia a cálido), con lluvias escasas todo el año, más abundantes en verano, muy extremo, con nieblas frecuentes (Enriqueta, 2021), al mismo tiempo cuenta con diversos subclimas. Los inviernos son extremos, predominando temperaturas máximas superiores a 18°C y algunos días con temperaturas mínimas inferiores a 0°C . Para la ocurrencia de nevadas se requiere humedad y la época más húmeda en Saltillo ocurre de mayo a octubre; por lo que es muy raro que se presenten más de 5 días de nieve al año, incluso, hay años en que no se presentan nevadas. (Meteorología y climatología de Navarra, 2021)

2.5. Eventos extremos climáticos

Las nevadas más significativas ocurrieron el 12 de enero de 1962, 11 de enero de 1967, enero de 1983, 13 de diciembre de 1997, 24 de diciembre de 2004, 12 de enero de 2010, 3 y 4 de febrero de 2011. Las últimas nevadas ocurrieron el 8 de diciembre 2017, con una capa de 20 cm de espesor; 15 de diciembre de 2017; el 17 y 18 de enero de 2018. El invierno 2017-2018 fue uno de los inviernos más fríos pues se registraron 3 nevadas en la ciudad. De acuerdo a los registros meteorológicos, Saltillo es una de las ciudades con temperaturas más extremas en invierno en México (-18°C el 13 de diciembre de 1997, según el observatorio de la CONAGUA; -14.5 en enero de 1962, según la fuente oficial del Servicio Meteorológico Nacional); solo por debajo de la Ciudad de Chihuahua (-18 el 3 y 4 de febrero de 2011), Ciudad Juárez (-23°C el 11 de enero de 1962). En la primavera pueden presentarse temperaturas máximas extremas, como 38°C muy comunes o como en mayo de 2012 que se registraron 42°C . La peor sequía registrada se dio en el año 2011 y la máxima precipitación, en Julio 2010 (Huracán Alex). Para el año 2021 se registró una sequía de más de 7 meses sin tener ni 50 mm de lluvia durante este periodo.

2.6. Agricultura en el municipio de Saltillo

A lo largo de los años, en el municipio de Saltillo han sembrado los cultivos que se muestran en el Cuadro 2. Sin embargo, si se considera que el 12.20% de la superficie sembrada se establece en condiciones de temporal y que la precipitación pluvial es errática, hace que el buen término de los cultivos sea incierto, obteniendo altos índices de siniestralidad y con ello variabilidad en los cultivos establecidos. Los cultivos más sobresalientes en cuanto a la superficie sembrada son el maíz y frijol, de los cuales el producto que se obtiene se destina para el autoconsumo.

Cuadro 1. Cultivos en Saltillo

Alfalfa verde	Girasol	Chile verde	Sandía
Avena forrajera en verde	Maíz forrajero en verde	Cilantro	Sorgo forrajero en verde
Brócoli	Maíz grano	Ciruela	Tomate rojo (jitomate)
Calabacita	Nopal forrajero	Coliflor	Tomate verde
Cebada forrajera en verde	Nuez	Durazno	Trigo grano
Papa	Pepino	Elote	Uva
Pastos y praderas	Frijol	Espárrago	Pistache

Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON.

2.7. Superficie sembrada y superficie cosechada en Saltillo

En un periodo de 16 años en el año 2006 se obtuvo un siniestro de 11,431.00 ha., para el año 2009 16,950.00 ha., y para el año 2011 11,049.00 ha. A partir del año 2011 hasta la actualidad la superficie sembrada sufrió un decremento debido a la sequía que se presentó y prolongó por más de tres años.

Figura 5 Superficie sembrada y cosechada para saltillo



Fuente: elaboración propia con datos de SIACON

CAPITULO III

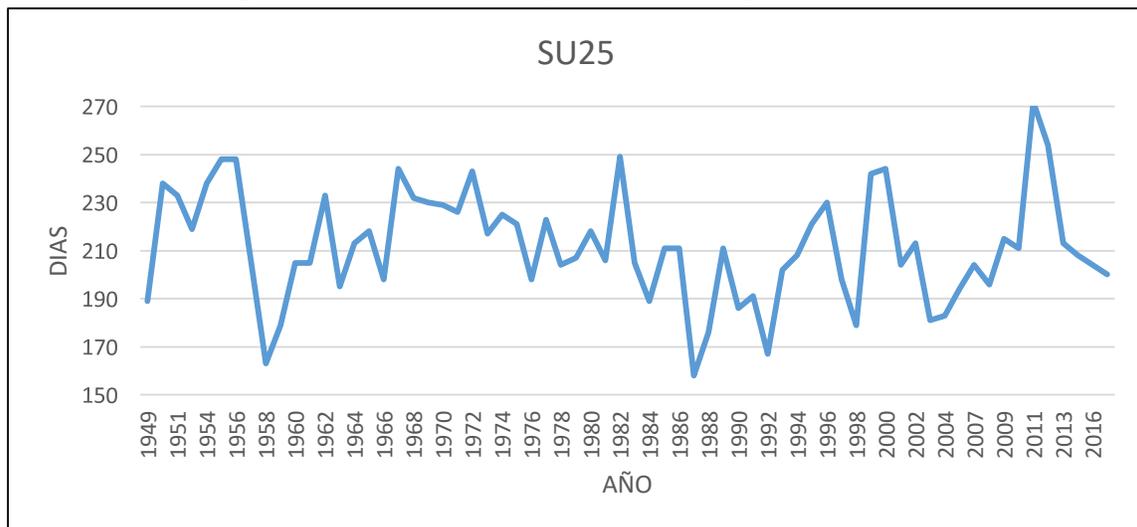
RESULTADOS

3.1 Días con temperatura mayor a 25°C (SU25)

Este índice indica los días en que la temperatura fue mayor a 25° C de forma mensual, para el periodo de 1949 a 2017, se muestra que en el año 2011 fue el año con 272 días en que la temperatura fue mayor a 25°C, en años pasados no se habían alcanzado ese total de días, siendo que en el año 1982 el total de días fue 249, año 1956 total de 248 días, año 1955 total de 248 días, siendo los años más calurosos del periodo.

Notándose que el comportamiento a través del tiempo la temperatura mantiene una constante variada, siendo que los cambios no fueron significativos, hasta el año 2003 a 2011 donde se aprecia un incremento considerable (ver Figura 6).

Figura 6. Días con temperaturas mayores a 25 °C



Fuente: Elaboración propia

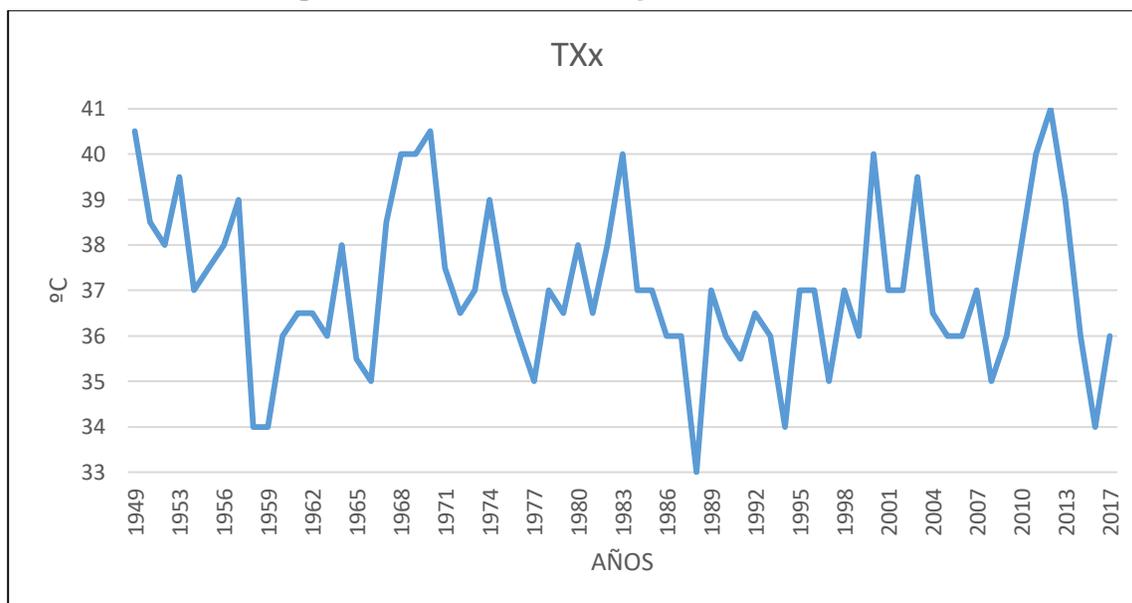
3.2. Máxima de temperatura máxima (TXx)

Este índice indica la temperatura más alta de las temperaturas máximas diarias del mes. En un periodo de 68 años, en 1949 se obtuvo una temperatura máxima de 40.5°C, para 1970 una temperatura de 40.5°C, para el año de 1983 se obtuvieron 40° C, lo mismo para el año 2000.

En el año de 2011 en el mes de mayo la temperatura máxima fue de 40°C en seguida en el año 2012 en el mes de mayo se obtuvo una temperatura de 41 °C, siendo el año más caluroso del período (ver Figura 7).

En base a los resultados obtenidos en el análisis de temperatura máximas, no se observa una variación tipo tendencia en su comportamiento; sin embargo, se observan ciclos en los que la temperatura máxima tiende a ser más alta de lo normal.

Figura 6. Máxima de temperatura máxima

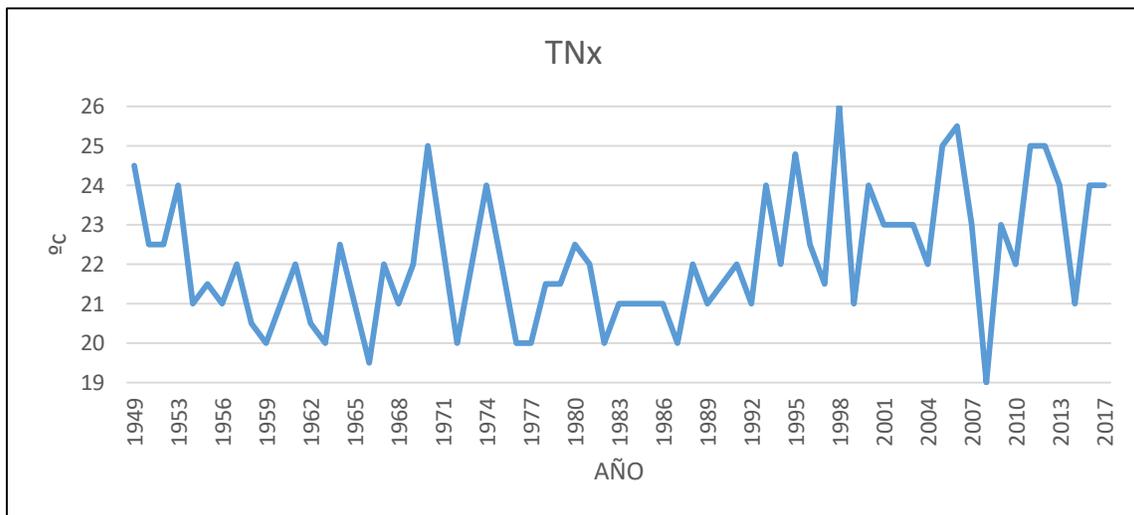


Fuente: Elaboración propia

3.3. Máxima de temperatura mínima (TNx)

El índice TNx indica la temperatura más alta de las temperaturas mínimas. En el año de 1970 se obtuvo una temperatura mínima más alta de 25°C, para el año de 1998 se obtuvieron 26°C, para 2006 se obtuvieron 25.5°C, para los años 2011 y 2012 se obtuvieron 25°C. Observándose un incremento significativo en el período de 1987 a 1998 (ver Figura 8).

Figura 7. Máxima de temperatura mínima



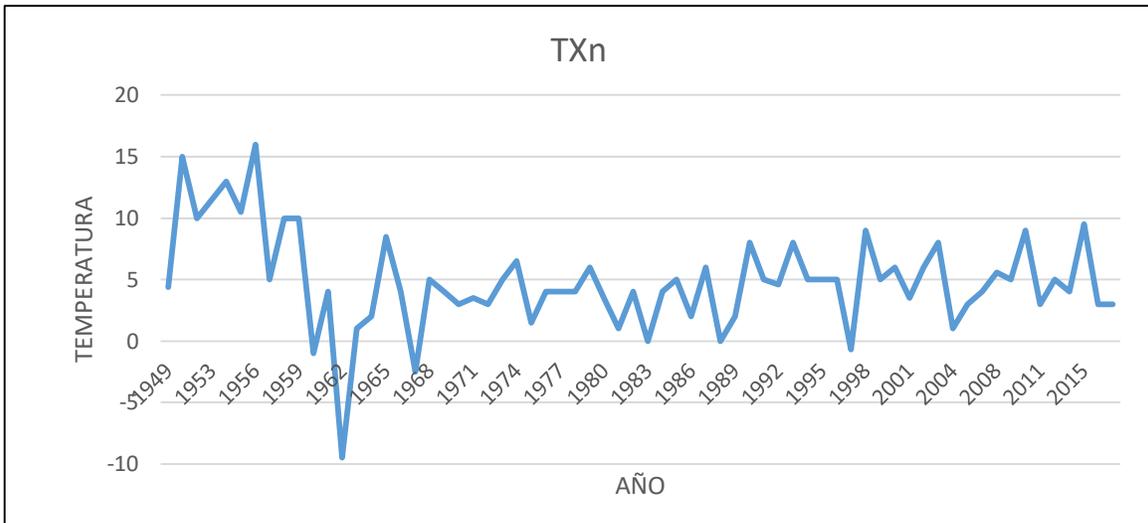
Fuente: Elaboración propia

3.4. Mínima de temperatura máxima (TXn)

Este índice indica la temperatura mínima de las temperaturas máximas del día. El año de 1962 fue el año donde la temperatura alcanzó -9.5°C, siendo la temperatura más baja en el período de 68 años, la temperatura máxima alcanzada fue 16° C, en el año de 1956.

Notándose que partir del año 1960 no se obtuvieron temperaturas superiores a 10°C, lo que indica que no se tuvieron resultados significativos que indiquen un cambio, observándose un comportamiento uniforme (ver Figura 9).

Figura 8. Mínima de temperatura máxima



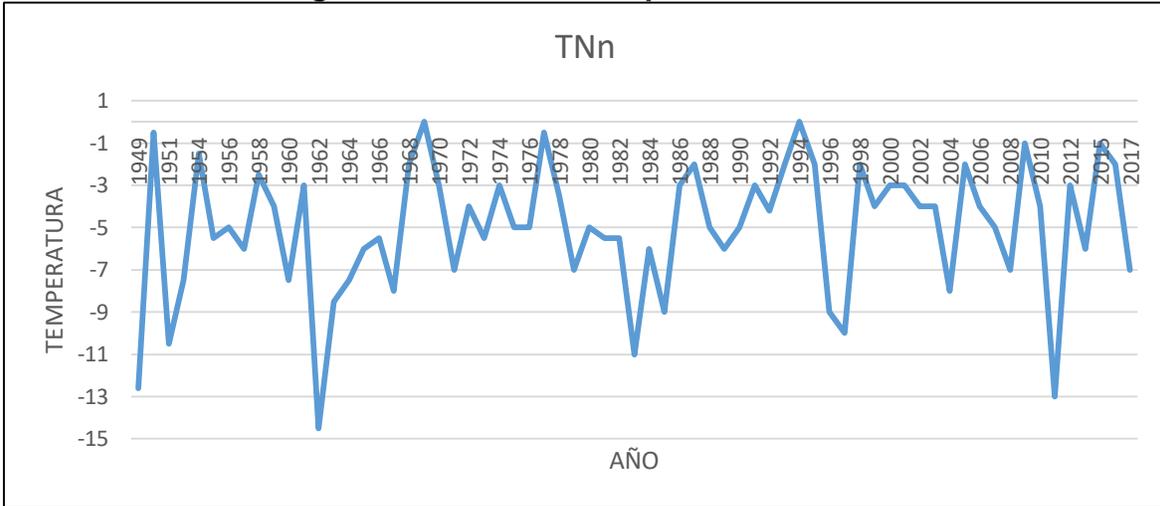
Fuente: Elaboración propia

3.5. Mínima de temperatura mínima (TNn)

El índice TNn indica la temperatura mínima más baja que sea presentado durante la noche, considerando las temperaturas mínimas de cada año. Los años más fríos fueron el año de 1949 donde la temperatura mínima fue de -12.6°C , año 1951 donde la temperatura fue de -10.5°C , año de 1983 donde la temperatura fue de -11°C ., año de 1997 donde la temperatura fue de -10°C , para el año de 2011 se obtuvo una temperatura de -13°C ; en el año de 1962 donde la temperatura fue de -14.5°C siendo el año con un evento extraordinario (ver Figura 10).

Conforme a la información recabada se identificó en base a los resultados obtenidos para este índice, que no tenemos cambios significativos que manifiesten un cambio en el clima.

Figura 9. Mínima de temperatura mínima

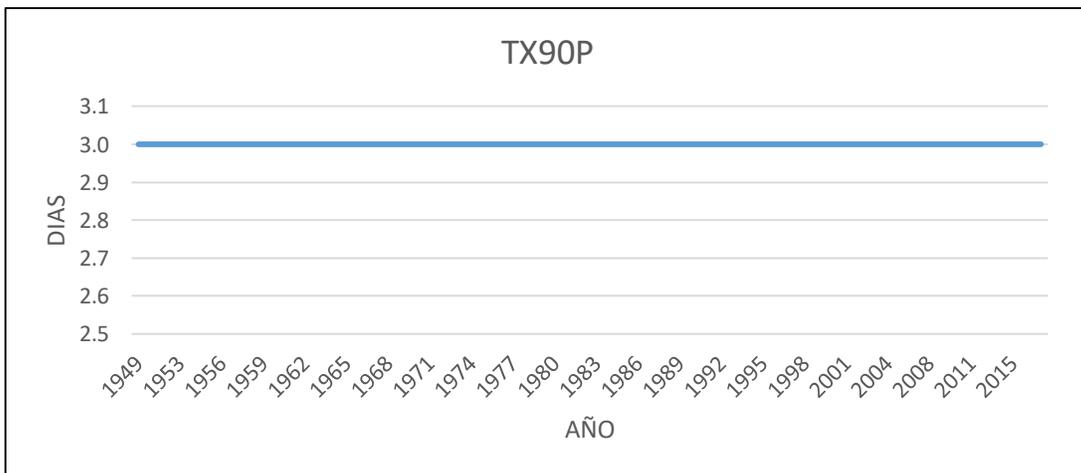


Fuente: Elaboración propia

3.6. Días cálidos (TX90P)

Este índice hace referencia a los días cálidos de forma mensual, contándose los días de la temperatura máxima, que están por arriba del percentil 90 mensual (ver figura 11). Para el municipio de Saltillo se obtiene un porcentaje de 3 días cálidos al año y se mantiene en 3 días durante todo el periodo; por lo tanto, no se tienen datos significativos.

Figura 10. Días cálidos



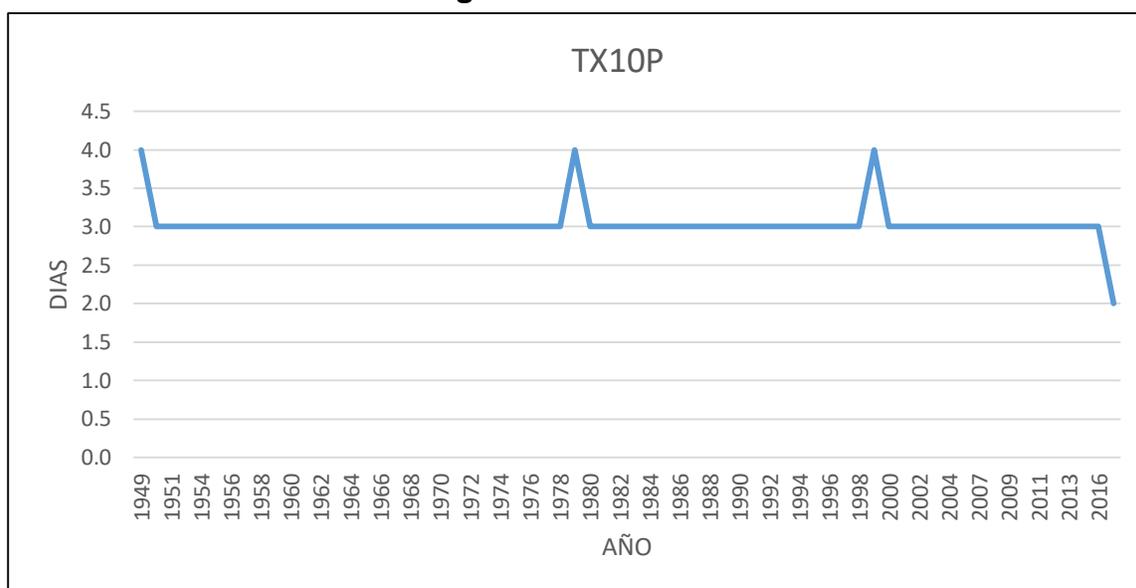
Fuente: Elaboración propia

3.7. TX10p (Días fríos)

Este índice indica los días fríos, contándose los días en que la temperatura máxima que esté arriba del percentil 10 de forma mensual. Para el municipio de Saltillo se obtiene un promedio de 3 a 4 días fríos, para el 2016 se promedió a 2 días fríos por año, siendo el año más significativo.

Notándose cómo se mantiene la tendencia sin tener cambios significativos, solo teniendo variabilidad en 4 años durante un periodo de 68 años (ver Figura 12).

Figura 11. Días fríos



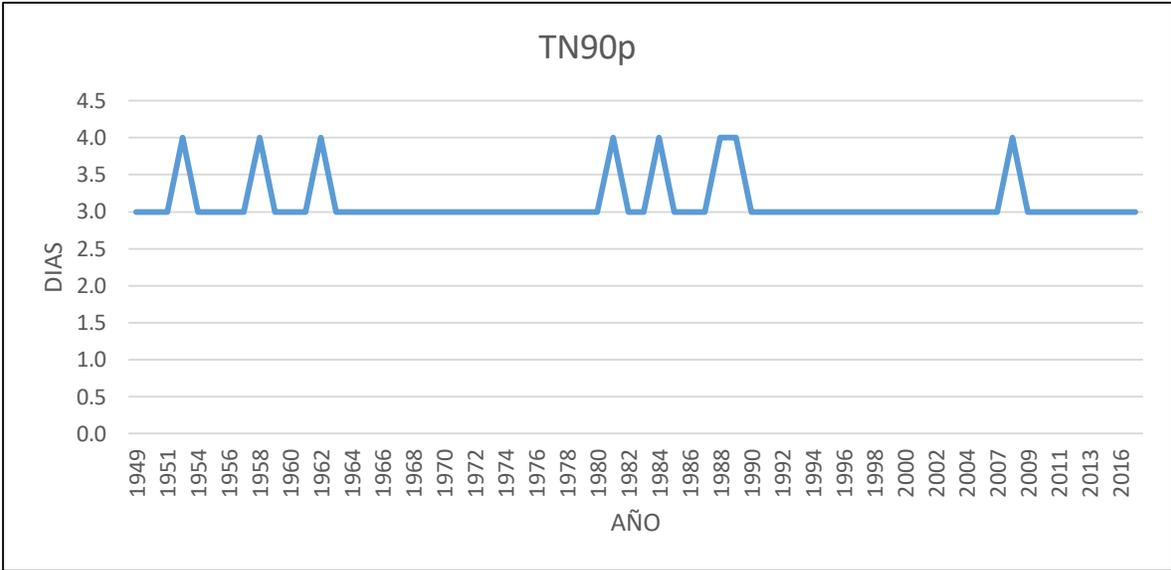
Fuente: Elaboración propia

3.8. Noches cálidas (TN90P)

Con el cálculo de este índice se muestra el porcentaje de noches cálidas, contándose los días de la temperatura mínima que está por debajo del percentil 90 mensual (ver Figura 12). Para el municipio de Saltillo se obtiene un porcentaje de 3 a 4 noches cálidas por año.

En base a los resultados obtenidos existe poca variabilidad, lo cual nos indica que no hay datos significativos que pongan en manifiesto algún cambio en el clima.

Figura 12. Noches cálidas



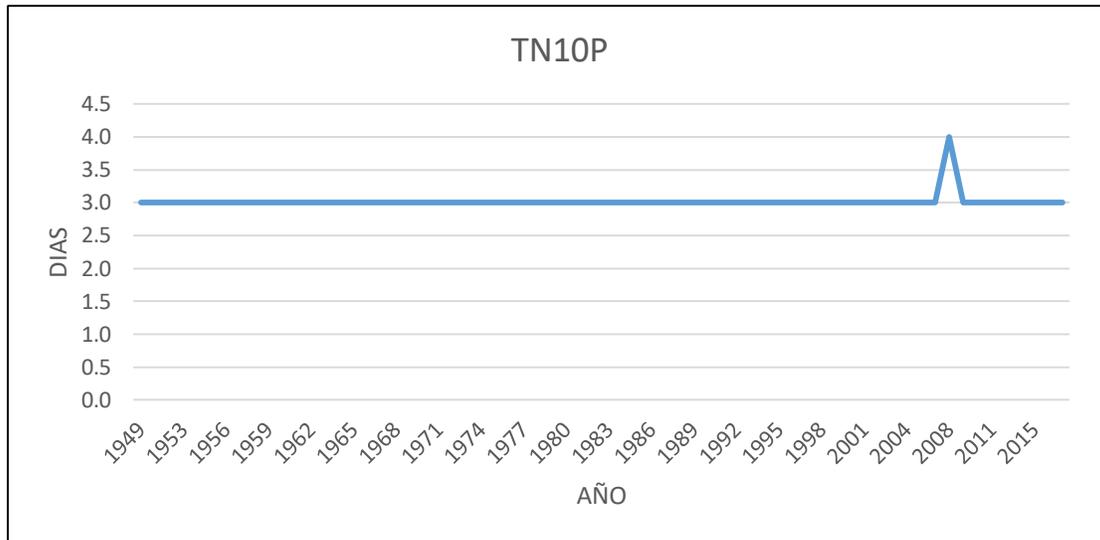
Fuente: Elaboración propia

3.9. Noches frías (TN10P)

Para el cálculo de porcentaje de noches frías, se cuentan los días de la temperatura máxima que está por debajo del percentil 90 mensual. Para el municipio de Saltillo se obtiene un porcentaje de 3 noches frías al año, para el año 2009 se obtuvo un porcentaje de 4 noches frías, siendo un evento extremo, ya que en un periodo de 68 años no se había presentado un porcentaje de 4 noches frías (ver Figura 14).

En base a los resultados obtenidos se observa cómo se mantiene la tendencia, sin tener datos significativos.

Figura 13. Noches frías



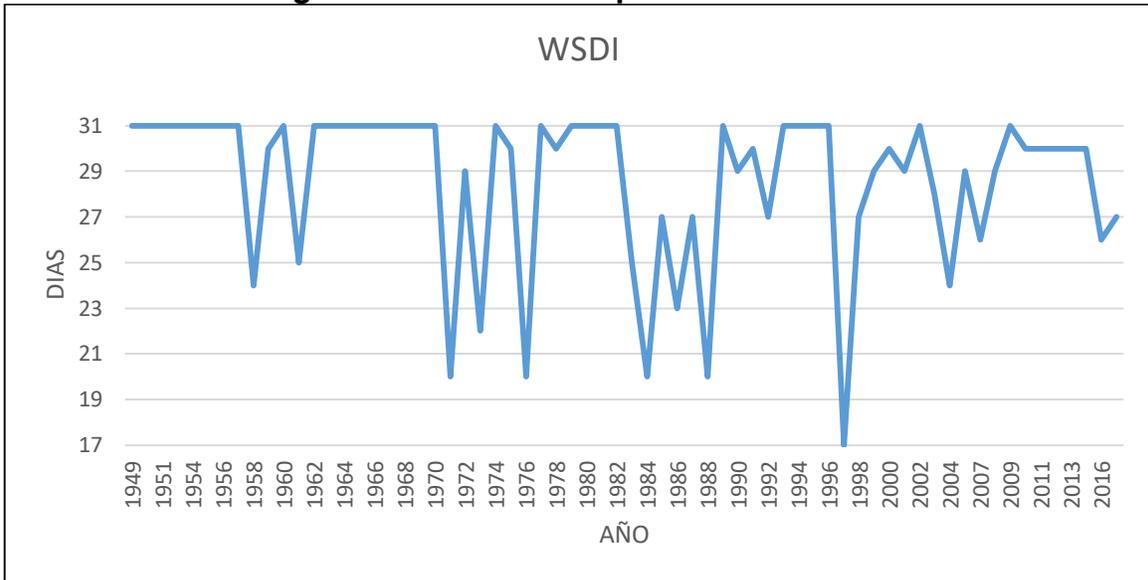
Fuente: Elaboración propia

3.10. Duración de períodos cálidos (WSDI)

El presente índice muestra los días en que la temperatura máxima fue mayor de 25°C, contándose los días de forma mensual. Para el municipio de Saltillo, se obtiene un período de 31 días como máximo donde la temperatura fue más de 25° C; teniendo como periodo mínimo 20 días consecutivos (ver figura 15).

Los resultados de la duración de los períodos cálidos, nos muestra que del año 1999 al 2015 la temperatura no ha disminuido de 25°C en los días cálidos, lo que si puede estar dando orientación, aunque poco significativo, de un cambio en el clima pero se debe de considerar que al inicio del período de análisis hubo un período más amplio en la duración de los períodos cálidos por lo que habrá de hacer estudios o análisis más a profundidad para aseverar si ese comportamiento es producto de un cambio climático o simplemente se debe a los ciclos de cambio de clima propios del área de estudio.

Figura 14. Duración de períodos calientes

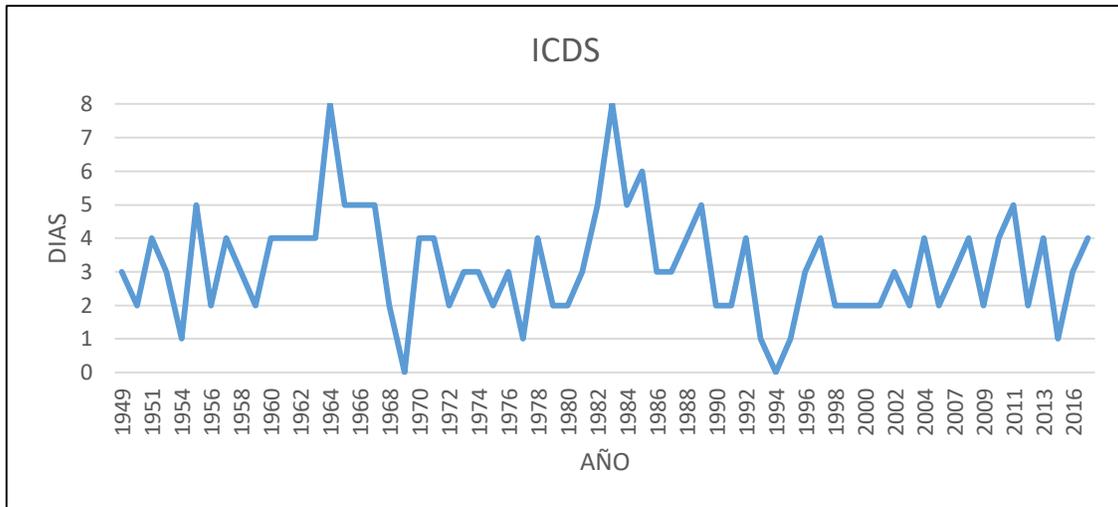


Fuente: Elaboración propia

3.11 Duración de períodos fríos (ICDS)

Este índice nos arroja los días en que la temperatura fue menor a 0°C, contándose el total de días mensuales. El municipio de Saltillo, Coahuila ha tenido como eventos extremos hasta 8 días con temperatura bajo 0° C, como fue en el año de 1964 y 1983, a partir del año 1990 el periodo de días con temperatura bajo 0°C se ha mantenido entre 2 y 4 días (ver Figura 16), lo cual no otorga suficiente información que manifieste un cambio significativo en el comportamiento de las temperaturas, por lo que se hace necesario profundizar en los análisis en los años subsiguientes, ya que el presente estudio se acota al año 2017, por lo que no podemos generalizar los hallazgos hasta el 2021 por no contar con información oficial que nos otorgue elementos de si hay o no cambios en el comportamiento del clima.

Figura 15. Duración de períodos fríos

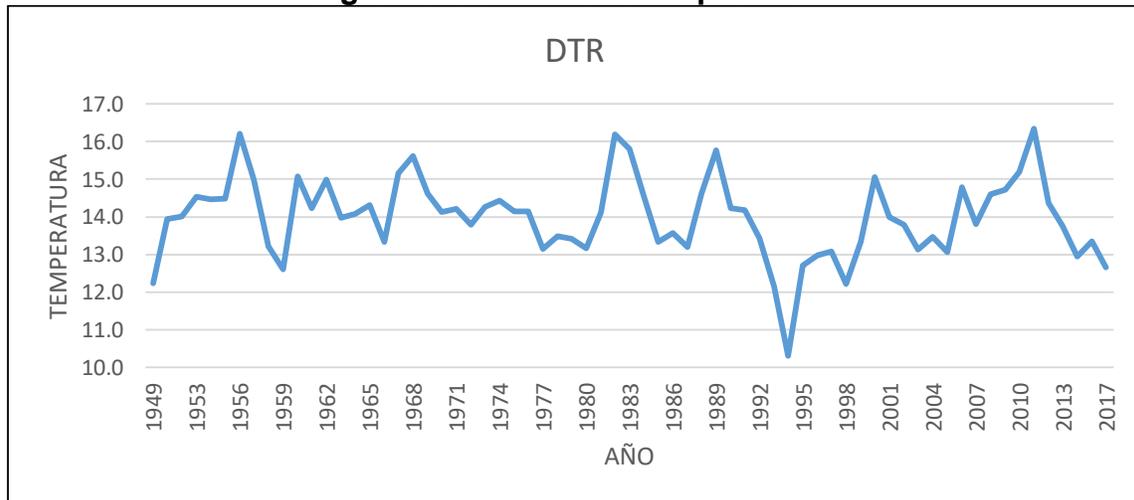


Fuente: Elaboración propia

3.12. Oscilación temperaturas (DTR)

El índice DTR identifica la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima, lo cual es un indicativo de qué tan extremoso es un clima. A partir del análisis realizado, se observa que del año 1994 al año 2011 hay un incremento en la oscilación, lo que podría indicar que, si bien no es un cambio muy significativo, si hay una tendencia a incrementarse la extremosidad de las temperaturas. hasta el año de 1994 donde se demuestra un evento extraordinario.

Figura 16. Oscilación temperaturas



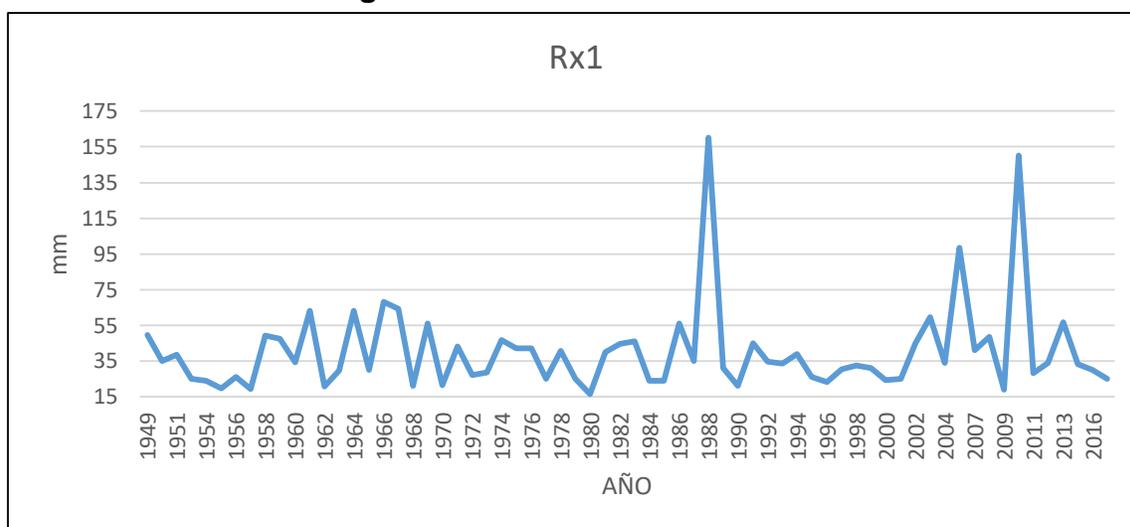
Fuente: Elaboración propia

3.13. Máxima lluvia en 1 día (Rx1)

Este índice indica el total de lluvia en un día, tomando el valor más alto mensual. En un periodo de 68 años hubo dos eventos extremos, debidos a dos huracanes, en 1988, Gilbert y en 2010 Alex. Para el resto de los años, los valores se mantienen muy uniformes (ver Figura 18).

En base al análisis realizado no se observa que exista mucha significancia, el compartimiento es cíclico y se atribuye más a la variabilidad natural que a un cambio en el clima.

Figura 17. Máxima lluvia en 1 día

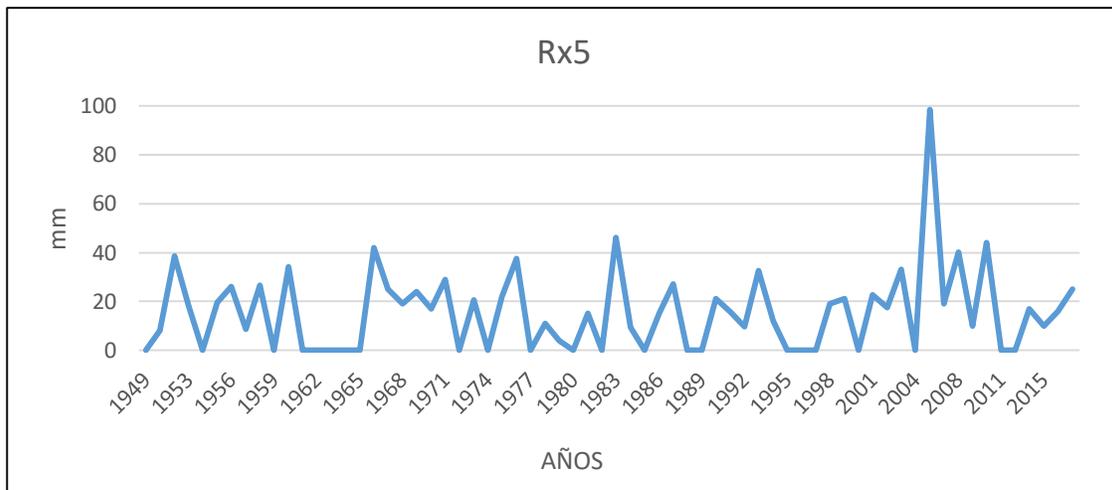


Fuente: Elaboración propia

3.14. Lluvia máxima en 5 días consecutivos (Rx5)

El índice Rx5 indica la precipitación más alta en un periodo de 5 días con lluvia, de forma mensual. El comportamiento de este índice es muy similar al del índice anterior (Rx1) reflejándose en la Figura 18; el comportamiento se mantiene cíclico, no habiendo cambio significativo.

Figura 18. Lluvia máxima en 5 días consecutivos



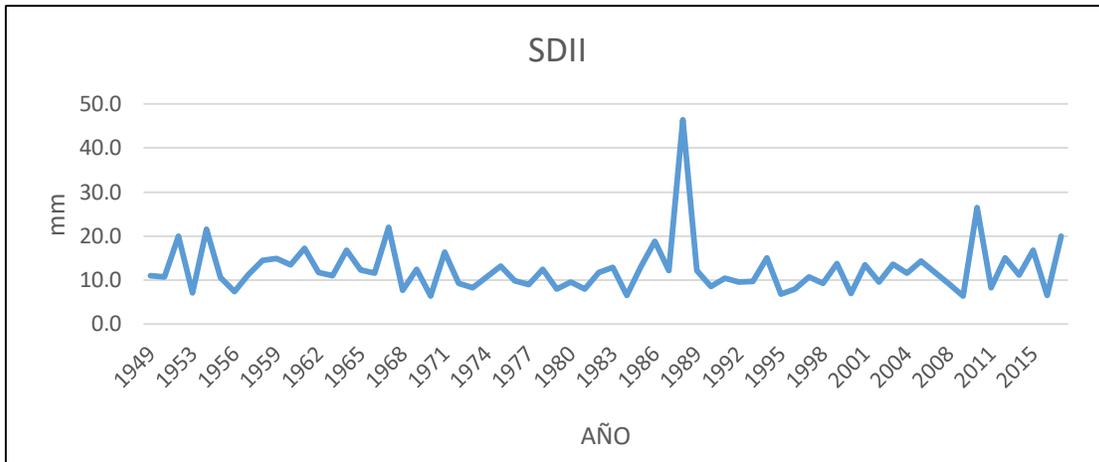
Fuente: Elaboración propia

3.15. Índice simple de intensidad diaria (SDII)

Para el cálculo de este índice se dividió la precipitación total mensual entre los días con lluvia en ese mes, obteniendo el valor más alto de forma mensual.

La intensidad de la precipitación para el período de 1968 a 2005 es en promedio de 6.5 a 16 mm/diario, incrementando la intensidad a partir de 2008, teniendo como evento extremo el año de 1988 con un valor de 46.4 mm/día, observándose que, fuera de este evento extremo, se observa un comportamiento cíclico, es decir, no hay una variación fuera de lo normal, dentro del período de análisis. Este índice, como los dos anteriores no muestra un cambio significativo en el clima.

Figura 19. Índice simple de intensidad diaria



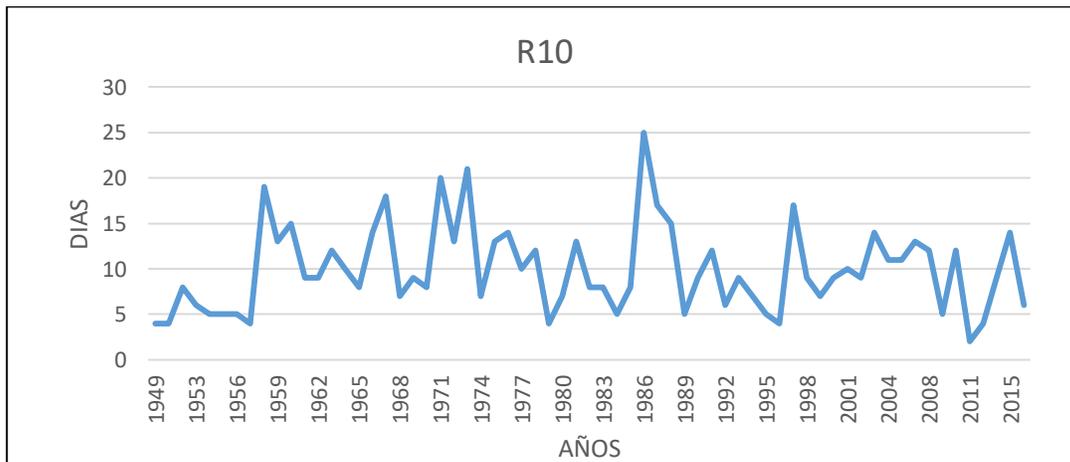
Fuente: Elaboración propia

3.16. Días con precipitación mayor a 10 mm (R10)

El presente índice muestra los días con precipitación de más de 10 mm. Para el año de 1986 se obtuvieron 25 días con precipitación de 10 mm, siendo el año con más días de lluvia intensa, mientras que, el año con menos días de precipitación intensa fue el año 2011 con 2 días.

Se ha dado un ligero descenso en la precipitación de 10 mm, en los últimos años, más no es concluyente. Se necesitaría más información.

Figura 20. Días con precipitación mayor a 10 mm



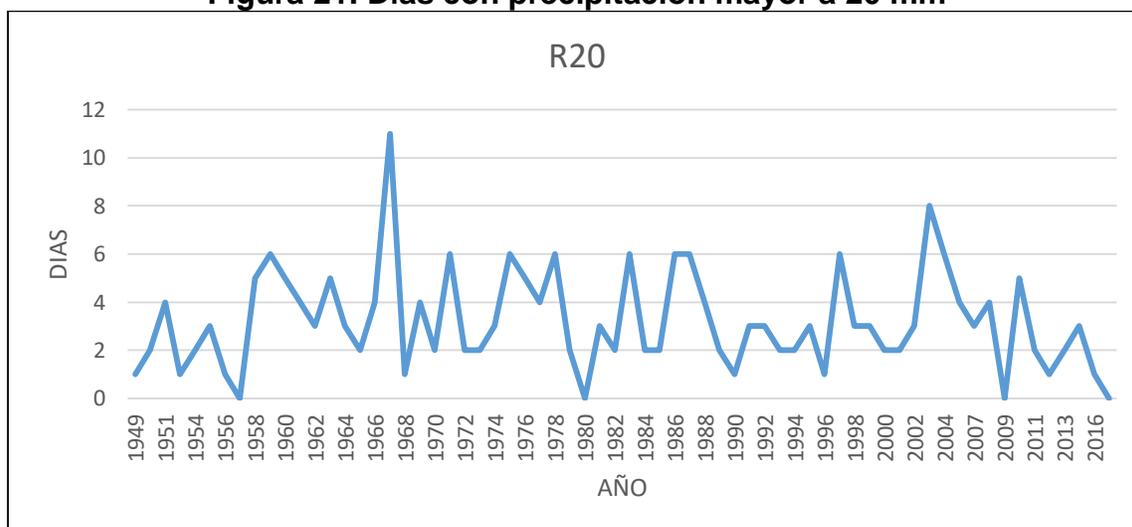
Fuente: Elaboración propia

3.17. Días con precipitación mayor a 20 mm (R20)

El cálculo del índice nos indica los días donde la precipitación fue mayor a 20 mm. Se tiene como evento extremo el año de 1967 con 11 días con precipitación mayor a 20 mm y el año de 2003 con 8 días; a partir del año 2008 los días con precipitación mayor a 20 mm han disminuido teniendo un valor de 0 a 5 días, teniendo valores semejantes como en los años de 1949 a 1957 con 1 a 4 días con precipitación mayor a 20 mm.

Si tomamos un periodo de los últimos 30 años se puede observar como la tendencia va hacia la baja teniendo cada vez menos días con precipitación de 20 mm; observándose un comportamiento similar al anterior índice (ver Figura 21). Esto podría indicar una tendencia significativa a la disminución de los días con precipitación intensa.

Figura 21. Días con precipitación mayor a 20 mm

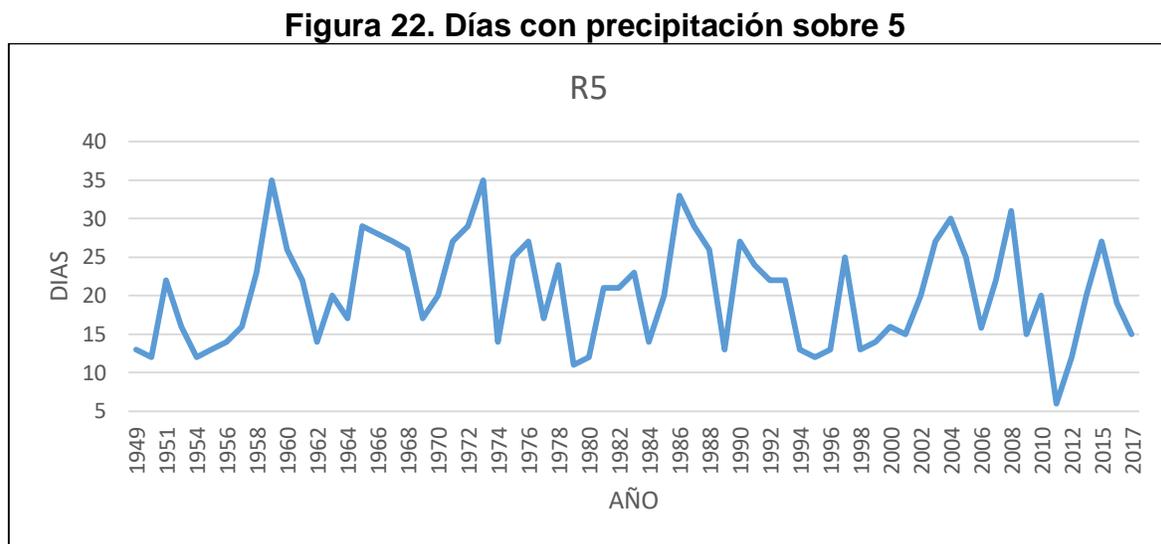


Fuente: Elaboración propia

3.18. Días con precipitación sobre 5 (R5)

El presente índice nos indica los días donde la precipitación es mayor a 5 mm. Esta precipitación es muy comun en el municipio de Saltillo, por eso se tomó este valor como indicativo. Se han alcanzado valores de 35 días y 6 días como valores extremos.

Se observa poca significancia en este índice (ver Figura 22).



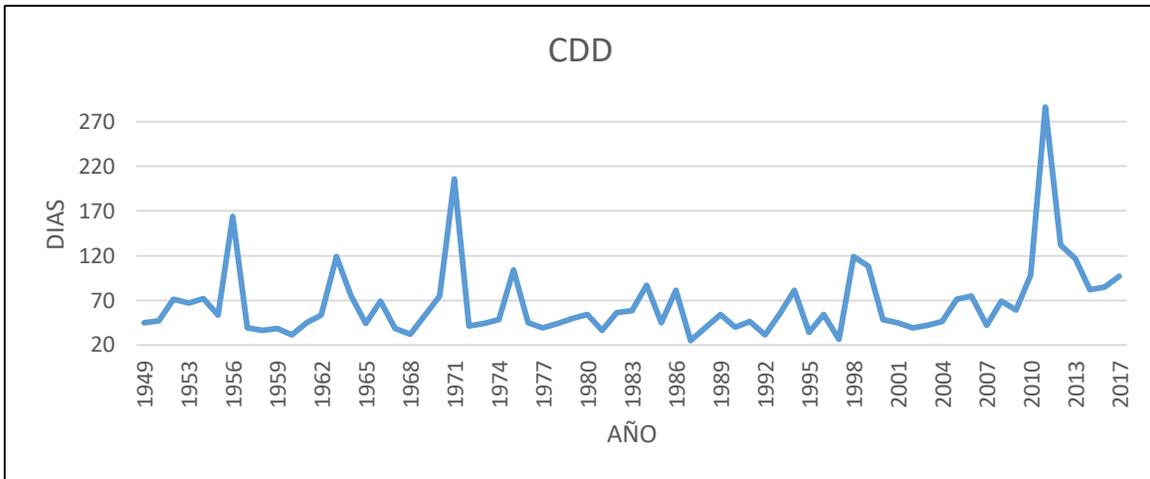
Fuente: Elaboración propia

3.19. Días secos consecutivos (CDD)

El índice CDD indica el período de días secos, contándose los días sin lluvia.

En el municipio de Saltillo se muestra que los días consecutivos sin lluvia, a partir del año 2007 han incrementado considerablemente, en el año 2011 ha sido la peor sequía presentada en los últimos 68 años con 287 días sin lluvia. En base a los resultados obtenidos se observa que cada año aumentan los periodos donde no llueve teniendo una tendencia hacia la alza (ver Figura 24).

Figura 23. Días secos consecutivos

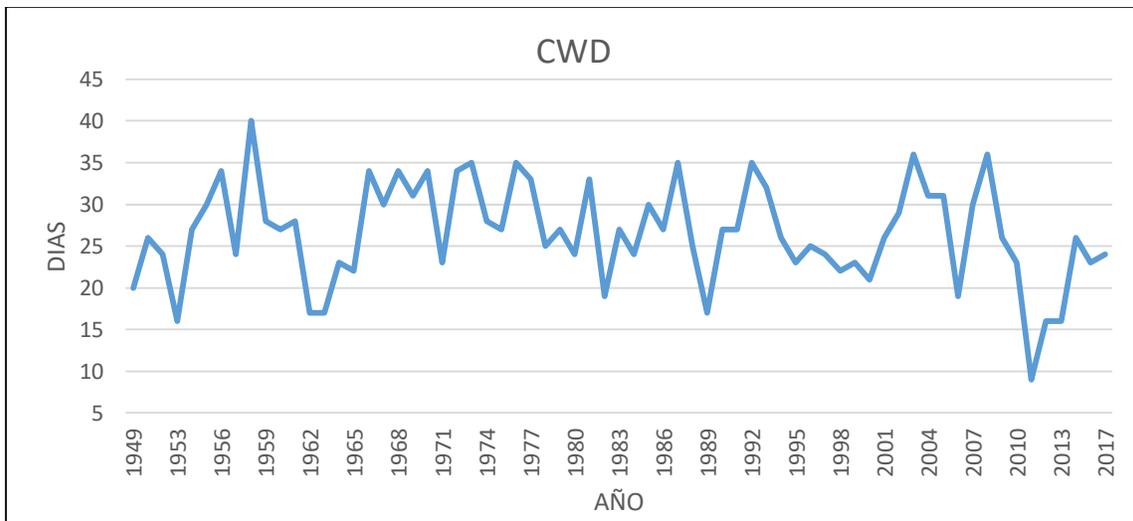


Fuente: Elaboración propia

3.20. Días húmedos consecutivos (CWD)

Contrario al anterior, este índice proporciona los días de lluvia consecutivos de forma mensual. A partir del año 2009 hubo un decremento; y se observa que, de acuerdo a los resultados obtenidos persiste la tendencia hacia abajo, teniendo resultados significativos a partir del año 2008 hasta 2011 (ver Figura 24).

Figura 24. Días húmedos consecutivos



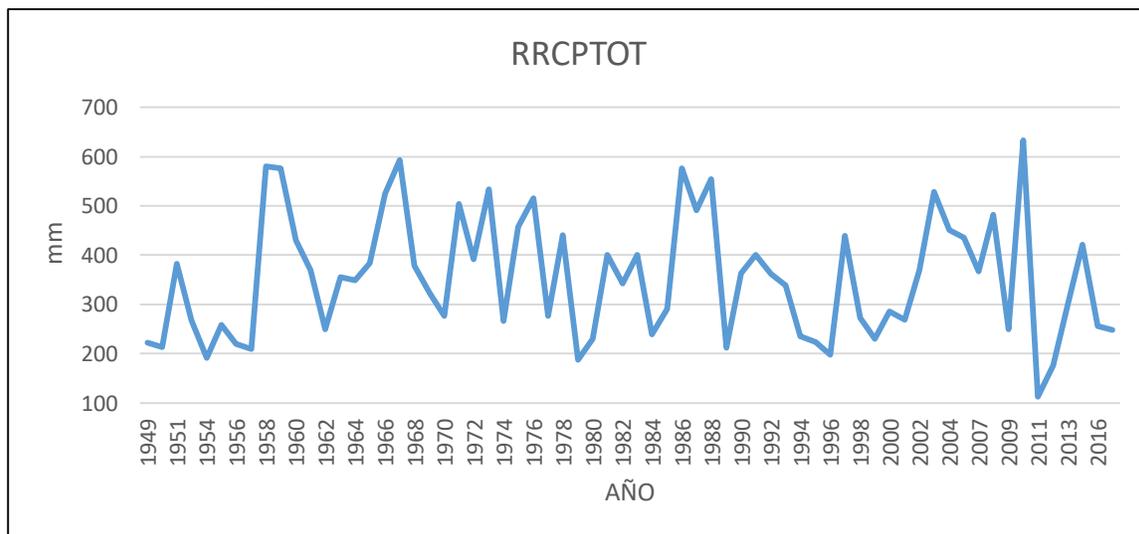
Fuente: Elaboración propia

3.21. Lluvia total anual en días húmedos (RRCPTOT)

El actual índice nos indica el total de lluvia de forma mensual. El municipio de Saltillo ha alcanzado un total de precipitación anual de 633.5 en el año 2010, siendo el año con mayor precipitación en un periodo de 68 años; para el año 2011 se obtuvo un total de 112.5 mm de precipitación anual siendo el año con menos precipitación en dicho periodo.

Observándose gran variabilidad en todo el periodo, sin tener tendencia de algún cambio.

Figura 25. Lluvia total anual en días húmedos



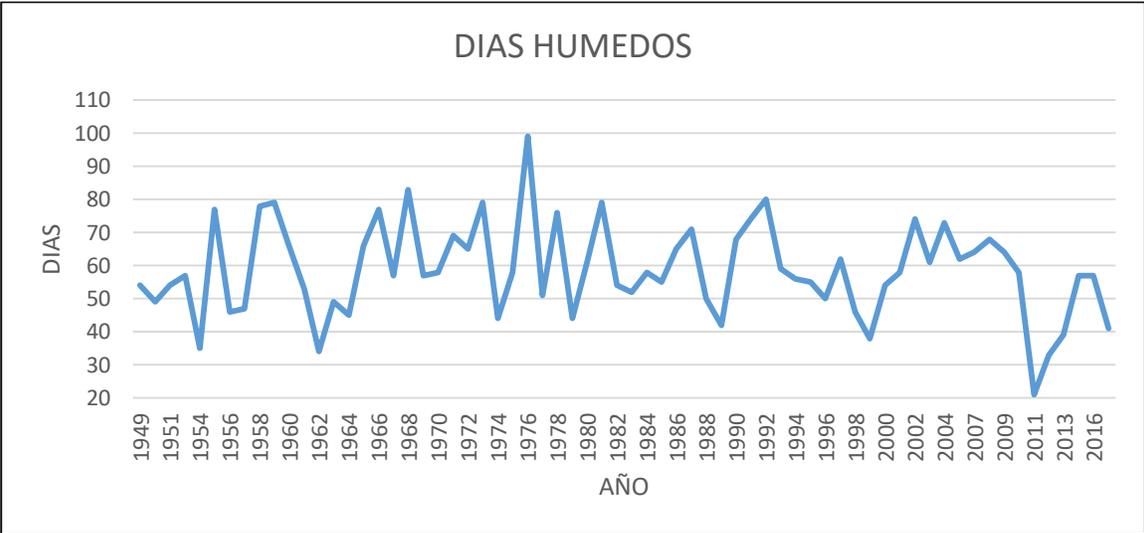
Fuente: Elaboración propia

3.22. Días húmedos

En el presente índice se muestra los días totales de lluvia anual. Siendo el año de 1976 con 99 días de lluvia y el año de 2011 con 21 días de lluvia siendo los valores extremos para un periodo de 68 años (ver Figura 26). En base a los resultados obtenidos se observa como existe una tendencia que va hacia abajo siendo que dicho índice si se encuentran datos significativos el cual presencia modificación de

lluvias para el municipio de Saltillo, notándose como a partir de 1983 cada vez son menos los días de lluvia.

Figura 26. Días húmedos

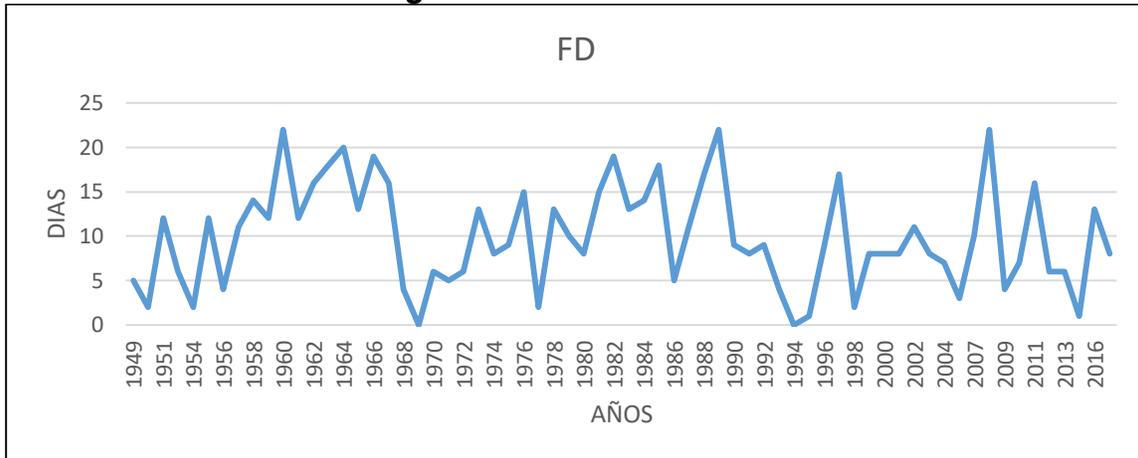


Fuente: Elaboración propia

3.23. Días con helada, temperatura min igual o menor que 0°C (FD)

El índice FD nos indica los días con helada donde la temperatura fue menor a 0°C, de forma mensual. Se observa que para el municipio de Saltillo se han alcanzado valores de 22 días anuales con helada como lo fue en el año de 1960, 1989 y 2008; como mínimo se han alcanzado valores de 0 días con heladas como lo fue en el año de 1969, 1994 y 2015. Sin embargo, es de destacar, que a partir del año 1998 los días con heladas se mantienen por debajo de los 10 días salvo algunos eventos extremos como en el 2008 y 2011, pero no observa la tendencia de años anteriores en que los días con heladas era más común que estuviese por encima de los 10 días (ver Figura 27).

Figura 27. Días con helada

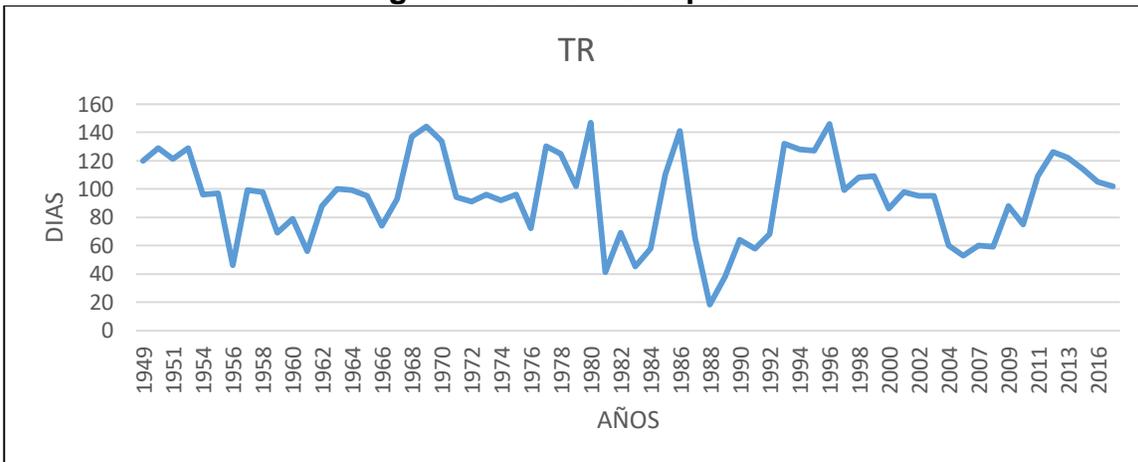


Fuente: Elaboración propia

3.24. Noches tropicales, Temperatura mínima mayor de 15°C (TR)

Este índice muestra las noches en que la temperatura superó los 15° C, a lo que se le denomina noches tropicales. Para el año de 1969 alcanzó un valor de 144 noches tropicales; 1980 con 147 noches tropicales; 1986 con 141 noches tropicales y 1996 con 146 noches tropicales, siendo los valores más altos en un periodo de 68 años (ver Figura 28).

Figura 28. Noches tropicales



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, el tema que nos ocupa es el cambio climático, por lo que, para ampliar el análisis, se hizo una subdivisión del comportamiento de las noches tropicales según se podrá apreciar en el Cuadro 2. Los resultados muestran que en los primeros periodos hay cambios poco significativos, e inclusive las noches tropicales pasan de 26.97% a poco más de 24%, pero es de resaltar, aunque se trata de un período más corto (2010-2017), que el salto que se observa es de consideración, ya que las noches tropicales asciende a 29.47% del total de noches del período, cuando el promedio del período de 1949 a 2017 es de 25.82% de noches tropicales, lo que pudiese ser un indicador de un aumento en la temperatura

Cuadro 2. Noches cálidas y no cálidas según período

Período	Noches tropicales (%)	Noches no cálidas (%)
1949-1969	26.97	73.03
1970-1989	24.16	75.84
1990-2009	24.99	75.01
2010-2017	29.47	70.53
1949-2017	25.82	74.18

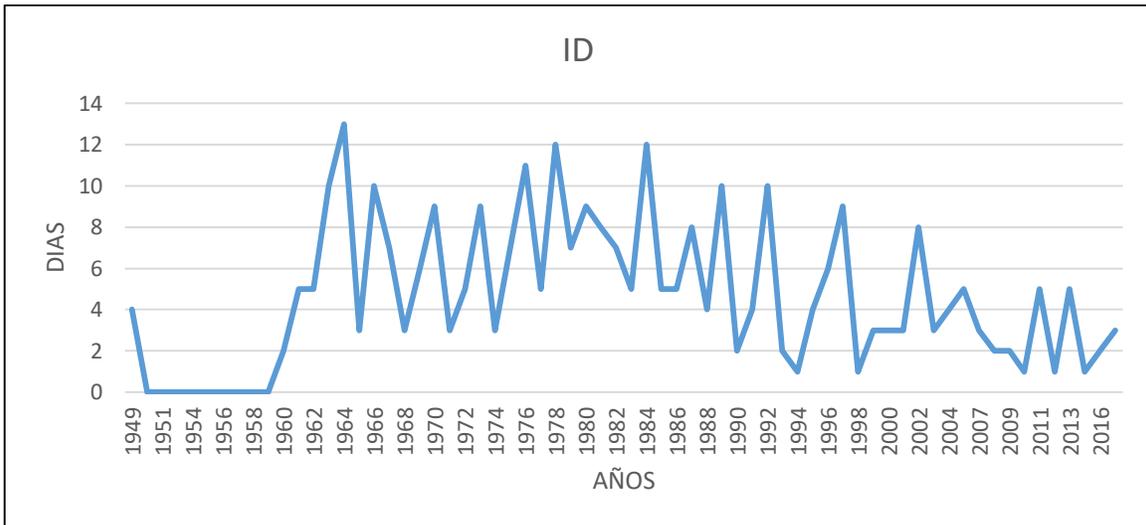
Fuente: Elaboración propia

3.25. Días muy fríos, Temperatura máxima menor a 10°C (ID)

Este índice muestra los días en que la temperatura fue menor a 10°C de forma anual. A partir de 1961 los días fríos aumentaron hasta tener 13 días fríos anual en los años consecutivos; a partir del año 1997 los días fríos han disminuido hasta la actualidad teniendo de 1 a 5 días totales anuales, a excepción del año 2002 se obtuvieron 8 días (ver Figura 29).

Claramente se observa como a partir del año 2005 han disminuido considerablemente los días muy fríos, teniendo una variación tipo tendencia; notándose un ciclo en años pasados donde se tenía 0 días con temperatura menor a 0°C. Esto podría ser un indicio de un aumento en la temperatura.

Figura 29. Días muy fríos



Fuente: Elaboración propia

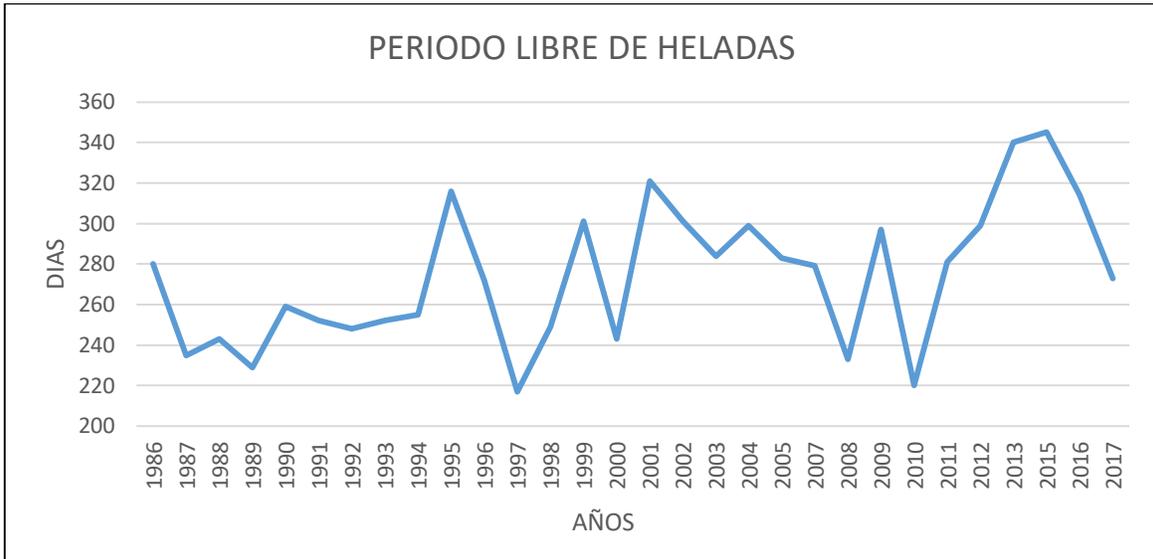
3.26 Periodo libre de helada

Estos datos no corresponden a ningún índice establecido, pero es importante conocer el periodo libre de heladas durante el año.

Se observa que en un periodo de 30 años cada vez aumenta el periodo libre de heladas, lo que corresponde a que cada año se presenten temperaturas mayores a 0°C que en años pasados.

Teniendo una variación tipo tendencia hacia lo alto; obteniéndose datos significativos, aumentando aproximadamente 50 días en el periodo del año 1986 a 2017 (ver Figura 30).

Figura 30. Periodo libre de heladas



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La variabilidad que se observa en el comportamiento del clima, según los índices utilizados para identificar si el cambio climático se está haciendo presente en el municipio de Saltillo, Coahuila, muestra que los cambios son cíclicos, lo cual haría pensar que son propios del clima, y que estos índices no otorgan elementos para decidir si el cambio climático está presente en Saltillo, Coahuila. Sin embargo, algunos índices muestran tendencias indicativas de un cambio en el clima, concretamente, al aumento en las temperaturas, como son el incremento en las noches tropicales y en los días cálidos; así mismo, se observa un aumento en la temperatura máxima y en el período libre de heladas. También, se incrementa la oscilación térmica, lo cual indica que el clima se está haciendo más extremo. No obstante, los cambios que pudieron darse en la lluvia no muestran gran significancia como indicativo de un cambio climático en este aspecto.

Como ya se mencionó, se obtuvo la fórmula climática para la ciudad de Saltillo, Coahuila, de acuerdo al método de Koeppen, modificado por Enriqueta García; para dos periodos de tiempo (1948-1978, 1987-2017) y se obtuvieron diferencias en las fórmulas climáticas, en cuanto a la distribución de las lluvias, diferencias tal vez no muy llamativas, pero que si son consistentes con un cambio climático: las lluvias pasaron de ser lluvias todo el año, más abundantes en verano a lluvias de verano, con tendencia a llover todo el año. Los cambios en las temperaturas, aún no se reflejan en algún cambio en la fórmula climática.

De entrada, pudiera pensarse que el conjunto de índices calculados en la presente investigación, no arrojan datos contundentes para aseverar que el cambio climático se está haciendo presente en el municipio de Saltillo, Coahuila, esto no es concluyente, porque también se detectaron algunas irregularidades en los datos

meteorológicos utilizados, como lo es el manejo de estos por parte del Servicio Meteorológico Nacional, ya que al homogeneizar los datos, para tener una mejor calidad en los mismos, se descartan los llamados “outliners” , datos que pudieran estar fuera de contexto, pero que en este caso, no necesariamente lo están.

También puede tomarse en consideración que el período en que se observan cambios es muy pequeño comparado con los períodos anteriores a él, esto dificulta la detección de cambios significativos, aunado a que el período bajo estudio llega hasta el año 2017. Pero si puede concluirse que ya se deja ver que se está gestando un cambio climático en el municipio, por lo que, se sugiere profundizar más esta investigación.

Cabe mencionar que es importante contar con más puntos de monitoreo en diferentes zonas del municipio de Saltillo, Coahuila, ya que la orografía de la misma propicia microclimas. Aunado a ello debe tomarse en consideración que el Municipio se encuentra situado en la franja divisoria del bosque de coníferas y el semidesierto, condiciones que hacen que se tenga una mezcla de flora y fauna de ambos ecosistemas, pero a su vez propicia una mayor variabilidad en el clima.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar varios estudios y/o análisis. Uno de ellos sería la duración de los ciclos o intervalos donde las temperaturas o precipitación se asemejan, mostrando cada cierto tiempo un ciclo, ya que el presente estudio no muestra muy sutilmente los cambios, por lo tanto habría que profundizar en el análisis del comportamiento de esos ciclos, duración y cambio en temperaturas, etc.

Puede realizarse un estudio comparativo entre dos estaciones meteorológicas cercanas.

Realizar un estudio acotando el tiempo de análisis a 30 años actuales en comparación con 30 años pasados.

Se recomienda actualizar los datos con datos actuales hasta el 2021 de ser posible para el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Alberto, B. (15 de 06 de 2017). *La vanguardia*. Obtenido de La vanguardia:
<https://www.lavanguardia.com/natural/20170615/423374371912/arboles-emigrar-cambio-climatico.html>
- CEDRSSA. (03 de Abril de 2020). *CEDRSSA*. Obtenido de CEDRSSA:
http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-consecuencias-n-_del_-n-cambio_climnotico-n-_en_mn-xico.htm
- Conde Cecilia, F. R. (2021). *Cambio climatico una visión desde México*. Mexico. Obtenido de [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-\(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf#page=225&zoom=100,0,0](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf#page=225&zoom=100,0,0)
- Cornelius, D. S. (11 de 11 de 2015). *WWF*. Obtenido de WWF:
https://wwf.panda.org/wwf_news/?256070/EI%2Dimpacto%2Ddel%2Dcambio%2Dclimtico%2Dsobre%2DIas%2D%2Despecies#:~:text=Muchas%20especies%20se%20est%C3%A1n%20desplazando,y%20sur%2C%20o%20cuesta%20arriba.
- Dennis Meadows, D. M. (1972). *Los limites del crecimiento*. Chelsea Green Publishing Company.
- Donella, H. M., Dennis, L. M., Jorgen, R., & William, W. B. (1972). *the limits to growth*. New York: Nobel ISBN 978-84-8459-045-3.
- El confidencial . (11 de Mayo de 2020). *El confidencial* . Obtenido de El confidencial : https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2020-05-11/nivel-mareas-elevado-calentamiento-global-hielo_2588488/
- Enriqueta, G. (Julio de 2021). Saltillo, Coahuila, Mexico.
- ETCCDI pacificclimate. (20 de NOVIEMBRE de 2021). *ETCCDI* . Obtenido de ETCCDI : http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

- Fangyue Zhang, B. J. (06 de Abril de 2021). *AGU*. Obtenido de AGU: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020GL092293>
- Flores Rentería Dulce, F. L.-S. (2021). *Influencia del tipo de vegetación en los servicios ecosistémicos que brindan las áreas verdes urbanas en una zona árida del norte de México*. Saltillo.
- Gerald C. Nelson, M. W. (2009). *Cambio climático, impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington, D.C.: Copyright. Recuperado el 27 de ENERO de 2021, de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf
- IBERDROLA. (15 de Abril de 2021). *IBERDROLA*. Obtenido de IBERDROLA: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/consecuencias-efecto-invernadero>
- Ímaz Gispert, M. A. (2013). *México frente al cambio climático : retos y oportunidades*. Mexico. Obtenido de http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsd/collect/mx/mx-005/index/assoc/D12743.dir/pdf_1468.pdf
- INEGI. (1991). *INEGI*. Obtenido de INEGI: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825117054/702825117054_6.pdf
- INEGI. (15 de Junio de 2021). *INEGI*. Obtenido de INEGI: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/coah/territorio/clima.aspx?tema=me&e=05>
- IPCC AR6. (2021). *SEXTO INFORME* .
- IPCC AR6. (Agosto de 2021). *SEXTO INFORME* .
- Juana Maria, M. H. (2020). tiempo y clima. Saltillo, Coahuila, México.
- Manuel, L. L. (2009). *Cambio climático y calentamiento global*. México: Trillas.
- Meteorología y climatología de Navarra. (2021). *Meteorología y climatología de Navarra*. Obtenido de Meteorología y climatología de Navarra: <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm#:~:text=Descripci%C3%B3>

n%20general%20de%20los%20tipos%20de%20climas%20seg%C3%BAn%
20K%C3%B6ppen,-
El%20sistema%20de&text=Divide%20los%20climas%20del%20mundo,sub
grupo%20en%20tipos%20de%20clima.

MONOGRAFIA SALTILLO. (2021). SALTILLO, COAHUILA.

Naciones Unidas. (10 de febrero de 2020). *Naciones Unidas*. Obtenido de Naciones Unidas:
<https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20brinda,un%20ciclo%20de%20cinco%20a%C3%B1os>.

O., R. M. (2004). *El cambio climático global: comprender el problema*. Mexico. Obtenido de
[http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-\(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf#page=225&zoom=100,0,0](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf#page=225&zoom=100,0,0)

OMS. (2020 de DICIEMBRE de 23). OMS. Obtenido de OMS:
<https://www.who.int/globalchange/climate/es/#:~:text=La%20variabilidad%20y%20el%20cambio,cambios%20de%20temperatura%20y%20pluviosidad>.

Ortega Montilla Pablo, F. D. (s.f.). *Taller Virtual de Meteorología y Clima*. Obtenido de Taller Virtual de Meteorología y Clima.:
<http://meteolab.fis.ucm.es/clima/volcanes#:~:text=Con%20este%20experimento%20vamos%20a,los%20gases%20de%20efecto%20invernadero.&text=Cuando%20un%20volc%C3%A1n%20entra%20en,cantidades%20de%20gases%20y%20ceniza>.

Pachauri Rajendra K., R. A. (2017). *Cuarto informe de evaluación del IPCC*. ISBN 92-9169-322-7. Obtenido de
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf

Pérez Isabel, G. B. (09 de 01 de 2018). *Ciencia UNAM*. Obtenido de Ciencia UNAM:
<http://ciencia.unam.mx/contenido/infografia/21/cambio-climatico-como-afecta->

Richard, B. (26 de septiembre de 2013). *BBC*. Obtenido de BBC:
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/09/130926_ciencia_historia_cam

adaptación: https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade_modulo-2-impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-centroamerica.pdf

WWF. (2010). WWF. Obtenido de WWF: http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/03_impactos_nacionales_e_internacionales_del_cambio_climatico.pdf

WWT. (11 de NOVIEMBRE de 2021). WWT. Obtenido de WWT: https://wwf.panda.org/wwf_news/?256070/El-impacto-del-cambio-climatico-sobre-las-especies

ANEXO METODOLOGICO

Definición de Índices propuestos según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través del Grupo de Expertos en Detección e índices de Cambio Climático (ETCCDI)

Índices

En seguida, se mencionan los índices de cambio climático, agrupados por categorías

- **Basados en Percentiles**

Noches y días fríos: TN (temperatura mínima) y TX (temperatura máxima) por abajo del percentil 10

1. **TN10p**. *Porcentaje de días cuando TN < 10th percentil:*

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea $TN_{in 10}$ el día calendario del 10th percentil centrado en una ventana de 5 días para el período base 1961-1990. El porcentaje de tiempo para el período base se determina dónde:

$$TN_{ij} < TN_{in 10}.$$

2. **TX10p**, *Porcentaje de días cuando TX < 10th percentil:*

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i del periodo j y sea $TX_{in 10}$ el día calendario del 10th percentil centrado en una ventana de 5 días para el período base 1961-1990. El porcentaje de tiempo para el período base se determina dónde:

$$TX_{ij} < TX_{in\ 10}$$

Noches y días cálidos: TN y TX por arriba del percentil 90

3. **TN90p**, *Porcentaje de días en que TN > 90th percentil:*

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i del periodo j y sea $TN_{in\ 90}$ el día calendario del 90th percentil centrado en una ventana de 5 días para el período base 1961-1990. El porcentaje de tiempo para el período base se determina dónde:

$$TN_{ij} > TN_{in\ 90}$$

4. **TX90p**, *Porcentaje de días en que TX > 90th percentil:*

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $TX_{in\ 90}$ el día calendario el 90th percentil centrado en una ventana de 5 días para el período base 1961-1990. El porcentaje de tiempo para el período base se determina dónde:

$$TX_{ij} > TX_{in\ 90}$$

Días muy lluviosos (R95p) y extremadamente lluviosos (R99p): Lluvias por encima de los percentiles 95 y 99

5. **R95pTOT**. Precipitación total anual cuando $RR > 95p$. Sea RR_{wj} la cantidad de precipitación diaria en un día lluvioso w ($RR \geq 1.0$ mm) en el período i y sea RR_{wn95} el percentil 95th de la precipitación en días húmedos del período 1961-1990. Si W representa el número de días húmedos en el período, entonces

$$R95\ p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad \text{donde } RR_{wj} > RR_{wn\ 95}$$

6. **R99pTOT**. Precipitación total anual cuando $RR > 99p$. Sea RR_{wj} la cantidad de precipitación diaria en un día lluvioso w ($RR \geq 1.0$ mm) en el período i y sea RR_{wn99} el percentil 99th de la precipitación en días húmedos del período 1961-1990. Si W representa el número de días húmedos en el período, entonces

$$R99\ p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad \text{donde } RR_{wj} > RR_{wn\ 99}$$

- **Absolutos**

Valores máximos o mínimos estacionales o anuales

Días (TXx) y noches (TNx) más cálidos

7. **TX_x**, *Valor máximo mensual de las temperaturas máximas diarias:*

Sea TX_x la temperatura máxima diaria en el mes k , período j . La temperatura máxima de las temperaturas máximas diarias de cada mes es entonces:

$$TX_x\ k_j = \text{máx. } (TX_x\ k_j).$$

8. **TNx**, *Valor máximo mensual de las temperaturas mínimas diarias:*

Sea TNx la temperatura mínima diaria en el mes k , período j . La temperatura máxima de las temperaturas mínimas diarias de cada mes es entonces:

$$TN_x\ k_j = \text{max } (TN_x\ k_j).$$

Días (TXn) y noches (TNn) más fríos

9. **TXn**, *Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria:*

Sea TX_n la temperatura máxima diaria en el mes k , período j . La temperatura máxima de las temperaturas mínimas diarias de cada mes es entonces:

$$TX_{n_{kj}} = \min (TX_{n_{kj}}).$$

10. **TN_n**, *Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria:*

Sea TN_n la temperatura mínima diaria en el mes k , período j . La temperatura mínima de las temperaturas mínimas diarias de cada mes es entonces:

$$TN_{n_{kj}} = \text{mínimo} (TN_{n_{kj}})$$

(RX 1 día) y (RX 5 días) días con precipitación

11. **Rx1day**. *Máximo mensual de 1 día de precipitación:*

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación en el día i del período j . El valor máximo de 1 día para el período j es:

$$Rx1día_j = \text{máx.} (RR_{ij})$$

12. **Rx5day**. *Precipitación máxima mensual de 5 días consecutivos de precipitación:*

Sea RR_{kj} la cantidad de precipitación para el intervalo de 5 días que termina en k , período j . Entonces, los valores máximos de 5 días para el período j son:

$$Rx5día_j = \text{máx.} (RR_{kj})$$

- **Umbrales**

Días en que la temperatura o la lluvia sobrepasan un umbral definido

Noches de helada (FD) donde TN es menor de 0°C y días de helada (ID) donde TX es menor a 0°C

13. **FD.** *Número de días con heladas:* Recuento anual de días cuando TN (temperatura mínima diaria) < 0 °C

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria del día i del año j . Cuente el número de días en los que:

$$TN_{ij} < 0 \text{ °C}$$

14. **ID.** *Número de días helados:* Recuento anual de días cuando TX (temperatura máxima diaria) < 0 °C

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria el día i del año j . Cuente el número de días en los que:

$$TX_{ij} < 0 \text{ °C}$$

Días de verano (SU) días en que TX es mayor que 25°C

15. **SU25.** *Número de días de verano:* Recuento anual de días en los que TX (temperatura máxima diaria) > 25°C

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria del día i en el año j . Cuente el número de días en los que:

$$TX_{ij} > 25 \text{ °C}$$

Noches tropicales (TR) días en que TN es mayor de 20°C

16. **TR.** *Número de noches tropicales:* Conteo anual de días en los que TN (temperatura mínima diaria) > 20 °C

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria el día i del año j . Cuente el número de días en los que:

$$TN_{ij} > 20 \text{ °C}$$

Precipitaciones fuertes (R10) y muy fuertes (R20): Lluvia mayor de 10 mm y 20 mm respectivamente

17. **R10mm.** *Recuento anual de días cuando PRCP ≥ 10 mm:* Sea RR ij la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente el número de días en los que:

$$RR_{ij} \geq 10 \text{ mm}$$

18. **R20mm.** *Recuento anual de días cuando PRCP ≥ 20 mm:* Sea RR ij la cantidad de precipitación diaria en el día i del período j . Cuente el número de días en los que:

$$RR_{ij} \geq 20 \text{ mm}$$

- **Duración**

Definen períodos de frío o calor, lluvia o sequía

Duración de secuencias frías (olas de frío), cuenta anual de días en secuencias de al menos 6 días consecutivos con TN menor al percentil 10 (CSDI)

19. **CSDI.** *Índice de duración de periodo frío:* Recuento anual de días con al menos 6 días consecutivos en los que TN $< 10^{\text{th}}$ percentil.

Sea TN ij la temperatura máxima diaria del día i del periodo j y sea TN $in 10$ el día calendario del 10^{th} percentil centrado en una ventana de 5 días para el período de base 1961-1990. Luego se suma el número de días por período donde, en intervalos de al menos 6 días consecutivos:

$$TN_{ij} < TN_{in 10}.$$

Duración de secuencias cálidas (olas de calor), cuenta anual de días en secuencias de al menos 6 días consecutivos con TX mayor al percentil 90 (WSDI)

20. **WSDI.** *Índice de duración de periodo cálido:* Recuento anual con al menos 6 días consecutivos en los que $TX > 90^{\text{th}}$ percentil.

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria del día i del periodo j y sea $TN_{in 10}$ el día calendario del 10^{th} percentil centrado en una ventana de 5 días para el período de base 1961-1990. Luego se suma el número de días por período donde, en intervalos de al menos 6 días consecutivos:

$$TX_{ij} < TN_{in 10}.$$

Longitud de la estación de crecimiento (GSL), días entre la primera secuencia de al menos 6 días con temperaturas medias diarias mayores a 5°C y la siguiente secuencia de al menos 6 días con temperatura media por debajo de 5°C

21. **GSL.** *Longitud de la estación de crecimiento:* Cuenta anual (1 ene al 31 Dic en el hemisferio norte, 1 julio al 30 de junio en hemisferio sur) entre la primera secuencia de al menos 6 días con temperatura media diaria $TG > 5^{\circ}\text{C}$ y la primera secuencia después de julio 1 (ene 1 en Hemisferio sur) de 6 días con $TG < 5^{\circ}\text{C}$

Sea TG_{ij} la temperatura media diaria del día i del año j . Cuente el número de días entre la primera aparición de al menos 6 días consecutivos con:

$$TG_{ij} > 5^{\circ}\text{C}$$

Y la primera ocurrencia después del 1 de julio (1 de enero en el HS), de al menos 6 días consecutivos con:

$$TG_{ij} < 5^{\circ}\text{C}$$

Días secos consecutivos (CDD), máximo número de días consecutivos con precipitación inferior a 1 mm

22. **CDD**. Duración máxima de la racha seca, número máximo de días consecutivos con $RR < 1$ mm:

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente la mayor cantidad de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} < 1 \text{ mm}$$

Días lluviosos consecutivos (CWD), máximo número de días consecutivos con precipitación mayor o igual a 1 mm

23. **CWD**. Duración máxima del período de lluvia, número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1$ mm:

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente la mayor cantidad de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$$

- **Otros**

Precipitación total anual (PRCPTTOT)

24. **PRCPTOT**. *Precipitación total anual en días húmedos*: Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Si I representa el número de días en j , entonces:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

Oscilación térmica diaria (DTR)

25. **DTR**, *Rango diario de temperatura*: Oscilación media mensual entre T_X y T_N .

Sean TX_{ij} y TN_{ij} la temperatura máxima y mínima diaria, respectivamente, del día i en el período j . Si I representa el número de

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (TX_{ij} - TN_{ij})}{I}$$

días en j , entonces:

Índice simple de la intensidad de la precipitación (SDII): precipitación total entre días con lluvia, mayor o igual a 1 mm

26. **SDII.** *Índice simple de intensidad de precipitación:* Sea RR_{wj} la cantidad de precipitación diaria en días húmedos, w ($RR \geq 1$ mm) en el período j . Si W representa el número de días húmedos en j , entonces:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

INDICES MODIFICADOS PARA SALTILLO

Noches y días fríos: TN (temperatura mínima) y TX (temperatura máxima) por abajo del percentil 10.

Modificación: Se calculó el percentil 10 de cada mes y se contaron los días en que las temperaturas mínimas y máximas fueron inferiores a este valor.

1. **TN10p.** Número de días en que $TN < 10^{\text{th}}$ percentil:

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i del mes j . Se cuentan los días en que:

$$TN_{ij} < 10^{\text{th}} \text{ percentil.}$$

2. **TX10p,** Número de días en que $TX < 10^{\text{th}}$ percentil:

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i del mes j . Se cuentan los días en que:

$$TX_{ij} < 10^{\text{th}} \text{ percentil.}$$

Noches y días cálidos: TN y TX por arriba del percentil 90

Modificación: Se calculó el percentil 90 de cada mes y se contaron los días en que las temperaturas mínimas y máximas fueron superiores a este valor

3. **TN90p.** Número de días en que $TN > 90^{\text{th}}$ percentil:

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i del mes j . Se cuentan los días en que:

$TN_{ij} > 90^{\text{th}}$ percentil.

4. TX_{90p} , Número de días en que $TX > 90^{\text{th}}$ percentil:

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i del mes j . Se cuentan los días en que:

$TX_{ij} > 90^{\text{th}}$ percentil.

Días muy lluviosos (R95p) y extremadamente lluviosos (R99p): Lluvias por encima de los percentiles 95 y 99

Estos índices no se calcularon, porque con lo escasa que es la precipitación era muy probable que cualquier lluvia superara este valor y el resultado sería confuso.

- **Absolutos**

Valores máximos o mínimos estacionales o anuales

Días (TX_x) y noches (TNx) más cálidos

Estos índices no se modificaron

5. TX_x , Valor máximo mensual de las temperaturas máximas diarias:

Sea TX_x la temperatura máxima diaria en el mes k , período j . La temperatura máxima de las temperaturas máximas diarias de cada mes es entonces:

$TX_x = \text{máx.}(TX_{kj})$.

6. TNx , Valor máximo mensual de las temperaturas mínimas diarias:

Sea TNx la temperatura mínima diaria en el mes k , período j . La temperatura mínima de las temperaturas mínimas diarias de cada mes es entonces:

$$TN \times_{kj} = \max (TN \times_{kj}).$$

Días (TXn) y noches (TNn) más fríos

No se modificaron

7. TXn, *Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria:*

Sea TXn la temperatura máxima diaria en el mes k, período j. La temperatura máxima de las temperaturas mínimas diarias de cada mes es entonces:

$$TX \ n_{kj} = \min (TX \ n_{kj}).$$

8. TNn, *Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria:*

Sea TNn la temperatura mínima diaria en el mes k, período j. La temperatura mínima de las temperaturas mínimas diarias de cada mes es entonces:

$$TNn \ kj = \text{mínimo} (TNn \ kj)$$

(RX 1 día) y (RX 5 días) días con precipitación

No se modificaron

9. Rx1day. *Máximo mensual de 1 día de precipitación:*

Sea RR *ij* la cantidad de precipitación en el día *i* del período *j*. El valor máximo de 1 día para el período *j* es:

$$Rx1\text{día } j = \text{máx.} (RR \ ij)$$

10. Rx5day. *Precipitación máxima mensual de 5 días consecutivos de precipitación:*

Sea RR_{kj} la cantidad de precipitación para el intervalo de 5 días que termina en k , período j . Entonces, los valores máximos de 5 días para el período j son:

$$R_{x5día j} = \text{máx.} (RR_{kj})$$

- **Umbrales**

Días en que la temperatura o la lluvia sobrepasan un umbral definido.

En el índice FD se modificó el límite, cambiando menor de 0°C por igual o menor que 0°C En el índice ID se cambió el nombre por días muy fríos y el límite se subió a 10°C Esto porque en la región son muy frecuentes las temperaturas mínimas de 0°C y porque no es muy común que las máximas sean inferiores a 0°C

Noches de helada (FD) donde TN es igual o menor de 0°C y días muy fríos (ID) donde TX es menor a 10°C

11.FD. *Número de días con heladas:* Recuento anual de días cuando TN (temperatura mínima diaria) $\leq 0^\circ\text{C}$

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria del día i del año j . Cuente el número de días en los que:

$$TN_{ij} \leq 0^\circ\text{C}$$

12.ID. *Número de días muy fríos:* Recuento anual de días cuando TX (temperatura máxima diaria) $< 10^\circ\text{C}$

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria el día i del año j . Cuente el número de días en los que:

$$TX_{ij} < 10^\circ\text{C}$$

Días de verano (SU) días en que TX es mayor que 25°C

No se modificó

13.SU25. *Número de días de verano:* Recuento anual de días en los que TX (temperatura máxima diaria) $> 25^\circ\text{C}$

Sea TX_{ij} la temperatura máxima diaria del día i en el año j . Cuente el número de días en los que:

$$TX_{ij} > 25^{\circ}\text{C}$$

Noches tropicales (TR) días en que TN es mayor de 15°C

Modificación: Aún en verano, no es muy común que las temperaturas mínimas sean cercanas a 20°C, se modificó el umbral a 15°C

14. TR. *Número de noches tropicales:* Conteo anual de días en los que TN (temperatura mínima diaria) $> 15^{\circ}\text{C}$

Sea TN_{ij} la temperatura mínima diaria el día i del año j . Cuente el número de días en los que:

$$TN_{ij} > 15^{\circ}\text{C}$$

Precipitaciones fuertes (R10) y muy fuertes (R20): Lluvia mayor de 10 mm y 20 mm respectivamente

No se modificó

15. R10mm. *Recuento anual de días cuando PRCP ≥ 10 mm:* Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente el número de días en los que:

$$RR_{ij} \geq 10 \text{ mm}$$

16. R20mm. *Recuento anual de días cuando PRCP ≥ 20 mm:* Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i del período j . Cuente el número de días en los que:

$$RR_{ij} \geq 20 \text{ mm}$$

Para este índice el umbral tomado para el municipio de Saltillo fue de 5 mm diario.

17. Rnmm Recuento anual de días cuando $PRCP \geq nmm$, nn es un umbral definido por el usuario: Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente el número de días en los que:

$$RR_{ij} \geq nmm$$

- **Duración**

Definen períodos de frío o calor, lluvia o sequía

Duración de secuencias frías (olas de frío), cuenta anual de días en secuencias de al menos 6 días consecutivos con TN menor al percentil 10 (CSDI)

18. CSDI. *Índice de duración de periodo frío:* Recuento anual de días consecutivos con temperaturas iguales o menores a 0°C

Sea TN_{ij} la temperatura máxima diaria del día i del periodo j . Se suma el número de días con temperaturas inferiores o iguales a 0°C

$$TN_{ij} < 0^{\circ}\text{C}$$

Duración de secuencias cálidas (olas de calor), cuenta anual de días en secuencias de al menos 6 días consecutivos con TX mayor al percentil 90 (WSDI)

19. WSDI. *Índice de duración de periodo cálido:* Recuento anual de días consecutivos en los que $TX > 25^{\circ}\text{C}$

Sea TN_{ij} la temperatura máxima diaria del día i del periodo j . Se suma el número de días con temperatura inferior o igual a 0°C

$$TX_{ij} > 25^{\circ}\text{C}$$

- Días secos consecutivos (CDD), máximo número de días consecutivos con precipitación inferior a 1 mm

No se modificó

20. CDD. *Duración máxima de la racha seca*, número máximo de días consecutivos con $RR < 1$ mm:

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente la mayor cantidad de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} < 1 \text{ mm}$$

Días lluviosos consecutivos (CWD), máximo número de días consecutivos con precipitación mayor o igual a 1 mm

No se modificó

21. CWD. *Duración máxima del período de lluvia*, número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1$ mm:

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente la mayor cantidad de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$$

No se modificó

- **Otros**

Precipitación total anual (PRCPTTOT)

No se modificó

22. PRCPTTOT. *Precipitación total anual en días húmedos*: Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Si I representa el número de días en j , entonces:

$$PRCPTTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

Oscilación térmica diaria (DTR)

No se modificó

- 23. DTR, Rango diario de temperatura:** Oscilación media mensual entre TX y TN.

Sean TX ij y TN ij la temperatura máxima y mínima diaria, respectivamente, del día i en el período j . Si I representa el número de

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$$

días en j , entonces:

Índice simple de la intensidad de la precipitación (SDII): precipitación total entre días con lluvia, mayor o igual a 1 mm

No se modificó

- 24. SDII. Índice simple de intensidad de precipitación:** Sea RR wj la cantidad de precipitación diaria en días húmedos, w ($RR \geq 1$ mm) en el período j . Si W representa el número de días húmedos en j , entonces:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

- 25. Días húmedos:** días totales de lluvia anuales

Cuadro 3. Utilidad de los índices

Índice	Salud	Agricultura y seguridad alimentaria	Recursos hídricos y seguridad alimentaria	Costas	Reducción de Desastres	Energía	Pesquería	Silvicultura / GEI	Criosfera
FD	✓	✓			✓			✓	✓
TR	✓	✓			✓			✓	
TXx	✓	✓				✓		✓	✓
TNn	✓	✓				✓		✓	✓
WSDI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CSDI	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
CDD	✓	✓	✓		✓			✓	
R20mm		✓	✓					✓	
PRCPTOT RP		✓	✓					✓	
DTR								✓	
TNx	✓								✓
TXn	✓								✓
TX10p						✓			
TX90p						✓			
TN10p						✓			
TN90p						✓			
CWD				✓					
R10mm				✓					
SDII			✓					✓	
Rx1day		✓		✓	✓			✓	
Rx5day		✓		✓	✓			✓	
SU	✓				✓				

Fuente: Climpact

GLOSARIO

Adaptación: Ajustes en los sistemas humanos y/o de la naturaleza como respuesta a alteraciones del clima proyectados o reales que puedan atentar el daño o aprovechar los aspectos positivos.

Atmósfera: Envoltura gaseosa que rodea al planeta Tierra formada por el 78.1% de nitrógeno, 20.9% de oxígeno y varios gases de proporción mínima, tales como el argón (0.93%) y otros gases nobles, dióxido de carbono (0.035%), hidrógeno, metano, vapor de agua y ozono. También contiene aerosoles y hielo, en cantidades que varían considerablemente.

Calor: Es una forma de energía debida a la agitación de las moléculas de los cuerpos; se mide en unidades energéticas.

Cambio climático: Es el conjunto de grandes y rápidas perturbaciones provocadas en el clima por el aumento de la temperatura del planeta. es el problema ambiental más importante al que se enfrenta la humanidad.

Clima: es el promedio del tiempo en un lugar, estableciendo como mínimo una temporalidad de 30 años.

Criosfera: Es un componente del sistema climático formado por nieve, hielo, suelo congelado, situado sobre o debajo de la superficie de la tierra y de los océanos.

Efecto de invernadero: Proviene de la acumulación, en la atmósfera, de gases que permiten el paso de la radiación de onda corta del Sol, durante el día y que bloquean la propagación de la radiación de onda larga de la tierra durante la noche, evitando así el enfriamiento de la superficie terrestre. A consecuencia de este efecto, la Tierra conserva una temperatura media de 15°C. Los principales gases de invernadero

son: el dióxido de carbono (CO₂), el Ozono (O₃) el metano (CH₄) y el vapor de agua (H₂O).

El fenómeno La Niña: Este ocurre cuando las temperaturas de la superficie del mar, en el Océano Pacífico oriental, están más frías de lo normal, con anomalías de por lo menos -0.5°C

El fenómeno El Niño: Este ocurre cuando las temperaturas de la superficie del mar, en el Océano Pacífico oriental, están más cálidas de lo normal, con anomalías de por lo menos 0.5°C

Estación meteorológica: Es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.

Helada: Se produce cuando la superficie terrestre y el aire que se asienta sobre ella alcanzan una temperatura por debajo de 0° C

Llovizna: Procede de nubes densas y muy bajas (estratos) está formada por gotas muy pequeñas numerosas que caen pausadamente.

Lluvia: Precipitación líquida formada por gotas grandes que caen de modo uniforme; las nubes que producen lluvia son nubes bajas, espesas y de desarrollo horizontal (estratocúmulos, nimbostratos).

Mitigación del Cambio climático: Actividad humana destinada a reducir las fuentes de gases de efecto invernadero y/o a mejorar los sumideros que absorben dichos gases.

Nieve: Es una precipitación formada por la agrupación de cristales de hielo.

Oscilación: Diferencia que existe entre la temperatura más baja y la más alta que se ha registrado en un lugar o zona concreta en un periodo de tiempo concreto.

Percentil: Es una medida estadística utilizada para comparar datos. Consiste en un número de 0 a 100 que indica el porcentaje de datos que son igual o menor que un determinado valor.

Precipitación: Es la caída del agua, sea en estado líquido o en estado sólido.

Sequía: Ausencia prolongada de precipitación principalmente de lluvia.

Temperatura máxima: Es la mayor temperatura registrada en un día.

Temperatura mínima: Es la menor temperatura registrada en un día.

Temperatura: Nivel o grado de calor alcanzado por los cuerpos; se mide en unidades propias de esta magnitud, tales como grados Celsius.

Tiempo: Son los eventos atmosféricos que suceden en un instante dado, que pueden ser actuales, pasados o futuros, de muy corta duración.

Vulnerabilidad: Estado en el que el sistema no es capaz de soportar los efectos adversos del cambio de clima, esto incluye tanto la propia variabilidad climática como los fenómenos extremos.