

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE
RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Tesis

**“EVALUACIÓN DE PELIGRO CLIMÁTICO
POR ONDAS DE CALOR EN EL MUNICIPIO
DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS”**

que para obtener el título de:

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Presenta

MARÍA FERNANDA PASCACIO NARCIA

Director

DR. EMMANUEL DÍAZ NIGENDA

Revisores

DRA. GABRIELA NARCIZO DE LIMA

LIC. ÓSCAR ISAAC RASCÓN LÓPEZ



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Agosto de 2021.



Lugar: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS
Fecha: JUNIO 01, 2021

C. MARÍA FERNANDA PASCACIO NARCIA

Pasante del Programa Educativo de: **LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

**EVALUACIÓN DE PELIGRO CLIMÁTICO POR ONDAS DE CALOR EN EL MUNICIPIO
DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**

En la modalidad de: **TESIS PROFESIONAL**

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Firmas:

DRA. GABRIELA NARCIZO DE LIMA

LIC. ÓSCAR ISAAC RASCÓN LÓPEZ

DR. EMMANUEL DÍAZ NIGENDA

Gabriela Narcizo de Lima

Agradecimientos

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), en particular al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IIGERCC), por la aceptación y confianza de formarme académicamente.

A mi Director de proyecto y Tutor académico, el Dr. Emmanuel Díaz Nigenda por haberme brindado, primeramente, la propuesta del tema de investigación, así como la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento para llevar acabo la labor conjunta del presente proyecto, que sin su guía, impulso y apoyo no habría sido posible de realizar.

A mis revisores y asesores, la Dra. Gabriela Narcizo de Lima y el Lic. Óscar I. Rascón López, por todo su apoyo, observaciones y sugerencias, que indudablemente enriquecieron ampliamente este trabajo.

A la Comisión Nacional del Agua por facilitar los registros de los datos históricos de temperatura aquí empleados, así como al Centro Nacional de Prevención de Desastres por la asistencia y apoyo durante la implementación de la metodología.

Al Ing. Ernesto Velázquez, amigo y colega, por su apoyo y aporte durante el análisis de datos meteorológicos.

Al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTI), por apoyarme con la BECA TESIS LICENCIATURA 2021, misma que fue de gran utilidad para la elaboración e impresión de la Tesis que aquí presento.

Al personal académico, técnico y administrativo del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático por sus enseñanzas, apoyo, cariño y asistencia durante la estancia de mis estudios.

Dedicatoria

A mis padres, hermanos

y familia,

por su apoyo infinito,

su amor

y comprensión

a lo largo de mi formación humana

y académica.

GRACIAS TOTALES.

Contenido

Introducción	11
II. Marco teórico	13
2.1. <i>El sistema climático terrestre</i>	13
2.2. <i>Tiempo atmosférico y Clima.</i>	14
2.3. <i>Cambio climático</i>	15
2.4. <i>Ondas de calor</i>	19
2.5. <i>Riesgo, peligro y vulnerabilidad</i>	20
III. Planteamiento del problema.....	23
IV. Justificación	26
V. Antecedentes	27
VI. Objetivos.....	31
6.1. <i>Objetivo general</i>	31
6.2. <i>Objetivos específicos</i>	31
VII. Zona de estudio	32
VIII. Materiales y métodos	35
IX. Resultados	45
X. Discusión de resultados.....	68
XI. Conclusiones.....	71
XII. Recomendaciones	73
Lista de referencias.....	74

Listado de gráficas

<i>Gráfica 1. Registro de temperaturas máximas y mínimas en la estación TGZ- DGE</i>	<i>47</i>
<i>Gráfica 2. Serie de tiempo 1951-1981 (1er periodo)</i>	<i>48</i>
<i>Gráfica 3. Serie de tiempo 1982-2019 (2do periodo)</i>	<i>48</i>
<i>Gráfica 4. Periodo de tiempo seleccionado (1961-2019)</i>	<i>49</i>
<i>Gráfica 5. Frecuencia de ocurrencia de OC por mes</i>	<i>55</i>
<i>Gráfica 6. Número de eventos de OC en años puntuales</i>	<i>61</i>
<i>Gráfica 7. Relación entre OC (NEA) y el fenómeno El Niño-ENSO</i>	<i>64</i>
<i>Gráfica 8. Severidades Totales (1961-2019)</i>	<i>65</i>
<i>Gráfica 9. Severidad Total (ST) vs. Severidad Máxima (SM) (1961-2019)</i>	<i>66</i>
<i>Gráfica 10. Intensidad promedio anual (1961-2019)</i>	<i>66</i>
<i>Gráfica 11. Duración anual de los eventos de OC</i>	<i>67</i>
<i>Gráfica 12. Presencia anual de los eventos de OC</i>	<i>67</i>

Listado de tablas

<i>Tabla 1. Efectos del cambio climático</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2. Estaciones climatológicas identificadas en la zona de estudio</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. Resumen de registro de valores faltantes</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 4. Valores obtenidos de las series de tiempo 1961-2019</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 5. Ondas de calor, TGZ (1961-2019)</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 6. Parámetros e índices de la onda de calor</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 7. Parámetros anuales</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 8. Índices anuales</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 9. Eventos más severos</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 10. Resumen de los eventos de OC con información de la NOAA</i>	<i>62</i>

Listado de figuras

<i>Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.</i>	<i>33</i>
---	-----------

*“El mayor enemigo del conocimiento no es la ignorancia,
es la **ilusión** de conocimiento.”*

-Stephen Hawking.

Prefacio

Si bien, el concepto de Cambio Climático ha tratado de dar explicación a muchos de los fenómenos desencadenados por la perturbación en el Sistema Climático Terrestre, como resultado de la actividad humana y el consecuente calentamiento global, existen aún muchos vacíos en el ámbito científico que permitan explicar en su totalidad distintos fenómenos y patrones de comportamiento de la atmósfera que han sido “obviados” en el contexto de la lógica.

Es así como fenómenos hidrometeorológicos extremos, como las ondas de calor, pasan a segundo término por la mayoría de la comunidad científica, siendo este conceptualizado como un fenómeno natural que, por la actividad anticiclónica, tarde o temprano, se manifestará en la troposfera media y baja mediante anomalías de altas temperaturas y, que por efectos del cambio climático global, aumentarán en frecuencia, intensidad, y severidad (IPCC, 2012).

Sin embargo, dentro de dicha obviedad de lo lógico, se omite la complejidad dentro del estudio holístico de un fenómeno singular. Es decir, partiendo de la teoría de sistemas (Bertalanffy, 1987), el conjunto de interrelaciones en el Sistema Tierra desencadena un bucle sin fin de retroalimentaciones causa-efecto y cuando el vacío en el conocimiento científico no permite explicar a profundidad la causa primaria, la dinámica y la evolución de cierto fenómeno, lo “lógico” pasa a simplificar la naturaleza de la causa-efecto de interrelaciones que son punto de partida para comprender el objeto en estudio; siendo estos vacíos, en el conocimiento y avance científico, parchados momentáneamente por un concepto global, que resulta ser una pantalla más chica para tapar dicho hueco, vacío que, con el paso del tiempo es olvidado y dado por hecho.

Pero, si todo es producto de un ciclo y del conjunto de interrelaciones de los diferentes subsistemas del Sistema Tierra, ¿cómo pretende la ciencia explicar fenómenos “lógicamente” interrelacionados con vacíos en la lógica-conocimiento?

Dado lo anterior, es entendible cómo el Cambio Climático pasa a ser el concepto lógico para la explicación del comportamiento actual de muchos fenómenos, y así mismo, las ondas de calor.

Introducción

La sociedad, en su interacción con la naturaleza, se ha adaptado a determinados patrones del ambiente en el que se desarrolla, encontrándose, a la vez, expuesta a los fenómenos naturales adversos que en este se presentan ya sea de manera eventual o recurrente. Dichos fenómenos se constituyen en amenaza en la medida en que ponen en peligro la vida de las personas y el funcionamiento de la sociedad.

Respecto a lo anterior, el fenómeno del cambio climático puede ser considerado un problema de gestión de riesgo en el que los cambios en la temperatura y precipitación son resultado del incremento en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Cabe señalar que las consecuencias de este fenómeno no sólo se restringen al sector ambiental, sino que también alcanzan las esferas económica, social y política, y sin duda, serán determinantes para el desarrollo económico y social de nuestro país y del mundo. En este sentido, es posible aseverar que los cambios en el clima han causado impactos en los ecosistemas, la sociedad y los sectores productivos. Sin embargo, dichos impactos se ven reflejados de diferentes maneras y a diferentes escalas en el espacio-tiempo (SEMARNAT, 2015).

En consecuencia, los eventos de ondas de calor al ser poco estudiados, pueden ser extremadamente mortales, principalmente para los grupos vulnerables. Es así como, conscientes de que el análisis del peligro es prioritario para la reducción de los riesgos asociados al cambio climático, el presente estudio consiste en la evaluación del peligro climático por ondas de calor en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Para lo cual se tomó como base la metodología para el análisis de temperaturas máximas (Sistema Nacional de Protección Civil., Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2017).

En este sentido, el presente estudio se compone de diez capítulos. En los tres primeros se abordan el marco teórico, el planteamiento del problema y la justificación, lo cual permite comprender algunos conceptos necesarios para abordar el tema, así como la importancia, razones y motivos que remarcan la relevancia del proyecto que se llevó a cabo. En el capítulo cuatro se presenta un panorama resumido del historial del tema de investigación, el cual servirá para comprender de mejor forma el tema abordado. Los objetivos plasmados en el

capítulo cinco determinan el alcance, profundidad y direccionalidad del proyecto, así como los resultados concretos que se esperan alcanzar durante el desarrollo de la investigación. Los siguientes dos capítulos correspondientes a la zona de estudio y metodología empleada, pretenden contextualizar al lector respecto a las características del escenario en estudio, así como presentar las técnicas, procedimientos y herramientas que intervinieron en la marcha de la investigación. En los capítulos ocho, nueve y diez se presentan los resultados obtenidos así como las discusiones y conclusiones respectivas. Finalmente se encuentra la lista de las referencias consultadas que fueron base esencial para el desarrollo del presente proyecto de investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. El sistema climático terrestre.

La atmósfera, los océanos, los cuerpos congelados, los continentes y las diversas formas de vida, componen al sistema climático terrestre. Cada uno de estos componentes permite a la superficie distribuir y reflejar nuevamente al espacio la energía solar absorbida, lo cual hace posible, a través del balance energético entre la energía recibida y la reflejada, definir las características del clima global; por lo que, dichas características climáticas pueden llegar a ser alteradas al momento de modificarse cualquiera de estos. Si bien, el clima global ha cambiado durante la historia geológica, algunos de estos cambios han ocurrido a escala global, mientras que otros han sido a escala hemisférica o regional (Staines, 2007), siendo varios los factores detonantes de índole natural (cambios en la radiación solar, efecto invernadero, aerosoles) y humana (incremento en la concentración de gases de efecto invernadero derivado de la quema de combustibles fósiles, práctica extensiva de ganadería y agricultura, cambios en el uso de suelo, deforestación, entre otras).

Debido a la complejidad que envuelve al sistema climático terrestre, para lograr comprender el funcionamiento de cada uno de los elementos que lo integran, es necesario caracterizar los climas pasados mediante el estudio de la variabilidad climática pasada. Para esto, en la actualidad, el uso de modelos climáticos ha permitido expandir el conocimiento en esta rama; sin embargo, estos han heredado parte de las ambigüedades y desconocimientos existentes. Por este motivo, aunque dichos modelos permiten simular las interacciones entre la atmósfera, los océanos y los continentes, sigue existiendo un amplio espectro de incertidumbre en los resultados obtenidos debido a la complejidad del sistema que aún engloba a los ciclos biológicos, circulación oceánica, emisiones volcánicas y variaciones en la energía solar, resultando así, necesario el uso de modelos relativamente simples que permitan evaluar más claramente y a profundidad el rol de cada elemento involucrado y la magnitud del cambio climático asociado a un elemento en particular (*Ibíd.*).

2.2. Tiempo atmosférico y Clima.

En sentido estricto, se suele definir al clima como el estado medio del tiempo o, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes durante períodos que pueden ser de meses a miles o millones de años, aunque, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2009) el período normal es de 30 años. Cabe mencionar que casi siempre que se habla del concepto clima, se hace alusión a variables de la superficie (por ejemplo: temperatura, precipitación o viento), aunque, en un sentido más amplio, el clima es una descripción (incluso estadística) del estado del sistema climático (IPCC¹, 2001).

Por otro lado, el Diccionario de Términos Geográficos de Monkhouse (1978) define al tiempo atmosférico o meteorológico, como el conjunto de todos los fenómenos atmosféricos que ocurren en la atmósfera en un lugar o área de la superficie terrestre en un momento o lapso de tiempo determinados. La medición de los valores de dichos fenómenos atmosféricos se lleva a cabo en las estaciones meteorológicas, las cuales miden distintos parámetros como son la temperatura atmosférica, la presión, humedad relativa, viento, precipitación, entre otros.

Es decir, mientras la palabra “tiempo” refleja la actividad de los fenómenos meteorológicos durante un período de uno o varios días, el promedio del tiempo para un período más largo (treinta años o más) se conoce como “clima”.

¹ Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés.

2.3. Cambio climático.

Durante los últimos años, la demanda de los elementos naturales se ha vuelto incontrolable, y las consecuencias ya pueden observarse a escala global, regional y local. Esto debido a una población mundial que crece aceleradamente al igual que sus necesidades, y con patrones de consumo cada vez más demandantes (Magaña, 2004).

Los cambios en el clima han causado impactos en los ecosistemas, la sociedad y los sectores productivos. Sin embargo, dichos impactos se ven reflejados de diferente manera y a diferentes escalas espacio-temporales. Es decir, mientras que en algunas regiones se sufre por sequía, en otras el exceso de la precipitación se hace presente. De igual manera, el aumento de la temperatura ha provocado el deshielo de glaciares y de los suelos congelados (lo que ocasiona la liberación del gas metano), generando una reacción en cadena en la que las especies que no logran adaptarse rápidamente a estas nuevas condiciones se excluyen o, en el peor de los casos, se extinguen. En cuanto al sector salud, se han registrado enfermedades por eventos de calor extremo. Así mismo se ha observado la disminución en los rendimientos de los cultivos, la destrucción de infraestructura humana ocasionada por fenómenos hidrometeorológicos extremos y aumentos en los precios de los alimentos (SEMARNAT, 2015).

En consecuencia, el Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) define al cambio climático como... *“todo cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas”*. Cabe mencionar que el clima, en particular la temperatura del planeta, depende del balance entre la energía solar que este recibe y el calor que emite (radiación infrarroja). En este contexto, los GEI presentes naturalmente en la atmosfera dejan pasar la radiación solar hacia la superficie terrestre, pero absorben la radiación infrarroja que esta emite; produciendo con ello un efecto neto de calentamiento de manera similar como ocurre en un invernadero. También es de considerarse que dicho aumento en la temperatura global se debe muy probablemente al incremento de las concentraciones de GEI de origen antropogénico en todas las regiones, excepto la Antártida.

De manera más precisa, algunos ejemplos de las consecuencias del cambio climático global son: incremento de la temperatura, cambios en la precipitación (tanto en su intensidad

como en su distribución espacio-temporal), intensidad en los fenómenos hidrometeorológicos extremos, deshielo de glaciares, incremento del nivel del mar, disminución en el rendimiento de los cultivos, pérdida de biodiversidad, así como efectos negativos en la salud humana (SEMARNAT, 2015), los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Efectos del cambio climático.

Elaborado a partir de información obtenida de SEMARNAT (2009).

Aspecto:	Efectos:	Impactos:
Físico-Ambiental.	a) Actúa a escala global.	❖ Afecta a todo el planeta (la atmósfera no tiene fronteras).
	b) Gran inercia.	❖ Resulta difícil modificar su estado de un momento a otro.
	c) Determina las condiciones de vida.	❖ Determina el comportamiento de los ecosistemas. ❖ Condiciona la seguridad hídrica, alimentaria y económica de las poblaciones.
	d) Dinámica de los ecosistemas.	❖ Cambios en los ciclos de reproducción y crecimiento de las plantas. ❖ Modificación en las interacciones entre organismos. ❖ Aumento en la vulnerabilidad de las plantas y animales ante plagas y enfermedades.
	e) Carácter retroalimentativo.	❖ Forza el efecto invernadero. ❖ Acentúa el calentamiento global.
	f) Da lugar a efectos directos e indirectos.	❖ Acentúa las alteraciones introducidas por otras causas o motores del cambio global ²

² Según el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (2006), el término “cambio global” hace referencia al conjunto de cambios ambientales resultantes de la actividad humana, con especial énfasis a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra.

Tabla 1. Continuación.

Físico-Ambiental	g) Aumento de la temperatura promedio del planeta.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aumento en la temperatura de la atmósfera y los océanos. ❖ Derretimiento de casquetes y suelos congelados. ❖ Aumento del nivel del mar. ❖ Variación en la salinidad de los océanos, las pautas de los vientos y las condiciones climáticas extremas (como las olas de frío o de calor).
	h) Cambio en las temperaturas extremas.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Frecuencia en la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.
	i) Forzamiento radiativo total positivo.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ El aumento en la concentración de Dióxido de Carbono ha contribuido a que el forzamiento radiativo de lugar a la absorción de energía por el sistema climático.
Social.	j) Salud humana.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Modificación en la dinámica de las enfermedades infecciosas: Ya que muchas de las enfermedades mortíferas son más sensibles a las condiciones climáticas, de las que depende su incidencia y propagación. ❖ Influencia en la aparición de nuevas enfermedades o reaparición de algunas que ya se consideraban controladas.
	k) Repercusiones sanitarias.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aumento de pérdidas de vidas por olas de calor. ❖ Variaciones en la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores. ❖ Alteraciones en la distribución de los desastres por la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos.

Tabla 1. Continuación.

Social.	l) Vulnerabilidad de poblaciones.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Los efectos del cambio climático afectan de manera desproporcional a las poblaciones vulnerables, tales como: niños pequeños y mujeres que viven en países en desarrollo (UNICEF³, 2011), ancianos, personas con alguna enfermedad o discapacidad, así como aquellas en condiciones de pobreza y marginación. ❖ La vulnerabilidad también es mayor en zonas con enfermedades endémicas sensibles al clima, grave escasez de agua y escasa producción de alimentos, entre otras condiciones físicas, sociales y de exposición.
	m) Seguridad humana.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Escasez en la disponibilidad de alimentos y del recurso hídrico. ❖ Impactos en la vulnerabilidad de las poblaciones. ❖ Aumento de conflictos de carácter económico, cultural y social por la demanda de recursos.
Económico.	n) Economía local y global.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Alza en los precios de alimentos por deficiencia de producción en los sistemas agrícolas tradicionales.
	ñ) Implementación de medidas de adaptación.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ El que no permee una cultura de la prevención, resultará en la inversión de grandes capitales (tanto humanos, económicos, físicos y ambientales), para hacer frente a los impactos que el cambio climático pueda tener en las sociedades y sus modelos de desarrollo.

Cabe mencionar que, a pesar de que existe evidencia científica que señala la realidad del cambio climático y la contribución de las actividades humanas al mismo, establecer al factor antropogénico como el mayor agente perturbador y catalizador del cambio climático moderno, es y será una de las mayores controversias político-económicas a nivel global; puesto que, lo anterior tendrá consecuencias especialmente para los países desarrollados, responsables mayoritarios de la producción de GEI (Staines, 2007). Por lo que no es de extrañarse que los estudios en este rubro sean en su mayoría desmeritados y poco atendidos.

³ El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.

2.4. Ondas de calor.

Los eventos extremos asociados al cambio climático han tenido un importante incremento durante los últimos 20 años en el territorio mexicano (Zúñiga, 2007). Dentro de estos eventos podemos encontrar a las ondas de calor.

Como se sabe, la atmósfera terrestre es dinámica y a veces, las corrientes (representadas por los científicos con el término “olas”) de aire frío o caliente, invaden regiones fuera de su latitud habitual, alterando su temperatura. En este sentido, cuando una onda cálida invade una región, puede suscitarse una ola u onda de calor (OC), siempre y cuando, las condiciones de aire estable, cálido y seco predominen durante varios días en la zona. Lo anterior debido a la existencia de un sistema anticiclónico en la troposfera media-alta caracterizado por ser un periodo inusualmente caliente, seco o húmedo, que se inicia y termina de forma abrupta durante al menos dos días, con impactos en la salud de los seres humanos y los ecosistemas (Organización Mundial de la Salud [OMS] y Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2015).

Las OC son eventos poco estudiados, ya que rara vez causan daños físicos que llamen la atención en comparación con otros eventos extremos como las inundaciones, huracanes o tornados. Sin embargo, los impactos de las OC se presentan en todos los sectores productivos de las actividades humanas (ganadería, agricultura, recursos forestales, salud) e incluso en el sector de servicios (agua potable, suministro de energía eléctrica, transporte, etc.) (Herrera, 2012).

De acuerdo con Herrera (2012), si se graficase el número de días que se ha sobrepasado cierta temperatura (generalmente entre 30°C y 35°C) por año, se lograría observar una tendencia a la alza, lo que permitiría suponer que al aumentar la temperatura global por efecto del cambio climático el número o la duración de OC también ascenderá. Sin embargo, menciona dos complicaciones en la suposición anterior; la primera indica que un umbral absoluto no puede usarse de forma homogénea en todas las regiones, ya que este no considera la variabilidad climática ni la adaptabilidad de los seres vivos en dichas regiones, por lo tanto, los valores absolutos solo deberían usarse para describir condiciones estructurales o de servicio (por ejemplo: pérdidas por evaporación en cuerpos de agua, pérdidas de energía en la conducción eléctrica, deterioro en el pavimento asfáltico,

etc.); mientras que la segunda es que este no toma en cuenta la temperatura mínima. Por lo que plantea que si se determinase un valor de la temperatura propia de una zona (umbral relativo) y se tomase en cuenta tanto la temperatura máxima como la mínima, esa tendencia a aumentar ya no se mostraría tan clara, por lo que es necesario replantear la relación Cambio Climático y Ondas de Calor.

Respecto a lo ya mencionado, se define a la OC como aquel fenómeno meteorológico extremo en donde se presenta una anomalía de altas temperaturas, tanto en las temperaturas máximas como en las mínimas, la cual puede ser determinada mediante el uso de umbrales (*ibídem*).

Para lo anterior, Robinson (2001 citado por Herrera, 2012) estableció los dos tipos de umbrales: el absoluto y el relativo. El primero, determina que las OC tienen efectos fisiológicos en los seres vivos, los cuales están relacionados directamente con la salud, ya que estas temperaturas pueden provocar cambios orgánicos y pueden generar desde malestares hasta la muerte; ejemplos de estos casos son la insolación, agotamiento por calor, quemaduras leves, etc. Por otro lado, en el umbral relativo, los efectos son psicológicos, los cuales no están relacionados con la salud, sino con el comportamiento de los individuos, entre estos efectos está la irritabilidad, agresión, falta de atención, etc.

Con base a lo anterior, Herrera (2012) establece que una OC ocurre cuando:

- a) Las temperaturas máximas y mínimas sobrepasan el percentil 90 en al menos dos días consecutivos. Se pueden unir dos eventos si el lapso entre ellos no supera las 24 horas (un día) y la temperatura máxima y mínima superan el valor de la mediana de la serie correspondiente.
- b) Se presentan cuando los valores diarios de temperatura sobrepasan el percentil 90, tanto en la serie de temperaturas máximas, como en la de temperaturas mínimas. Se debe de sobrepasar en al menos dos días consecutivos.

2.5. Riesgo, peligro y vulnerabilidad.

El concepto de riesgo ha estado presente desde siempre en las sociedades humanas, y es que el proceso de desarrollo mismo del ser humano lo ha llevado a conceptualizar de manera

apropiada los elementos vinculados a su hábitat, ambiente y las posibilidades de interacción entre ellos. Fue hasta 1979 que la Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en caso de Desastres (UNDRO por sus siglas en inglés), en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencias y la Cultura (UNESCO por sus siglas en inglés), promovieron una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones para los elementos asociados al riesgo, como son la vulnerabilidad y la amenaza (cita). El informe de dicha reunión incluyó las definiciones siguientes:

- *Peligro*: Probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.
- *Vulnerabilidad*: Grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso. Se expresa en una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).
- *Riesgo específico*: Grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.
- *Elementos en riesgo*: Son la población, edificios, obras civiles, actividades económicas, servicios públicos, utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada (también han de considerarse los ecosistemas).

Por su parte, el término amenaza es considerado un factor asociado a un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o antrópico que comprende una condición latente de peligrosidad potencial (Cardona, 1993). Para la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el IPCC, una amenaza puede ser cualquier fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (UNISDR, 2009); mientras que el peligro corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio determinado (Guevara et al., 2006).

En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse dos medidas, una de magnitud y otra de intensidad, siendo la magnitud una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera; al contrario de la intensidad, la cual es una medida de

la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado. Por ello un fenómeno tiene una sola magnitud, pero tantas intensidades como son los sitios en que interese determinar sus efectos (*ibídem*).

Cabe mencionar que, para el presente trabajo, similar a Herrera (2012), el término amenaza corresponde a una condición del tiempo o clima que una vez manifestada en peligro puede resultar, según su grado de severidad (resultado de la interacción de los parámetros que la definen, como son: intensidad, frecuencia, duración y recurrencia) en efectos negativos en un sistema expuesto y vulnerable. Lo anterior se estima mediante información meteorológica o climática histórica, y se representa por la probabilidad de que ocurra un fenómeno meteorológico particular en un espacio y tiempo determinado.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio del cambio climático se ha vuelto un área de investigación muy importante en la actualidad, puesto que, el no tomar las medidas de adaptación y mitigación adecuadas ante este fenómeno, podría resultar en impactos severos para la sociedad alrededor del mundo.

Estos impactos podrían tener diversos efectos en muchos sectores, como son: el ambiental, el agrícola y el costero, así como en cualquier aspecto de la sociedad, ya que de manera indirecta se generan afectaciones a la salud humana, a los asentamientos humanos, a los empleos, a la disponibilidad de alimentos, al sector transporte, energía, suministro de agua, entre otros (IPCC, 2000).

En el contexto nacional y de acuerdo con Magaña y Neri (2012), las tendencias recientes del clima indican un patrón de ascenso de temperaturas en la mayor parte del territorio mexicano; similar al encontrado en algunos escenarios regionales de cambio climático. Mientras que, en el contexto estatal, según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2015), para el estado de Chiapas se ha documentado un patrón de incremento en la intensidad y frecuencia de los eventos hidrometeorológicos extremos como son los huracanes, lluvias intensas, sequías y ondas de calor.

Respecto a lo anterior, la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN, 2011) indica que los escenarios para ondas de calor (temperaturas extremas) muestran que, hacia finales de siglo, los valores extremos de temperaturas máximas se podrían incrementar hasta en 3.5°C en algunas regiones de Chiapas, tales como las zonas Centro y Altos, y la duración de estas se incrementarán hasta 2.5 días en las regiones Norte, Centro, Fronteriza y Frailesca.

Por lo que se refiere al área de la salud, dentro de las conclusiones acordadas en la reunión general de la Asociación Médica de los Estados Unidos (AMA por sus siglas en inglés), se denotó que las repercusiones del cambio climático sobre la salud pueden darse de manera directa mediante ondas de calor y otros eventos extremos del clima, y de forma indirecta en la disponibilidad de agua, producción agrícola y brotes o resurgimiento de algunas enfermedades infecciosas. En este sentido, deciden apoyar el informe del IPCC

(Lavell, A., et al., 2012) el cual advierte de serias consecuencias a la salud humana por la ocurrencia de olas de calor, sequías, inundaciones, desabastecimiento de agua segura, desplazamiento poblacional y diseminación de enfermedades infecciosas.

Algunas de las repercusiones sanitarias, resultado de este fenómeno, ya se pueden observar; ejemplo de ellas son el aumento del número de muertos por OC, variaciones de la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores como la malaria o el dengue; así como incremento de la malnutrición, entre otras (AMA, 2008, citado por OPS; COLEF; COCEF, 2009). En el año 2018, en México se alcanzaron temperaturas máximas de 45°C a 50°C, particularmente en Chihuahua, Guerrero, Coahuila y Oaxaca. Según el Informe Semanal de Vigilancia Epidemiológica de Temperaturas Extremas de la Secretaría de Salud de México, hasta la semana 34 de ese año, se presentaron 26 defunciones a nivel nacional respecto a 19 ocurridas en 2017, incrementándose las defunciones por ondas de calor en los grupos de edad de 25 a 44 y 45 a 64 años. En cuanto a la morbilidad por calor, se reportaron aproximadamente 251 casos de golpe de calor y 320 casos de agotamiento por calor (Herrera, 2012).

Cabe señalar que las consecuencias del fenómeno de OC no sólo se restringen al sector ambiental, sino que también alcanzan las esferas económica, social y política, y sin duda, serán determinantes para el desarrollo económico y social de nuestro país y del mundo. En este sentido, es posible aseverar que los cambios en el clima han causado impactos en los ecosistemas, la sociedad y los sectores productivos. Sin embargo, dichos impactos se ven reflejados de diferente manera y a diferente escala en el espacio-tiempo (SEMARNAT, 2015).

Dado lo anterior, y sumado al problema latente que implica la escasez de investigaciones que permitan conocer a profundidad las causas y efectos asociados a los eventos de temperaturas extremas, la asociación entre la mortalidad y la temperatura se vuelve cada vez más estrecha conforme los eventos de temperaturas cálidas extremas incrementan (Alberti et al., 1998) en frecuencia, duración e intensidad. En consecuencia, los eventos de ondas de calor al ser poco estudiados y, por ende, difíciles de monitorear, pueden ser extremadamente mortales principalmente para los grupos vulnerables como son las personas con afectaciones a la salud y de bajos recursos, personas de la tercera edad, los niños

pequeños, mujeres embarazadas y poblaciones aisladas (OMS, 2008), sumado a que el aumento de temperatura en un grado para el futuro cercano puede coadyuvar a la proliferación de vectores que afecten la salud humana (Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2012).

IV. JUSTIFICACIÓN

A raíz del cambio climático, el peligro meteorológico está aumentando y dado el incremento en la vulnerabilidad, la condición de riesgo alcanza niveles críticos con mayor frecuencia. Por lo que establecer cuánto es mucho o poco riesgo requiere cuantificar el nivel de peligro por ondas de calor en el municipio y la vulnerabilidad de la población ante dicho fenómeno (Magaña, 2013).

Cabe mencionar que cualquier alteración en la frecuencia, intensidad o magnitud de los eventos climáticos, pero sobretodo en los eventos extremos, generará un impacto severo en la naturaleza y la sociedad (Leiserowitz, 2012).

Lo anterior hace pertinente la elaboración de estudios de riesgo, así como el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana que incluya de forma prioritaria a los grupos con alta vulnerabilidad y que ayude a facilitar las intervenciones en salud pública a partir de problemas ambientales; no hacerlo es hacer de menos a las herramientas que se necesitan para prevenir desastres. Y aunque buena parte de la investigación científica en torno a las repercusiones en la salud se centra en los riesgos futuros, los estudios empíricos sobre el pasado reciente y el presente son importantes, puesto que, si bien, mediante datos históricos se ha evaluado la probabilidad de ocurrencia de fenómenos atmosféricos considerados como amenaza, son pocos los estudios enfocados al peligro por ondas de calor que aporten información oportuna y actualizada para la correcta toma de decisiones.

V. ANTECEDENTES

El estudio del fenómeno de la OC no es reciente, pero existe poca información en la literatura, dentro de la cual se toma como un fenómeno secundario derivado de otro que ha llamado más la atención, tanto de la comunidad científica como en el público en general, el Cambio Climático.

Cabe mencionar que la mayoría de estudios enfocados a temperaturas extremas giran en torno a ciudades específicas, principalmente para algunas regiones europeas. En este sentido, Klein-Tank et al. (2002) demostró incrementos significativos en la temperatura media Europea a lo largo del periodo 1946-1999 y por otro lado, Goodess et al. (2005), realizaron un modelo estadístico, a pequeña escala, para la reconstrucción de eventos extremos para así proporcionar panoramas futuros confiables torno a dichos fenómenos.

Kharin et al. (2007) muestra que para los últimos veinte años los eventos extremos de bajas temperaturas se calientan más rápidamente que los de calor extremo (30%-40% promedios globales). Además, se ha observado, mediante el análisis de escenarios futuros de temperaturas máximas, que Europa Central podría experimentar el mismo número de días cálidos para el año 2100 como se observa actualmente en Europa Meridional, siendo las regiones más afectadas la Península Ibérica, el litoral adriático, Europa central y Grecia Meridional (Beniston et al. (2007); Kjellström et al., 2007).

Otros estudios de temperaturas extremas están asociadas al impacto en la sociedad o ecosistemas, así, DeGaetano (1996) y DeGaetano y Allen (2002), analizaron las tendencias de temperaturas extremas para la parte oriental de Estados Unidos, mediante el análisis de la frecuencia de temperaturas que superaban ciertos umbrales absolutos, observando una tendencia negativa para los extremos de temperaturas mínimas y una tendencia positiva para las máximas.

Para el año 2018, Kogima y Ely analizaron la variabilidad de temperaturas máximas anuales en el estado de Paraná, Brasil, aplicando dos índices (I/D y P/V) para identificar la ocurrencia de periodos de calor extremo en la serie de tiempo de 1976 a 2015. Dentro de los resultados obtenidos observaron un aumento en las temperaturas mínimas, lo que resulta en

un invierno menos severo para el estado, y que los episodios de OC ocurren cada vez con más frecuencia a partir de la primer década del año 2000.

Así mismo, Simões dos Reis, et al. (2019) caracterizaron, a través del índice de duración de la onda de calor (HWDI) propuesto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los eventos de OC en la región subtropical de Brasil, demostrando un aumento en la frecuencia y persistencia de estos eventos desde la década de 1980, sobretodo en temporada invernal. Resultados que coinciden con los obtenidos por Geirinhas et al. (2018), quienes obtuvieron una tendencia positiva en la frecuencia y duración de los eventos de OC a partir del año 1980, particularmente para las ciudades de São Paulo, Manaus y Recife; identificándose los meses de otoño e invierno como los más críticos por presentar mayor número de eventos.

En cuanto al contexto nacional, uno de los trabajos más relevantes es el de Herrera (2012), en el que analiza las Olas de Calor en la República Mexicana a través de dos criterios, los cuales utilizan umbrales relativos que se determinan a través del uso de percentiles; además de proponer parámetros para su estudio, caracterización y análisis; Herrera obró en la elaboración de mapas que permiten ubicar espacialmente los impactos de dicha amenaza, así como la vulnerabilidad de cada estado para determinar los impactos en el sector agrícola y ganadero. Sus resultados muestran que los umbrales relativos son los más adecuados para determinar los efectos de las OC en los seres vivos, señalando que este fenómeno es una anomalía de las temperaturas mínimas ya que inician antes de lo esperado. Además, observa que las OC son eventos cíclicos pero aperiódicos y no guardan ninguna relación con la sequía. Por otro lado, identifica que dentro de los impactos de dichos eventos en la agricultura, las variables que más afectan el rendimiento son: el día de inicio, severidad, duración y temperatura de alivio; mientras que para el sector ganadero, la duración, el número de eventos y la temperatura de alivio.

Respecto a lo anterior, Robinson (2001, citado por Herrera, 2012) en su obra “On the definition of a heat wave”, propuso dos tipos de umbrales para el estudio de los efectos de las Olas de Calor: el absoluto y el relativo. El primer umbral, determina que este fenómeno tiene efectos fisiológicos en los seres vivos, mientras que en el segundo, los efectos son psicológicos. Por su parte, Herrera a diferencia de Robinson, observó tres efectos derivados

del fenómeno de OC, siendo estos: los físicos –considerándose aquellos que no involucran ninguna relación de adaptación, por ejemplo: la evaporación, pérdida de energía eléctrica, aumento en la ponchadura de las llantas, aumento en la presencia de incendios forestales, etc.-, los fisiológicos – relacionados directamente con la salud, ya que se ha observado que las altas temperaturas pueden provocar cambios orgánicos que pueden resultar desde en malestares hasta la muerte, ejemplo de ellos son: la insolación o golpe de calor, daño hepático, coma, ataques cardíacos, quemaduras, agotamiento, mareos y aumento de enfermedades transmitidas por vectores.- y los psicológicos -relacionados con el comportamiento de los individuos, entre estos: agresión, delirios, irritabilidad, falta de atención, desmotivación, entre otros.-.

Por su parte, Martínez y Bandala (2015) analizaron las tendencias de temperatura máxima y los correspondientes umbrales de los eventos de OC en la ciudad de Mexicali, México, donde, mediante el método no paramétrico de Spearman y el uso de umbrales relativos, para este caso el P90, sugerido por CENAPRED, se identificó un incremento en los valores extremos de temperatura, en las últimas décadas, así como en el número de días que duran los eventos de OC, identificándose julio y agosto como los meses más susceptibles a la ocurrencia de dicho fenómeno.

También, el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED, 2017), colaboró en la generación de información relacionada a temperaturas máximas (ondas de calor), así como en la realización de la metodología para elaborar mapas de riesgo correspondientes. Lo anterior a partir de una adaptación de la metodología de Herrera (2012), y la actualización de los mapas de peligro municipales y de riesgo por ondas de calor.

En cuanto a instrumentos y herramientas de política pública podemos encontrar al Atlas Climático generado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (CNA/SMN-UNAM, 2011), el Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas [PACCCH] (SEMAHN, 2011) y el Programa Municipal ante el Cambio Climático de Tuxtla Gutiérrez [PROMACC] (Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez y CECROPIA, 2012), los cuales son considerados instrumentos de política pública que establecen las bases científicas e informan la toma de decisiones en Chiapas y su capital, para la gestión del riesgo ante el cambio climático y mitigar las emisiones de GEI en la entidad.

Existen otros estudios enfocados a distintos impactos climáticos en el país para ciertas regiones; sin embargo, además de que no se abarca a profundidad el estudio del fenómeno de OC, la mayoría se enfrenta con el problema de la falta de información o de lo mala que es la calidad de esta.

En el contexto local, históricamente, la población e infraestructura de Tuxtla Gutiérrez se ha visto afectada por inundaciones debido al desborde del Río Sabinal, el cual cruza la ciudad en una longitud de 6.5 kilómetros dentro de la zona urbana (Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2012). Por su parte, el Atlas Climático generado por el Centro de Ciencias de la UNAM (Monterroso, Fernández et al., 2013), cataloga al municipio dentro de una vulnerabilidad de tipo “media” respecto a los efectos del cambio climático y su capacidad adaptativa; también la clasifica con baja sensibilidad climática y alta exposición a estos efectos. Así mismo, el Atlas Municipal de riesgos de Tuxtla Gutiérrez identifica que el 75% del área urbana del municipio cuenta con una condición de vulnerabilidad “baja-media” ante desastres, mientras que el 25% del área urbana restante se identifica como alta o muy alta (Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2012). Dichos índices fueron construidos utilizando indicadores del orden económico, social y ambiental, donde se utilizaron parámetros tales como el total de inundaciones, heladas, lluvias intensas y desplazamientos reportados en el periodo 1980-2005, además de otras, como el porcentaje de población indígena o con jefatura femenina.

Respecto a lo anterior, El Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez en colaboración con CECROPIA (2012) señalan que dichos índices no aportan información sobre el nivel de sensibilidad del municipio ante los posibles efectos del cambio climático; sin embargo, apunta que el nivel de exposición a eventos hidrometeorológicos extremos y la cantidad de personas que se encuentran expuestas a dichos eventos, hacen del municipio de Tuxtla Gutiérrez prioritario en la implementación de acciones de adaptación a los efectos del cambio climático.

VI. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general:

Evaluar la condición de peligro climático por la ocurrencia de ondas de calor en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

6.2. Objetivos específicos:

- 1) Realizar el análisis de datos climatológicos para la determinación de los eventos de ondas de calor ocurridos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en el periodo de 1961 a 2019, mediante el uso de umbrales relativos (P95).
- 2) Identificar los patrones de comportamiento de los eventos de ondas de calor en función de su intensidad, duración, frecuencia y severidad, de acuerdo a la metodología oficial para el análisis de OC empleada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2017).
- 3) Realizar recomendaciones que permitan mitigar el riesgo ante eventos de ondas de calor.

VII. ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Tuxtla Gutiérrez, ubicado en el centro oeste del estado de Chiapas con las coordenadas: 16° 45' 11'' de latitud norte y 93° 06' 56'' de longitud oeste, siendo la capital y ciudad principal del mismo (Ver Figura 1), se encuentra ubicado a una altitud de 522 metros sobre el nivel del mar (msnm) y cuenta con una superficie territorial de 334.61 km², ocupando el 0.45% del territorio estatal (CEIEG, 2012). Así mismo, colinda al norte con los municipios de Usumacinta y San Fernando, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocoautla de Espinosa y Berriozábal.

En términos de población, para el año 2010 contaba con un total de 604,147 habitantes (INEGI, 2020), y según datos del CEIEG (2012) se trata de un municipio urbano, debido a que el 99.37% de los habitantes vive en zona urbana. Para el mismo año, habitaba en el municipio una población mayoritariamente joven, siendo el 56.4% menor de 30 años de edad, mientras que las personas de más de 60 años representaban el 7.2% de la población y el 38.4% restante correspondía a la población adulta.

El municipio forma parte de las regiones fisiográficas Montañas del Norte, Depresión Central y Altos de Chiapas. Conformándose el 34.62% de la superficie municipal por llanuras aluviales con lomeríos; el 30.39% de sierras altas de laderas tendidas; el 25.05% de mesetas típicas; el 4.10% de valles de laderas tendidas con lomeríos y el 2.06% de su superficie de sierras altas escarpadas complejas (Cañón del Sumidero). Así mismo, Tuxtla Gutiérrez se encuentra dentro de una de las regiones hidrológicas más grandes del país, la de Grijalva-Usumacinta, incluyéndose en la subcuenca del Río Sabinal (CEIEG, 2012); la cual, por su clima y por sus características geográficas, económicas, sociales y demográficas, enfrenta problemas para satisfacer sus necesidades hídricas y desarrollar sus potencialidades. También enfrenta precipitaciones pluviales altas y por ende altos grados de escurrimiento confrontando graves problemas de inundación y contingencias sociales (PMD, 2013).

El clima predominante en Tuxtla Gutiérrez, abarcando el 99.02% del territorio municipal, es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad [AwO(w)]; el resto del territorio (0.08%) presenta un clima de tipo semicálido y subhúmedo [A(C)w0(w)] con lluvias en verano, de mediana humedad (CEIEG, 2012).

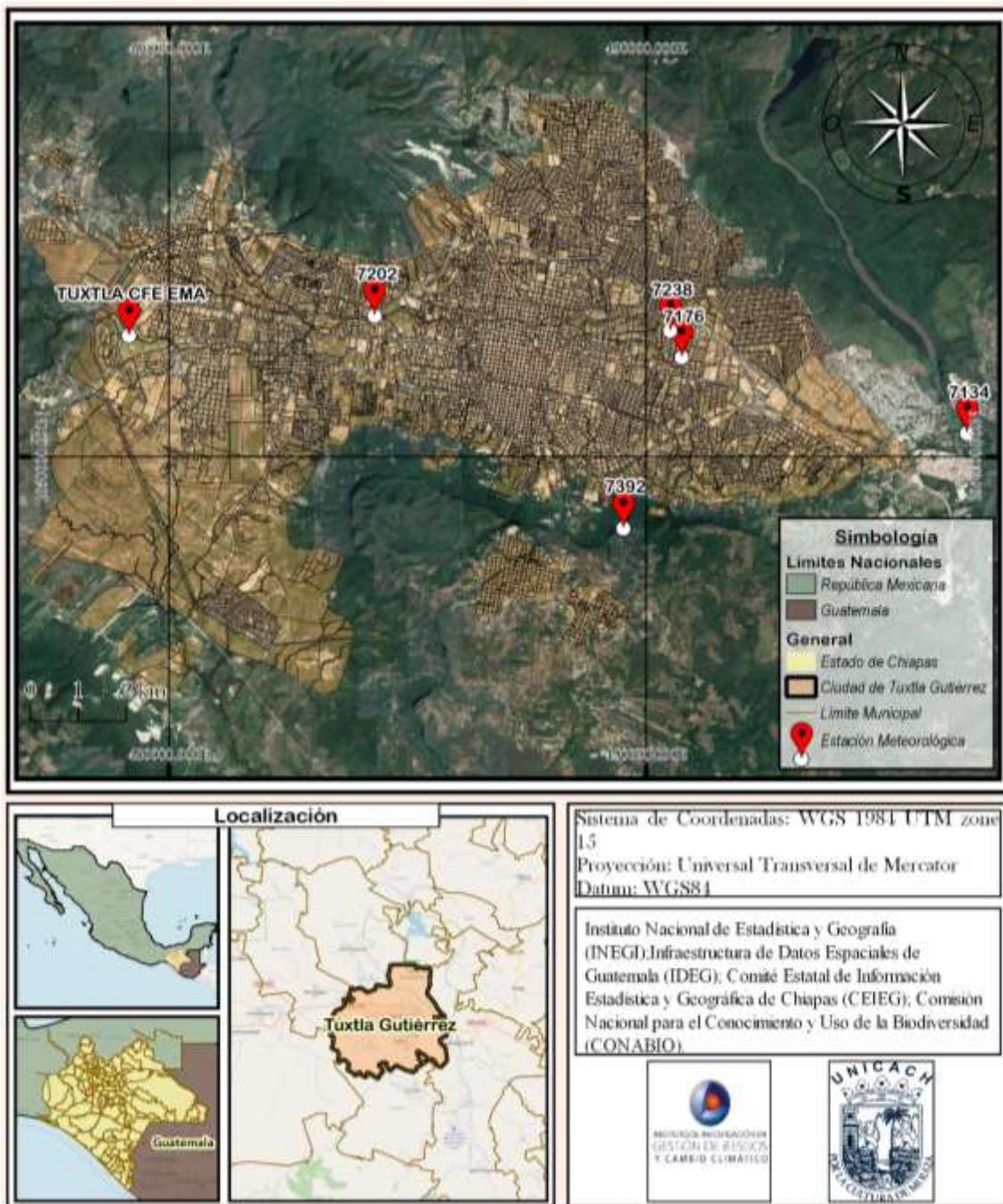


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

En cuanto a los registros históricos de temperatura, se ha observado que durante los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de los 15°C a los 22.5°C, mientras que la máxima promedio oscila entre 27°C y 34.5°C. En el periodo de noviembre-abril, la temperatura mínima promedio va de 12°C a 18°C, y la máxima promedio fluctúa

entre 24°C y 33°C (PMD, 2013). Así mismo, la temporada cálida dura desde mediados de febrero hasta septiembre, siendo la temporada más calurosa del año el periodo que abarca la primera semana de abril hasta la segunda semana de mayo, donde pueden registrarse temperaturas alrededor de los 40 °C. Mientras que la temporada fresca dura desde mediados de noviembre hasta inicios de febrero. El período más frío del año es el mes de diciembre, donde la temperatura puede llegar a descender hasta los 8°C. La temperatura media anual es de 25 °C (*ibidem*). Cabe mencionar que la urbanización dentro del municipio ha traído consigo un aumento de la temperatura (especialmente en el valle de Tuxtla) como consecuencia del aumento en las áreas de concreto, la emisión de gases de los vehículos automotores y la disminución de las áreas verdes urbanas (Zavaleta-Palacios et al., 2020).

En términos generales, para Tuxtla Gutiérrez las evidencias de cambio climático (CONAGUA, 2012, citado por Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez y CECROPIA, 2012) indican que de 1980 a 2010, se ha registrado un aumento de 1°C en las temperaturas mínimas promedio y 0.5°C en las temperaturas medias, mientras que el promedio de las temperaturas altas no refleja un incremento considerable. Los escenarios de cambio climático expuestos en el PROMACC (Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez y CECROPIA, 2012), muestran que durante el presente siglo es altamente probable registrar aumentos de hasta 2.5°C en promedio, mientras que para la precipitación indican una probabilidad de la reducción promedio de lluvias con mayor incidencia de eventos extremos. Dado que el municipio no cuenta con las capacidades requeridas en cuanto a reducción de la vulnerabilidad es altamente probable que estas condiciones impacten a la salud, la economía, el ambiente, la seguridad y la infraestructura del municipio, por lo que su adaptación está en riesgo.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

Para fines científicos, se seleccionó como área de estudio al municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, tomándose de base la metodología oficial para la elaboración de Atlas de Riesgo en el País, empleada en el 2017 por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) para el análisis de ondas de calor, adaptada de Herrera (2012). En este sentido, se implementaron siete etapas de dicho procedimiento, las cuales son descritas a continuación.

8.1. Selección de la estación climatológica y recopilación de registros históricos de temperatura máxima y temperatura mínima.

Se identifica, del municipio de Tuxtla Gutiérrez, la estación climatológica que permita la obtención de temperaturas máximas (Tmax) y temperaturas mínimas (Tmin) diarias, con un número conveniente de más de 30 años y que provenga, preferentemente, de fuentes no dudosas ni contenga periodos sin información; esta deberá estar localizada al interior de la zona sujeta a estudio o en su caso, la más cercana a ella. Para el presente proyecto se tomaron en cuenta las estaciones que presentaban los datos de los registros más antiguos hasta el año 2019.

Se identificaron, a partir de la base de datos de las estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019), cinco posibles estaciones climatológicas dentro de Tuxtla Gutiérrez⁴; siendo estas: a) El Sabinal (Clave: 07238); b) Tuxtla Gutiérrez - CFE (Clave: 07176); c) Tuxtla Gutiérrez - DGE (Clave: 07202); e) Tuxtla Gutiérrez – ZOOMAT (Clave: 07165); y d) Puente Colgante (Clave: 07134), las cuales cuentan con registros de temperatura de forma convencional (Ver Tabla 2). Sin embargo, muchos de los registros en dichas estaciones, contaban con ausencia de datos para periodos cortos y largos, o bien, errores de captura de información.

⁴ En la Figura 1. se indican la ubicación de las estaciones climatológicas utilizadas en el presente estudio. Fuente: CONAGUA (2019).

Tabla 2. Estaciones climatológicas identificadas en la zona de estudio.

Nombre de la estación	Clave	Periodo de registro
El Sabinal (Tuxtla Oriente)	07238	1988-2018
Tuxtla Gutiérrez - CFE (Las Palmas)	07176	1970-2012
Tuxtla Gutiérrez - DGE (Observatorio)	07202	1951-2019
Tuxtla Gutiérrez – ZOOMAT	07165	2002-2017
Puente Colgante (Chiapa de Corzo)	07134	1951-2018

Considerando la ubicación, el periodo de tiempo de registro y la cantidad de información disponible, se seleccionó a la estación DGE (07202) como la más viable para la obtención de resultados confiables.

8.2. Corroboración de los datos y estimación de valores faltantes.

Posteriormente, de la información extraída de la base de datos de normales climatológicas de CONAGUA (2019) para la estación DGE (Clave: 07202), se identificaron los registros donde no se tenían valores para una o ambas temperaturas, ya que el evento de ondas de calor implica la conjunción de ambas variables (Tmax y Tmin). La estimación estadística de los valores diarios faltantes de temperaturas máximas y mínimas correspondientes al periodo del año 1951 al año 2019 se realizó mediante la implementación del método de promedios o medias móviles (Grisollet et al., 1962).

El método de los promedios para la estimación de datos estocásticos, fundado en que “*la relación de los promedios debe ser igual a la relación de los valores parciales*” (ibídem), consiste en el cálculo de los valores medios con base a los datos históricos disponibles para periodos consecutivos, con el fin de utilizar este valor como pronóstico. Dicho método sostiene que existe un patrón básico de comportamiento en los valores de las variables a ser pronosticadas y que las observaciones históricas disponibles representan, tanto a dicho patrón, como a fluctuaciones aleatorias (Valencia et al., 2007).

De este modo, fue necesario seleccionar otra estación que sirviera de referencia dentro de la zona de estudio para la estimación de los datos faltantes, por lo que, debido a la cantidad de información disponible, sobre todo en los huecos que presentaba la estación DGE, se

seleccionaron las estaciones Puente Colgante (07134) y El Sabinal (07238) para la implementación del método antes mencionado.

La implementación del método de promedios móviles consistió en:

- I. ***Identificar la estación cercana que contenga los datos faltantes de la estación seleccionada para el estudio:*** Para este caso se seleccionaron dos estaciones, la estación Puente Colgante, Chiapa de Corzo (Clave: 07134) y la estación El Sabinal, Tuxtla Oriente (Clave: 07238); cabe mencionar que cada estación fue utilizada en periodos diferentes debido a la disponibilidad de información de cada una con respecto a los registros de la estación en estudio.
 - a. Se denomina a la estación índice o de referencia (07134 o 07238), como E1 y a la estación incompleta o en estudio, es decir la DGE, como E2.
 - b. Se elabora una tabla que contenga los datos de ambas estaciones (la estación en estudio y la estación índice) para la serie de tiempo en análisis.
 - c. Se eliminan los registros que no contengan los datos completos en ambas estaciones (E1 y E2).

- II. ***Realizar un análisis de consistencia con curva de doble masa (Urrutia et al., 2010).***
 - a. Se realiza el cálculo de los valores acumulados de ambas series.
 - b. Se realiza el cálculo de porcentajes respecto a los valores totales de ambas series.
 - c. Se inserta el gráfico de dispersión a partir de los porcentajes obtenidos para la corroboración de correlación lineal. En caso de que no exista correlación lineal no es factible aplicar este método. Para esto se visualiza en el gráfico la línea de tendencia y la ecuación de la curva. Si $R^2 > 0.8$, existe correlación.

- III. ***Calcular el promedio de los datos que son comunes en ambas estaciones donde $E1=X$ y $E2=Y$***
 - a. Se calcula la proporción Y_{media}/X_{media}
 - b. El resultado faltante de E2 será el valor obtenido de la multiplicación de Y_{media}/X_{media} por el valor disponible de la E1.

8.3. Selección del periodo de estudio.

Una vez completados los registros para ambas variables (Tmax y Tmin), se grafica la serie de tiempo 1951-2019 de manera que se pueda hacer una revisión visual del comportamiento de los datos a través de sus líneas de tendencia (Ver Gráfica 1). En caso de notarse alguna anomalía, se determina reducir el tiempo de estudio.

8.4. Cálculo de estadísticos e identificación de eventos de OC.

Una vez evaluada la estación seleccionada y definido el periodo de estudio de las series de tiempo de la temperatura máxima y mínima, se estima, para ambas temperaturas el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación, la asimetría, la curtosis y los percentiles 95 (P95) y 99 (P99).

La obtención del P95 permitió identificar los eventos de ondas de calor. De acuerdo al National Weather Service [NWS] (Robinson, 2001 citado por Herrera, 2012), el P95 funciona como variable estadística para determinar el umbral relativo. Cabe mencionar que, aunque este criterio reduce notablemente los días con olas de calor, ofrece una mejor agrupación y permite determinar comportamientos del fenómeno en diferentes estaciones.

Para la identificación de ondas de calor se marcan los días donde tanto la temperatura máxima y la temperatura mínima sean exactamente iguales o mayores a su P95 por dos o más días consecutivos. Sin embargo, también es de considerar lo siguiente:

- Una OC puede o no ocurrir todos los años o en años consecutivos. Es decir, la OC es un evento cíclico pero aperiódico.
- Pueden ocurrir una o varias OC en un mismo año.

8.5. Obtención de parámetros e índices individuales de las OC.

Una vez identificadas las OC, se obtienen sus parámetros e índices con el fin de caracterizarlas para su estudio y comparación; ya sea, para el mismo fenómeno, o para observar sus impactos en algunos sectores (ganadería, agricultura, salud, etc.).

Es importante señalar que, los parámetros obtenidos de una estación o municipio tienen la ventaja de describir mejor el evento de OC y establecer relaciones más confiables con algún sector en específico; sin embargo, mientras que los índices permiten establecer comparaciones entre distintas zonas geográficas e identificar relaciones más generales o extrapolables, sin importar que cuenten con información disponible o no, los parámetros no pueden ser usados para ninguna otra zona geográfica (Herrera, 2012).

Con base a lo anterior, Herrera (2012), propuso la obtención de los índices mediante una **modulación** de las temperaturas; la cual consiste en *dividir los elementos de una serie de tiempo entre su media*. Esto debido a que es muy común encontrar valores negativos en la obtención de índices, lo cual físicamente representa una anomalía de mayores valores en la temperatura mínima con respecto a la máxima.

Similar a Herrera (2012) y CENAPRED (2017), los parámetros e índices a determinar para cada evento de OC se describen a continuación:

a) Fecha de inicio (FI).

Es la fecha de inicio de la OC, que se da en forma continua, expresada en días julianos. Siendo para esto el 1 de enero el día 1 y el 31 de diciembre el día 365. En caso de ser año bisiesto el conteo se da del día 1 al 366.

b) Fecha de término (FT).

Es la fecha en la que termina la OC. Al igual que la FI, esta se da de manera continua y se expresa en días julianos iniciando el 1 de enero y terminando el 31 de diciembre del mismo año.

c) Duración (D).

Definida por el tiempo o número de días que dura la onda de calor.

d) Intensidad (I).

Es la suma de las temperaturas divididas entre la duración de la OC. Con esta definición se obtienen dos intensidades, las de la serie de temperatura máxima (Tmax) y la serie de la temperatura mínima (Tmin).

e) Índice de Intensidad (IEI).

Es la suma de la temperatura modulada, de la serie de Tmax y Tmin, respectivamente, entre la duración (D) de la onda de calor. En este sentido, se presentan dos índices, uno en la serie de temperatura máxima y otro para la serie de temperatura mínima.

f) Temperatura de alivio (TA).

Se define como la diferencia diaria entre la temperatura máxima y temperatura mínima. También conocida como oscilación térmica.

g) Índice de la temperatura de alivio (IETA).

Es la obtenida de la serie modulada de la diferencia diaria entre la temperatura máxima y mínima.

h) Temperatura Máxima (TM).

Es la temperatura máxima que se registra en la onda de calor. Al igual que la intensidad, se tiene una temperatura máxima *maximorum* en la serie de temperatura máxima (TMmax) y otra en la serie de temperatura mínima (TMmin).

i) Índice de la temperatura máxima (IETM).

Es la temperatura *maximorum* de la serie modulada de temperaturas máximas.

j) Severidad de la OC (S)

Se determina como el producto del promedio entre la intensidad máxima y mínima y la duración de la OC, entre la temperatura de alivio promedio (Ec.1).

$$S = D \frac{I_{max} + I_{min}}{2} \frac{1}{T_{Apron}} \quad \text{Ec. (1)}$$

k) Índice de Severidad de la OC (IS).

Se determina como el producto del promedio de la intensidad índice máxima y mínima y la duración de la OC, dividida entre el índice de la temperatura de alivio promedio (Ec.2).

$$S = D \frac{IEI_{max} + IEI_{min}}{2} \frac{1}{IET_{Aprom}} \text{ Ec. (2)}$$

Una vez definidos los parámetros y sus respectivos índices descritos previamente por evento de onda de calor, se identifica si durante la onda de calor se tienen días sin datos, así como si ocurrió al mismo tiempo algún evento de Niño, Niña o año Neutro. Esto último para establecer correlaciones con el fenómeno de la Oscilación del Sur-el Niño (ENSO), que permitan explicar el comportamiento del fenómeno de OC en la zona de estudio a lo largo del tiempo.

8.6. Obtención de parámetros e índices de la ocurrencia anual del evento.

Debido a que, como se mencionó anteriormente, la OC es un evento cíclico pero aperiódico, se procede a calcular los parámetros anuales, con sus respectivos índices. Una vez obtenido lo anterior, se grafica la serie de tiempo de las severidades totales para su posterior análisis.

Los parámetros e índices anuales a determinar se describen a continuación:

a) Número de eventos por año (NEA).

El número de veces que aparece una OC en un año.

b) Duración anual (DA).

Es la suma total de las duraciones (D) de las OC que aparecen en un año.

c) Duración promedio (DP).

Es el cociente entre la duración total anual (DA) y el número de eventos por año (NEA).

d) Duración máxima anual (DMA).

Es la máxima duración de la OC registrada en un año.

e) Intensidad promedio (IP).

Es el promedio de las intensidades de las OC que aparecen en un año. Se presentan dos, una en la serie de temperaturas máximas y la otra en la serie de temperaturas mínimas.

f) Índice de la Intensidad promedio (IEIP).

Es el promedio de los índices de las intensidades de las OC que aparecen en un año. Se presentan dos, una en la serie de temperaturas máximas y la otra en la serie de temperaturas mínimas.

g) Intensidad máxima (IM).

Es la intensidad máxima *maximorum* de las OC registradas en un año. Se presentan dos, una en la serie de temperaturas máximas y la otra en la serie de temperaturas mínimas.

h) Índice de la intensidad máxima (IEIM).

Es el índice máximo de las intensidades máximas de las ondas de calor registradas en un año.

i) Temperatura de alivio promedio (TAP).

Es el promedio de las temperaturas de alivio promedio de las ondas de calor registradas en un año.

j) Índice de temperatura de alivio promedio (IETAP).

Es el promedio de los índices de las temperaturas de alivio de las ondas de calor registradas en un año.

k) Temperatura de alivio mínima (TAM).

Es la temperatura de alivio mínima de las ondas de calor registradas en un año.

l) Índice de la temperatura de alivio mínima (IETAM).

Es el índice mínimo de temperatura mínima de alivio de las ondas de calor registradas en un año.

m) Severidad total (ST).

Es la suma de las severidades de las OC que se presentan en un año.

n) Índice severidad total (IST).

Es la suma de los índices de severidad de la OC que se presentan en un año.

o) Severidad promedio (SP).

Es la severidad total anual (ST) entre el número de eventos al año (NEA)

p) Índice de severidad promedio (ISP).

Es el índice de severidad total anual (IST) entre el número de eventos al año (NEA)

q) Severidad máxima (SM).

Es la severidad máxima *maximorum* de las ondas de calor registradas en un año.

r) Índice de severidad máxima (ISM).

Es el índice de severidad máxima *maximorum* de las ondas de calor registradas en un año.

s) Temperatura máxima promedio (TMP).

Es el promedio de las temperaturas máximas (TM) de las OC ocurridas en un año. Se obtienen dos, una en la serie de temperaturas máximas y otra en la serie de temperaturas mínimas.

t) Índice de temperatura máxima promedio (IETMP).

Es el promedio del índice **modulado** de temperaturas máximas (TM) de las ondas de calor que se presenta en el año.

u) Temperatura máxima registrada (TMR).

Es la temperatura máxima *maximorum* de las OC registradas en un año. Se obtienen dos, una en la serie de temperaturas máximas y otra en la serie de temperaturas mínimas.

v) Índice de temperatura máxima registrada (IETMR).

Es el índice estándar de la temperatura máxima registrada en el año. Es decir, el índice (IETM) *maximorum* de las OC ocurridas en un año.

w) Día de inicio de la temporada de la OC (DITOC).

Es el día en que aparece la primera OC en un año. Se expresa en días julianos.

x) Día de término de la temporada de la OC (DTTOC).

Es el último día de la última OC que aparece en un año. Se expresa en días julianos.

8.7. Identificación de patrones de comportamiento de las OC.

Para este punto, es necesario haber obtenido todos los parámetros e índices, tanto individuales como anuales, para graficar las severidades totales y observar el comportamiento, ya sea en intensidad, frecuencia o duración, de las OC a lo largo del tiempo; lo anterior para identificar efectos por cambio climático.

Así mismo, se analiza la posible relación entre el comportamiento de los eventos de OC con el fenómeno El Niño-ENSO, a través de la revisión gráfica de la serie de tiempo del índice Niño oceánico trimestral, y por ende la identificación de la presencia de anomalías en la temperatura superficial del mar (TSM) del pacífico ecuatorial, con información obtenida del portal web⁵ de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de E.U (NOAA).

⁵ Consultado en:
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

IX. RESULTADOS

9.1. Selección de la estación climatológica y recopilación de registros históricos de temperatura máxima y temperatura mínima.

Tal como se mencionó en la metodología, se revisaron cinco posibles estaciones para el procesamiento de la información. Debido a la ubicación, al periodo de tiempo de registro y a la cantidad de información disponible, se seleccionó a la estación DGE (07202) como la más viable para la obtención de resultados confiables. La ubicación de esta puede observarse en la Figura 2.

9.2. Corroboración de los datos y estimación de valores faltantes.

De los registros faltantes identificados en la serie de tiempo de la estación DGE (07202), en la Tabla 3 se muestran los meses con uno o más días sin registros, ya sea para la serie de Tmax, Tmin, o bien, para ambas series; de igual manera se muestra la estación que fue utilizada para realizar el relleno de dichos datos.

Tabla 3. Resumen de registros de valores faltantes.

Año	Mes	Estación índice
1981	Enero	7134 Puente Colgante (Chiapa de Corzo)
	Febrero	
1996	Enero	
	Febrero	
	Marzo	
	Julio	
2001	Mayo	
2006	Diciembre	
2009	Enero	
2010	Abril	
	Septiembre	
	Diciembre	
2011	Junio	
2012	Agosto	
	Septiembre	
	Diciembre	

Tabla 3. Continuación.

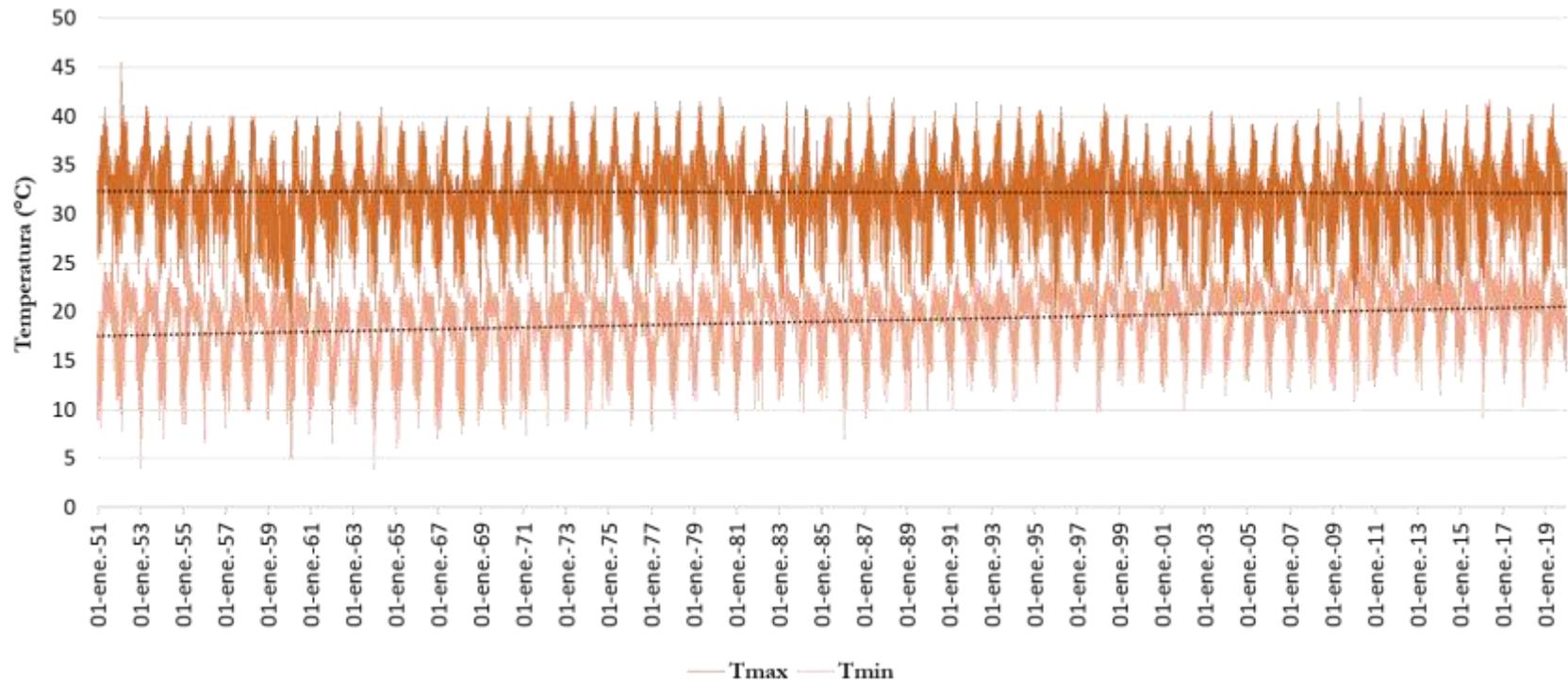
Año	Mes	Estación índice
2013	Abril	7134
2014	Enero	
	marzo	
2015	Junio	
2016	Abril	
2017	octubre	
2018	Mayo	7238 El Sabinal (Tuxtla Oriente)

A pesar de que Herrera (2012) comenta que los días con huecos de información no representan gran problema, se prefirió, con base a la metodología previamente descrita, hacer el relleno de los datos.

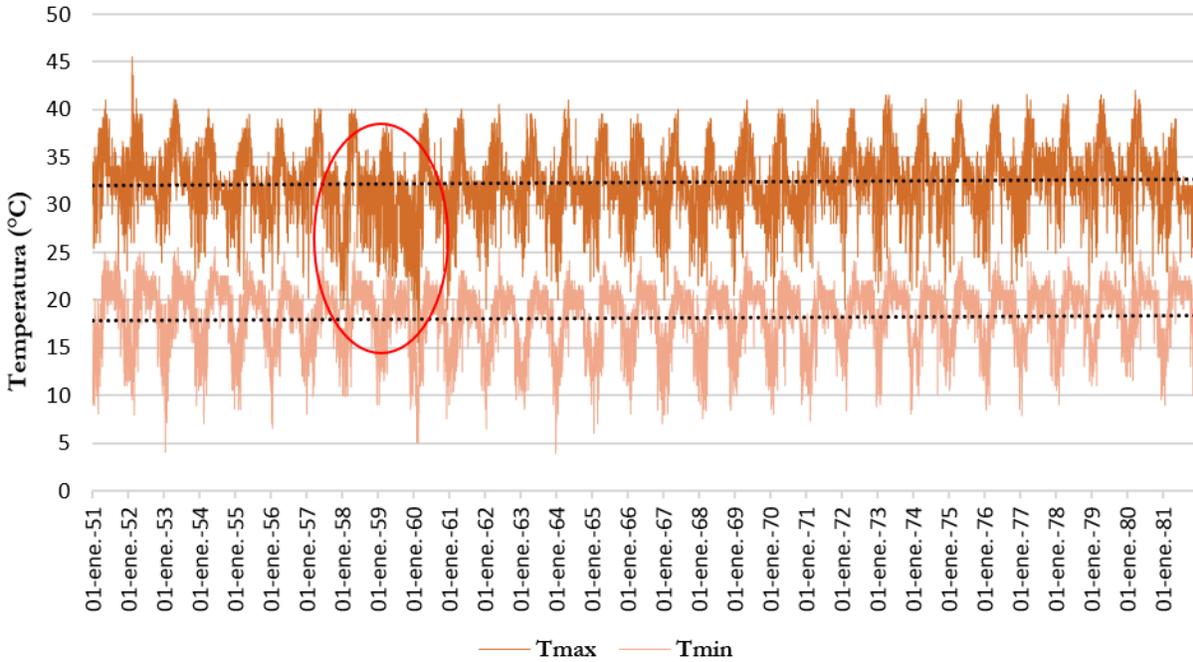
9.3. Selección del periodo de estudio.

Tal como se especifica en la metodología, se grafica la serie de tiempo 1951-2019 para Tmax y Tmin, de manera que se pueda hacer una revisión visual del comportamiento de los datos a través de sus líneas de tendencia (Gráfica 1). Sin embargo, para identificar la presencia de alguna anomalía se decidió dividir la serie de tiempo en dos partes; el primer periodo de 1951 – 1981 (Gráfica 2), mientras que el segundo de 1982 – 2019 (Gráfica 3).

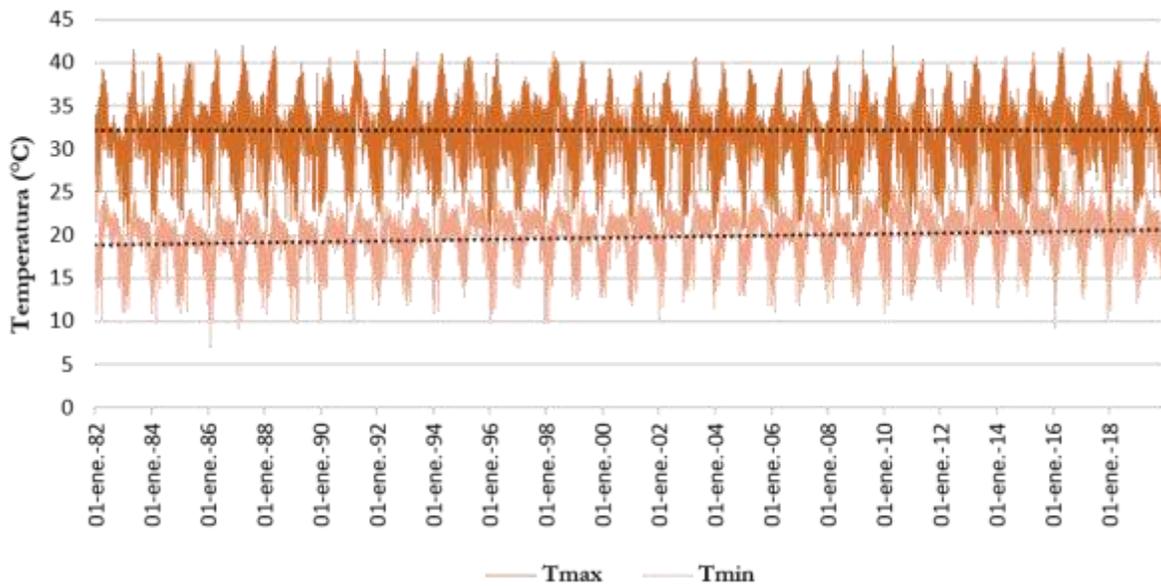
Derivado de este proceso, se logra identificar una anomalía en forma de escalón en la serie de Tmax en el primer periodo 1951 – 1981 de la estación Tuxtla Gutiérrez- DGE, específicamente entre los años de 1957 y 1960 (Gráfica 2). Por lo que, para el análisis de ondas de calor, finalmente se selecciona el lapso del año 1961 al año 2019. Periodo en el que, como puede observarse en la Gráfica 4, se advierte una tendencia negativa para las temperaturas máximas y una tendencia positiva para las temperaturas mínimas; es decir, las temperaturas máximas se enfrían y las mínimas se calientan .



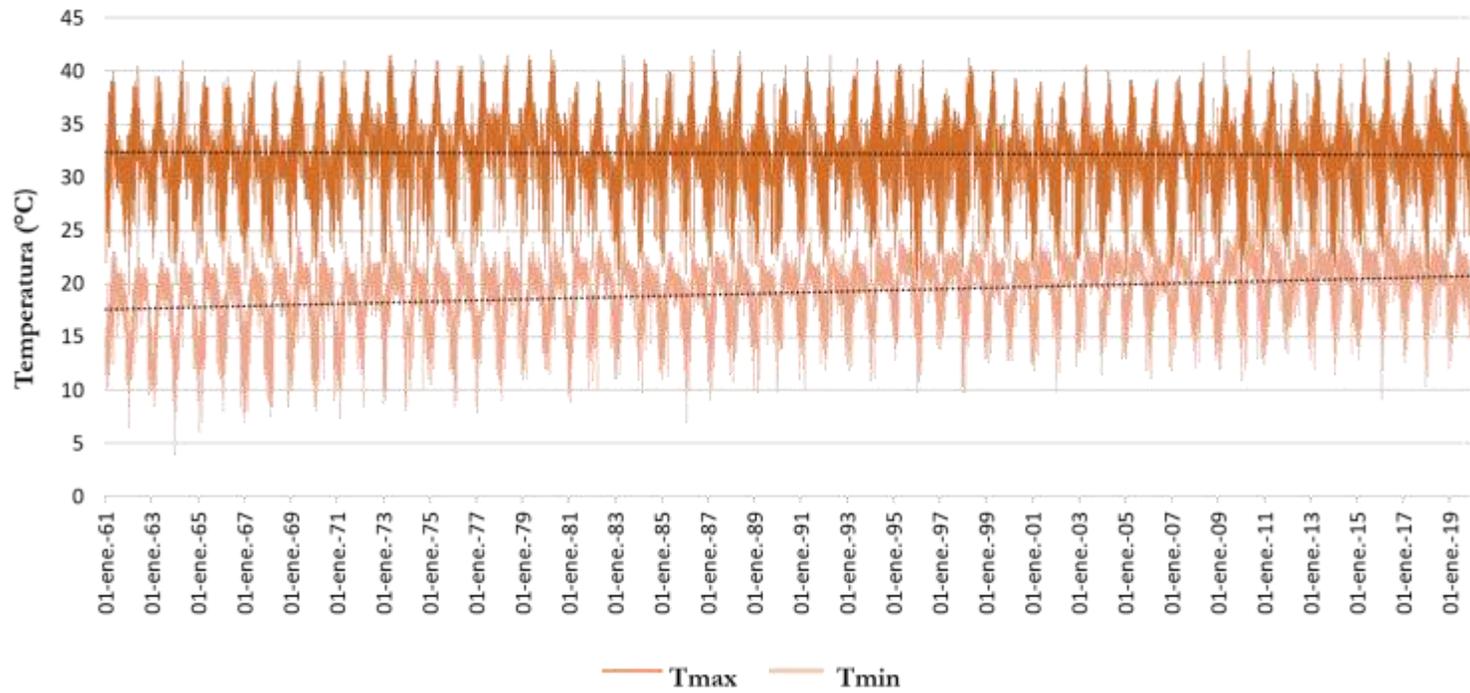
Gráfica 1. Registro de temperaturas máximas y mínimas en el período 1951-2019 en la estación Tuxtla Gutiérrez- DGE.



Gráfica 2. Serie de tiempo de temperaturas máximas y mínimas 1951-1981 (1er periodo), estación Tuxtla Gutiérrez- DGE. El círculo rojo muestra la presencia de una anomalía.



Gráfica 3. Serie de tiempo de temperaturas máximas y mínimas 1982-2019 (2do periodo), estación Tuxtla Gutiérrez- DGE.



Gráfica 4. Periodo de tiempo seleccionado (1961-2019), estación Tuxtla Gutiérrez- DGE.

9.4. Cálculo de estadísticos e identificación de eventos de OC.

El promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación, la asimetría, la curtosis y los P95 y P99 obtenidos para las temperaturas máximas y mínimas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Valores obtenidos de la serie de tiempo 1961-2019.

	Tmax	Tmin
Promedio	32.26	19.16
Desv. Est.	3.63	2.94
Coefi. Var	0.11	0.15
Asimetría	-0.25	-0.89
Curtosis	0.25	0.58
<u>Percentil 95</u>	38.50	22.90
Percentil 99	40	24

De los resultados anteriores se observa que el coeficiente de asimetría para ambas variables es de tipo negativa según la tabla de Fisher, es decir, se alarga a valores menores de la media. Por su parte, la curtosis es de tipo Leptocurtica o positiva, que según Fisher indica que la gran mayoría de los valores se concentran alrededor de la media (Pardo y Ruíz, 2002).

Aplicando el método propuesto por Herrera (2012) para la identificación de Ondas de Calor mediante el uso de umbrales relativos, en este caso P95 (Tabla 4), propuesto por la NWS, se obtiene en el municipio de Tuxtla Gutiérrez un total de 48 eventos de Olas de Calor entre los años 1961 a 2019 (Tabla 5). Se observa también que, en general, mayo es el mes que más veces presenta el evento de OC; esto último debido probablemente a que corresponde con la temporada de estiaje y a la época del año donde las temperaturas son más altas.

Tabla 5. Ondas de calor, TGZ (1961-2019).

	Percentil 95	38.5 °C	22.9 °C		
Año	FECHA	Tmax (°C)	Tmin (°C)	No. OC	OC/año
1962	23-may-62	39.5	23	1	1
	24-may-62	40.5	25.5		
1972	07-may-72	40	24	2	1
	08-may-72	39	23		
1973	01-may-73	41.5	23.5	3	1
	02-may-73	39.5	25		
1975	02-may-75	39.5	23	4	3
	03-may-75	38.5	23.5		
	08-may-75	39.5	23	5	
	09-may-75	39.5	23.5		
	10-may-75	41	24		
	11-may-75	40	23		
20-may-75	38.5	24.5	6		
21-may-75	38.5	24			
1976	23-abr-76	40	23	7	2
	24-abr-76	38.5	24		
	25-may-76	40.5	25	8	
	26-may-76	39.5	23		
	27-may-76	40	23.5		
1978	08-may-78	41	23	9	2
	09-may-78	40	23.5		
	10-may-78	39	23	10	
	15-may-78	40	23		
	16-may-78	39	23		

Tabla 5. Continuación.

1980	18-may-80	40	23	11	1
	19-may-80	40.5	25		
1983	19-may-83	40.3	23.2	12	1
	20-may-83	40.3	23.4		
1986	14-may-86	40.9	25.3	13	1
	15-may-86	39.3	24		
	16-may-86	39.2	23.5		
	17-may-86	39	23		
1994	13-abr-94	39.6	23.9	14	2
	14-abr-94	40.9	23.8		
	01-may-94	38.5	23.2	15	
	02-may-94	39	24		
1995	06-abr-95	38.7	23.2	16	1
	07-abr-95	38.7	23.1		
	08-abr-95	40.7	22.9		
1998	03-jun-98	39	23.7	17	2
	04-jun-98	39.5	23.2		
	13-jun-98	39.7	24	18	
	14-jun-98	39.1	23.6		
1999	28-abr-99	39.5	23	19	1
	29-abr-99	40.1	23		
	30-abr-99	40	23		
	01-may-99	39.6	25.2		
	02-may-99	39.6	23.3		
2001	18-may-01	38.5	23	20	1
	19-may-01	39	25		
2003	29-abr-03	40.6	23.1	21	1
	30-abr-03	38.8	24.1		
	01-may-03	39	23.7		
	02-may-03	40.6	23.1		
	03-may-03	39.7	24.2		
	04-may-03	39.1	25.2		
2005	29-abr-05	38.5	24.6	22	1
	30-abr-05	38.6	23.6		
2008	24-abr-08	39.3	24	23	3
	25-abr-08	39	24		

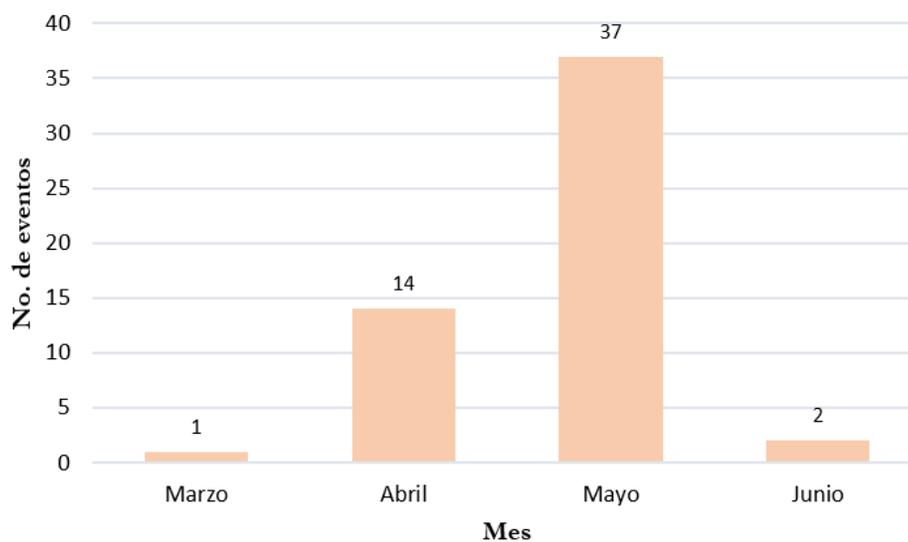
Tabla 5. Continuación.

2008	08-may-08	38.8	23.4	24	
	09-may-08	39.5	23.7		
	10-may-08	40.8	25.2		
	11-may-08	40	23.4		
	14-may-08	40.2	24	25	
2009	15-may-08	38.6	24	26	1
	27-may-09	38.5	23		
2010	28-may-09	38.7	23	27	1
	12-may-10	38.5	24.2		
2011	13-may-10	39.4	25	28	3
	01-may-11	39	24		
	02-may-11	38.8	24		
	29	10-may-11	39.9	23	
		11-may-11	39.5	24.7	
		12-may-11	39.2	23	
		13-may-11	39.4	23.2	
		30	20-may-11	39.4	
	21-may-11		40.4	23	
	22-may-11		39.5	24.6	
	23-may-11		38.5	23.5	
	24-may-11		38.8	24	
	25-may-11		39.4	23.3	
26-may-11	40		24.5		
27-may-11	38.8	24.5			
2012	07-may-12	39	24.8	31	1
	08-may-12	38.5	25.2		
2013	23-abr-13	38.7	22.9	32	4
	24-abr-13	38.8	23.2		
	08-may-13	39	23	33	
	09-may-13	38.5	23.8		
	17-may-13	39.2	24.7	34	
	18-may-13	38.8	24.6		
	19-may-13	38.6	25	35	
21-may-13	38.7	23.8			
22-may-13	38.7	23			
2014	27-abr-14	38.6	24.3	36	1
	28-abr-14	39.6	23		
	29-abr-14	40.7	23.3		

Tabla 5. Continuación.

2015	16-abr-15	38.7	24	37	3
	17-abr-15	39.4	25.1		
	18-abr-15	38.5	25.6		
	20-abr-15	38.7	23.1	38	
	21-abr-15	38.6	24		
	22-abr-15	39.5	24.5		
	23-abr-15	41.2	24.9		
	24-abr-15	41.2	26.2		
	25-abr-15	41.2	25.4		
	26-abr-15	41.1	24		
	09-may-15	38.7	23.8	39	
10-may-15	39	24.9			
11-may-15	39.6	24			
2016	29-mar-16	38.8	24.1	40	4
	30-mar-16	39.3	24		
	26-abr-16	40.2	25.2	41	
	27-abr-16	40.1	23		
	16-may-16	39.1	29.3	42	
	17-may-16	41.3	24.8		
	18-may-16	41.7	24.3		
	22-may-16	39.4	25.6		
	23-may-16	39.8	23.3		
	24-may-16	39.7	23.4		
25-may-16	39.4	23.7			
26-may-16	39.4	24.2			
2017	03-may-17	39.4	24.4	44	2
	04-may-17	39.6	23.6		
	18-may-17	39.4	24.2	45	
	19-may-17	38.5	25.6		
	20-may-17	39.8	25.3		
	21-may-17	38.8	25.5		
2019	01-may-19	39.3	24.0	46	3
	02-may-19	39.6	25.3		
	07-may-19	40.9	23.2	47	
	08-may-19	39.4	22.9		
	12-may-19	39.6	22.9	48	
	13-may-19	41.3	24.2		
14-may-19	39.2	24.8			

La duración más probable de las OC es de dos días. En la serie de tiempo de 59 años analizada se observan 27 años con la presencia de OC, observándose una probabilidad anual de ocurrencia del 45.7% para el fenómeno. Las duraciones de estos eventos suman un total de 136 días, considerando que Entre 1961 y 2019 hay 21,549 días, los eventos de Olas de Calor representan solo el 0.63% de estos, lo cual reafirma que se trata de un evento extremo (Herrera, 2012). También, se identifica a mayo como el mes en el que más concurren los eventos de OC dentro de la serie de tiempo analizada, seguido por el mes de abril, junio y marzo (Ver Gráfica 5).



Gráfica 5. Frecuencia de ocurrencia de OC por mes.

9.5. Obtención de parámetros e índices individuales de las OC.

En las Tablas 6 se muestran los parámetros e índices individuales de los eventos de OC, así como los eventos más severos identificados acorde a la metodología especificada en el apartado 2.5, los cuales permitirán el cálculo de las variables de interés a fines del presente estudio.

9.6. Obtención de parámetros e índices de la ocurrencia anual del evento.

En las Tablas 7 y 8, se muestran los parámetros e índices individuales de la ocurrencia anual de los eventos de OC acorde a la metodología especificada en el apartado 2.6 que permitirán el cálculo de las variables de interés.

Tabla 6. Parámetros e índices de la Onda de Calor.

Año	OC	FI	FT	D (días)	I (Tmax)	I (Tmin)	IEI (Tmax)	IEI (Tmin)	TAP	IETAP	TM (Tmax)	TM (Tmin)	IETM	S	IS
1962	1	143	144	2	40.00	24.25	1.24	1.27	15.75	1.20	40.50	25.50	1.26	4.08	2.08
1972*	2	128	129	2	39.50	23.50	1.22	1.23	16.00	1.22	40.00	24.00	1.24	3.94	2.01
1973	3	121	122	2	40.50	24.25	1.26	1.27	16.25	1.24	41.50	25.00	1.29	3.98	2.03
1975	4	122	123	2	39.00	23.25	1.21	1.21	15.75	1.20	39.50	23.50	1.22	3.95	2.02
	5	128	131	4	40.00	23.38	1.24	1.22	16.63	1.27	41.00	24.00	1.27	7.62	3.88
	6	140	141	2	38.50	24.25	1.19	1.27	14.25	1.09	38.50	24.50	1.19	4.40	2.26
1976*	7	114	115	2	39.25	23.50	1.22	1.23	15.75	1.20	40.00	24.00	1.24	3.98	2.03
	8	146	148	3	40.00	23.83	1.24	1.24	16.17	1.23	40.50	25.00	1.26	5.92	3.02
1978	9	128	130	3	40.00	23.17	1.24	1.21	16.83	1.28	41.00	23.50	1.27	5.63	2.86
	10	135	136	2	39.50	23.00	1.22	1.20	16.50	1.26	40.00	23.00	1.24	3.79	1.93
1980*	11	139	140	2	40.25	24.00	1.25	1.25	16.25	1.24	40.50	25.00	1.26	3.95	2.02
1983	12	139	140	2	40.30	23.30	1.25	1.22	17.00	1.30	40.30	23.40	1.25	3.74	1.90
1986	13	134	137	4	39.60	23.95	1.23	1.25	15.65	1.19	40.90	25.30	1.27	8.12	4.15
1994	14	103	104	2	40.25	23.85	1.25	1.24	16.40	1.25	40.90	23.90	1.27	3.91	1.99
	15	121	122	2	38.75	23.60	1.20	1.23	15.15	1.16	39.00	24.00	1.21	4.12	2.10
1995	16	96	98	3	39.37	23.07	1.22	1.20	16.30	1.24	40.70	23.20	1.26	5.75	2.92
1998	17	154	155	2	39.25	23.45	1.22	1.22	15.80	1.21	39.50	23.70	1.22	3.97	2.02
	18	164	165	2	39.40	23.80	1.22	1.24	15.60	1.19	39.70	24.00	1.23	4.05	2.07
1999	19	118	122	5	39.76	23.50	1.23	1.23	16.26	1.24	40.10	25.20	1.24	9.73	4.95
2001	20	138	139	2	38.75	24.00	1.20	1.25	14.75	1.13	39.00	25.00	1.21	4.25	2.18
2003	21	119	124	6	39.63	23.90	1.23	1.25	15.73	1.20	40.60	25.20	1.26	12.11	6.19
2005	22	119	120	2	38.55	24.10	1.19	1.26	14.45	1.10	38.60	24.60	1.20	4.34	2.22

*Año bisiesto.

Tabla 6. Continuación.

Año	OC	FI	FT	D (días)	I (Tmax)	I (Tmin)	IEI (Tmax)	IEI (Tmin)	TA	IETA	TM (Tmax)	TM (Tmin)	IETM	S	IS
2008*	23	115	116	2	39.15	24.00	1.21	1.25	15.15	1.16	39.30	24.00	1.22	4.17	2.13
	24	129	132	4	39.78	23.93	1.23	1.25	15.85	1.21	40.80	25.20	1.26	8.04	4.10
	25	135	136	2	39.40	24.00	1.22	1.25	15.40	1.18	40.20	24.00	1.25	4.12	2.11
2009	26	147	148	2	38.60	23.00	1.20	1.20	15.60	1.19	38.70	23.00	1.20	3.95	2.01
2010	27	132	133	2	38.95	24.60	1.21	1.28	14.35	1.10	39.40	25.00	1.22	4.43	2.28
2011	28	121	122	2	38.90	24.00	1.21	1.25	14.90	1.14	39.00	24.00	1.21	4.22	2.16
	29	130	133	4	39.50	23.48	1.22	1.23	16.03	1.22	39.90	24.70	1.24	7.86	4.01
	30	140	147	8	39.35	23.79	1.22	1.24	15.56	1.19	40.40	24.60	1.25	16.23	8.29
2012*	31	128	129	2	38.75	25.00	1.20	1.31	13.75	1.05	39.00	25.20	1.21	4.64	2.39
2013	32	113	114	2	38.75	23.05	1.20	1.20	15.70	1.20	38.80	23.20	1.20	3.94	2.01
	33	128	129	2	38.75	23.40	1.20	1.22	15.35	1.17	39.00	23.80	1.21	4.05	2.07
	34	137	139	3	38.87	24.77	1.20	1.29	14.10	1.08	39.20	25.00	1.22	6.77	3.48
	35	141	142	2	38.70	23.40	1.20	1.22	15.30	1.17	38.70	23.80	1.20	4.06	2.07
2014	36	117	119	3	39.63	23.53	1.23	1.23	16.10	1.23	40.70	24.30	1.26	5.89	3.00
2015	37	106	108	3	38.87	24.90	1.20	1.30	13.97	1.07	39.40	25.60	1.22	6.85	3.52
	38	110	116	7	40.21	24.59	1.25	1.28	15.63	1.19	41.20	26.20	1.28	14.51	7.42
	39	129	131	3	39.10	24.23	1.21	1.26	14.87	1.13	39.60	24.90	1.23	6.39	3.27
2016*	40	89	90	2	39.05	24.05	1.21	1.26	15.00	1.14	39.30	24.10	1.22	4.21	2.15
	41	117	118	2	40.15	24.10	1.24	1.26	16.05	1.22	40.20	25.20	1.25	4.00	2.04
	42	137	139	3	40.70	26.13	1.26	1.36	14.57	1.11	41.70	29.30	1.29	6.88	3.54
	43	143	147	5	39.54	24.04	1.23	1.25	15.50	1.18	39.80	25.60	1.23	10.25	5.24
2017	44	123	124	2	39.50	24.00	1.22	1.25	15.50	1.18	39.60	24.40	1.23	4.10	2.09
	45	138	141	4	39.13	25.15	1.21	1.31	13.98	1.07	39.80	25.60	1.23	9.20	4.74
2019	46	121	122	2	39.45	24.65	1.22	1.29	14.80	1.13	39.60	25.30	1.23	4.33	2.22
	47	127	128	2	40.15	23.05	1.24	1.20	17.10	1.30	40.90	23.20	1.27	3.70	1.88
	48	132	134	3	40.03	23.97	1.24	1.25	16.07	1.23	41.3	24.8	1.3	5.98	3.05

*Año bisiesto.

Tabla 7. Parámetros anuales.

Año	NEA	DA (días)	DP	DMA	IP (Tmax)	IP (Tmin)	IM (Tmax)	IM (Tmin)	TAP	TAM	ST	SP	SM
1962	1	2	2	2	40.00	24.25	40.00	24.25	15.75	15.75	4.08	4.08	4.08
1972	1	2	2	2	39.50	23.50	39.50	23.50	16.00	16.00	3.94	3.94	3.94
1973	1	2	2	2	40.50	24.25	40.50	24.25	16.25	16.25	3.98	3.98	3.98
1975	3	8	3	4	39.17	23.63	40.00	24.25	15.54	14.25	15.98	5.33	7.62
1976	2	5	3	3	39.63	23.67	40.00	23.83	15.96	15.75	9.91	4.95	5.92
1978	2	5	3	3	39.75	23.08	40.00	23.17	16.67	16.50	9.42	4.71	5.63
1980	1	2	2	2	40.25	24.00	40.25	24.00	16.25	16.25	3.95	3.95	3.95
1983	1	2	2	2	40.30	23.30	40.30	23.30	17.00	17.00	3.74	3.74	3.74
1986	1	4	4	4	39.60	23.95	39.60	23.95	15.65	15.65	8.12	8.12	8.12
1994	2	4	2	2	39.50	23.73	40.25	23.85	15.78	15.15	8.02	4.01	4.12
1995	1	3	3	3	39.37	23.07	39.37	23.07	16.30	16.30	5.75	5.75	5.75
1998	2	4	2	2	39.33	23.63	39.40	23.80	15.70	15.60	8.02	4.01	4.05
1999	1	5	5	5	39.76	23.50	39.76	23.50	16.26	16.26	9.73	9.73	9.73
2001	1	2	2	2	38.75	24.00	38.75	24.00	14.75	14.75	4.25	4.25	4.25
2003	1	6	6	6	39.63	23.90	39.63	23.90	15.73	15.73	12.11	12.11	12.11
2005	1	2	2	2	38.55	24.10	38.55	24.10	14.45	14.45	4.34	4.34	4.34
2008	3	8	3	4	39.44	23.98	39.78	24.00	15.47	15.15	16.32	5.44	8.04
2009	1	2	2	2	38.60	23.00	38.60	23.00	15.60	15.60	3.95	3.95	3.95
2010	1	2	2	2	38.95	24.60	38.95	24.60	14.35	14.35	4.43	4.43	4.43
2011	3	14	5	8	39.25	23.75	39.50	24.00	15.50	14.90	28.31	9.44	16.23
2012	1	2	2	2	38.75	25.00	38.75	25.00	13.75	13.75	4.64	4.64	4.64
2013	4	9	2	3	38.77	23.65	38.87	24.77	15.11	14.10	18.81	4.70	6.77
2014	1	3	3	3	39.63	23.53	39.63	23.53	16.10	16.10	5.89	5.89	5.89
2015	3	13	4	7	39.39	24.57	40.21	24.90	14.82	13.97	27.75	9.25	14.51
2016	4	12	3	5	39.86	24.58	40.70	26.13	15.28	14.57	25.35	6.34	10.25
2017	2	6	3	4	39.31	24.58	39.50	25.15	14.74	13.98	13.30	6.65	9.20
2019	3	7	2	3	39.88	23.89	40.15	24.65	15.99	14.80	14.00	4.67	5.98

Tabla 7. Continuación.

Año	TMP (Tmax)	TMP (Tmin)	TMR (Tmax)	TMR (Tmin)	DITOC	DTTOC
1962	40.50	25.50	40.50	25.50	143	144
1972	40.00	24.00	40.00	24.00	128	129
1973	41.50	25.00	41.50	25.00	121	122
1975	39.67	24.00	41.00	24.50	122	141
1976	40.25	24.50	40.50	25.00	114	148
1978	40.50	23.25	41.00	23.50	128	136
1980	40.50	25.00	40.50	25.00	139	140
1983	40.30	23.40	40.30	23.40	139	140
1986	40.90	25.30	40.90	25.30	134	137
1994	39.95	23.95	40.90	24.00	103	122
1995	40.70	23.20	40.70	23.20	96	98
1998	39.60	23.85	39.70	24.00	154	165
1999	40.10	25.20	40.10	25.20	118	122
2001	39.00	25.00	39.00	25.00	138	139
2003	40.60	25.20	40.60	25.20	119	124
2005	38.60	24.60	38.60	24.60	119	120
2008	40.10	24.40	40.80	25.20	115	136
2009	38.70	23.00	38.70	23.00	147	148
2010	39.40	25.00	39.40	25.00	132	133
2011	39.77	24.43	40.40	24.70	121	147
2012	39.00	25.20	39.00	25.20	128	129
2013	38.93	23.95	39.20	25.00	113	142
2014	40.70	24.30	40.70	24.30	117	119
2015	40.07	25.57	41.20	26.20	106	131
2016	40.25	26.05	41.70	29.30	89	147
2017	39.70	25.00	39.80	25.60	123	141
2019	40.60	24.43	41.30	25.30	121	134

Tabla 8. Índices anuales.

Año	IEIP (Tmax)	IEIP (Tmin)	IEIM	IEITAP	IETAM	IST	ISP	ISM	IETMP	IETMR
1962	1.24	1.27	1.24	1.20	1.20	2.08	2.08	2.08	1.26	1.26
1972	1.22	1.23	1.22	1.22	1.22	2.01	2.01	2.01	1.24	1.24
1973	1.26	1.27	1.26	1.24	1.24	2.03	2.03	2.03	1.29	1.29
1975	1.21	1.23	1.24	1.19	1.09	8.16	2.72	3.88	1.23	1.27
1976	1.23	1.24	1.24	1.22	1.20	5.05	2.53	3.02	1.25	1.26
1978	1.23	1.20	1.24	1.27	1.26	4.79	2.39	2.86	1.26	1.27
1980	1.25	1.25	1.25	1.24	1.24	2.02	2.02	2.02	1.26	1.26
1983	1.25	1.22	1.25	1.30	1.30	1.90	1.90	1.90	1.25	1.25
1986	1.23	1.25	1.23	1.19	1.19	4.15	4.15	4.15	1.27	1.27
1994	1.22	1.24	1.25	1.20	1.16	4.10	2.05	2.10	1.24	1.27
1995	1.22	1.20	1.22	1.24	1.24	2.92	2.92	2.92	1.26	1.26
1998	1.22	1.23	1.22	1.20	1.19	4.09	2.05	2.07	1.23	1.23
1999	1.23	1.23	1.23	1.24	1.24	4.95	4.95	4.95	1.24	1.24
2001	1.20	1.25	1.20	1.13	1.13	2.18	2.18	2.18	1.21	1.21
2003	1.23	1.25	1.23	1.20	1.20	6.19	6.19	6.19	1.26	1.26
2005	1.19	1.26	1.19	1.10	1.10	2.22	2.22	2.22	1.20	1.20
2008	1.22	1.25	1.23	1.18	1.16	8.34	2.78	4.10	1.24	1.26
2009	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19	2.01	2.01	2.01	1.20	1.20
2010	1.21	1.28	1.21	1.10	1.10	2.28	2.28	2.28	1.22	1.22
2011	1.22	1.24	1.22	1.18	1.14	14.46	4.82	8.29	1.23	1.25
2012	1.20	1.31	1.20	1.05	1.05	2.39	2.39	2.39	1.21	1.21
2013	1.20	1.23	1.20	1.15	1.08	9.63	2.41	3.48	1.21	1.22
2014	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	3.00	3.00	3.00	1.26	1.26
2015	1.22	1.28	1.25	1.13	1.07	14.22	4.74	7.42	1.24	1.28
2016	1.24	1.28	1.26	1.17	1.11	12.98	3.25	5.24	1.25	1.29
2017	1.22	1.28	1.22	1.12	1.07	6.83	3.42	4.74	1.23	1.23
2019	1.24	1.25	1.24	1.22	1.13	7.15	2.38	3.05	1.26	1.28

Por último, en la tabla 9 se muestran los eventos más severos identificados durante el período de estudio.

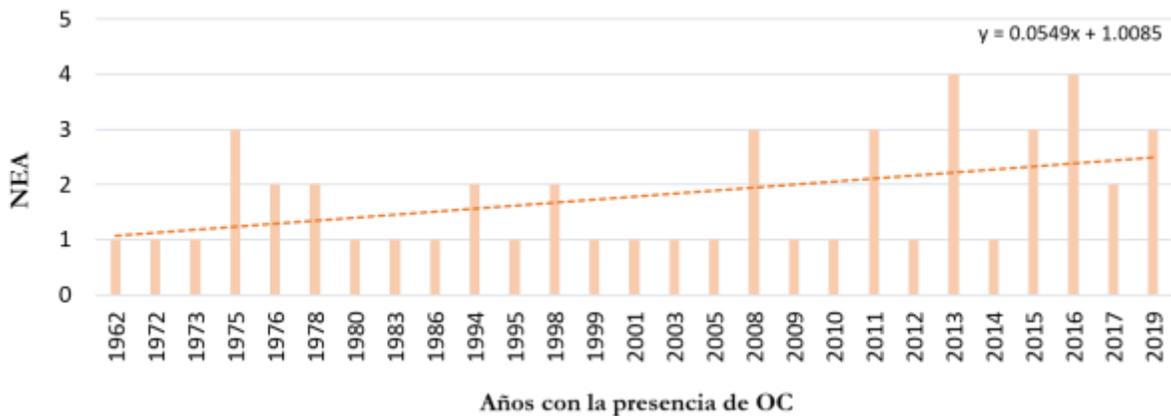
Tabla 9. Eventos más severos (1961-2019).

	Año	OC*	S
TOP 1	2011	30	16.23
TOP 2	2015	38	14.51
TOP 3	2003	21	12.11
TOP 4	2016	43	10.25
TOP 5	1999	19	9.73
TOP 6	2017	45	9.20
TOP 7	1986	13	8.12
TOP 8	2008	24	8.04
TOP 9	2011	29	7.86
TOP 10	1975	5	7.62

* OC se refiere al número de evento con base al total registrado en el período de estudio.

9.7. Identificación de patrones de comportamiento de las OC.

Respecto a la frecuencia de ocurrencia de las OC, se puede observar un aumento de esta a partir del año 2008 (Ver Gráfica 6). Veintiséis de las 48 OC identificadas, más de la mitad de los eventos identificados en un periodo de 59 años, ocurrieron en un lapso de 11 años. Lo anterior puede relacionarse con el aumento de la frecuencia de ocurrencia de eventos El Niño-ENSO (Tabla 10).



Gráfica 6. Número de eventos de OC en años puntuales.

Tabla 10. Resumen de los eventos de OC (1961-2019) con información obtenida de la NOAA (2020)⁶.

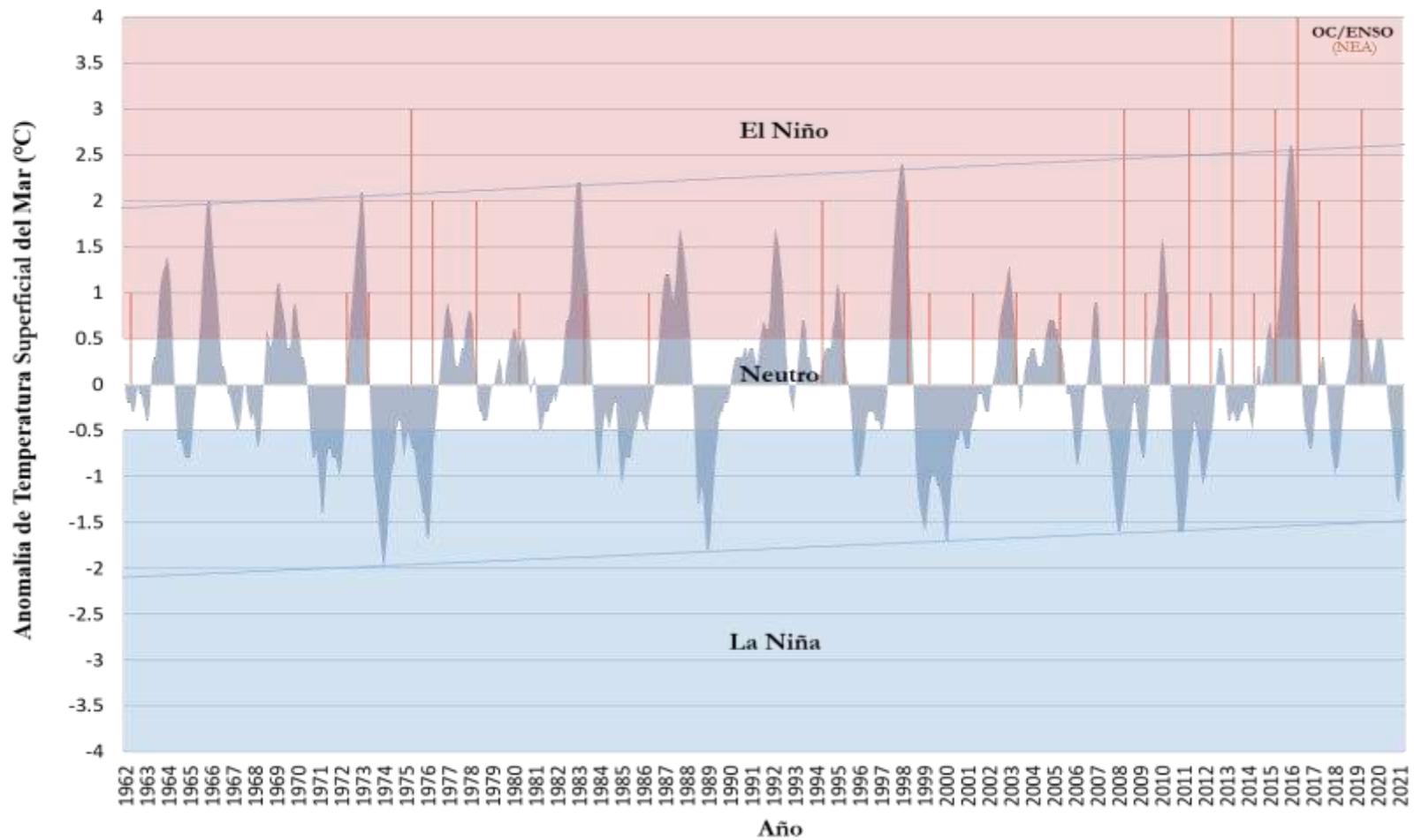
Año	No. OC/año	ENSO
1962	1	LA NIÑA
1972	1	NEUTRAL
1973	1	EL NIÑO
1975	3	NEUTRAL
1976	2	LA NIÑA
1978	2	EL NIÑO
1980	1	EL NIÑO
1983	1	EL NIÑO
1986	1	NEUTRAL
1994	2	NEUTRAL
1995	1	EL NIÑO
1998	2	EL NIÑO
1999	1	LA NIÑA
2001	1	NEUTRAL
2003	1	EL NIÑO
2005	1	NEUTRAL
2008	3	LA NIÑA
2009	1	NEUTRAL
2010	1	EL NIÑO
2011	3	LA NIÑA
2012	1	LA NIÑA
2013	4	NEUTRAL
2014	1	NEUTRAL
2015	3	EL NIÑO
2016	4	EL NIÑO
2017	2	EL NIÑO
2019	3	EL NIÑO

⁶ La información para la identificación de eventos El niño-ENSO fue consultada en el portal web de La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA por sus siglas en inglés), disponible en: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php y <https://psl.noaa.gov/enso/#past>

Por su parte, al realizar la revisión gráfica de la serie de tiempo del índice Niño oceánico trimestral (Ver Gráfica 7) se observa en la dinámica del fenómeno ENSO, una tendencia a ser cada vez más frecuentes los periodos con anomalía positiva en la temperatura superficial del mar, por lo que al ser los enfriamientos menos frecuentes, las altas temperaturas asociadas a la fase cálida correspondiente a El Niño, dependiendo de su intensidad, podrían influir significativamente en la formación de escenarios que permitan la presencia de temperaturas extremas en la región.

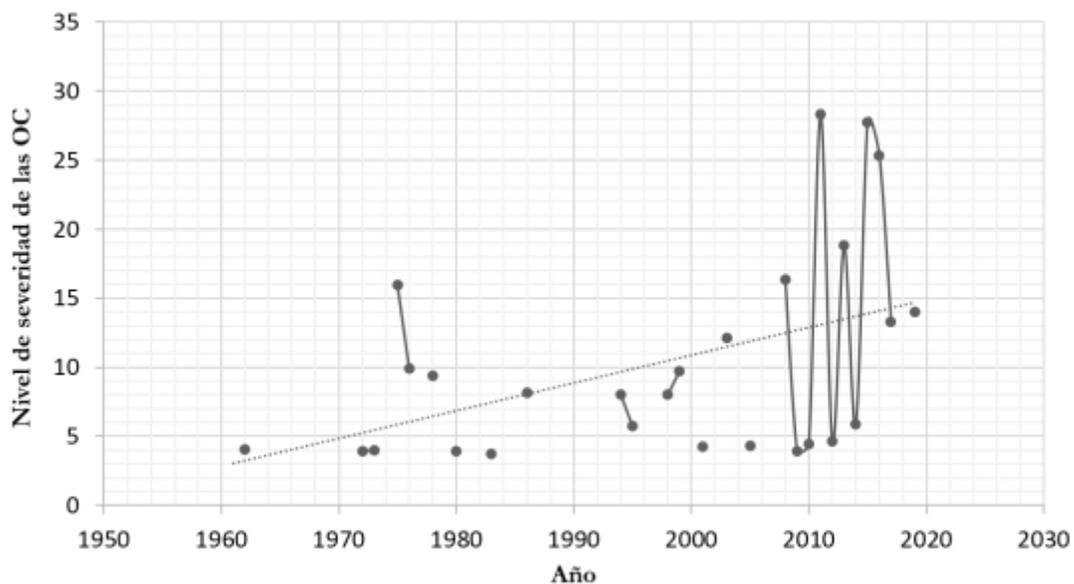
De los parámetros e índices que caracterizan a cada evento de onda de calor, se pueden identificar fenómenos más severos para años puntuales, como por ejemplo, la onda de calor No.30, del año 2011, que presentó una *Intensidad* de 39.35° C en la serie de temperaturas máximas y 23.79° C en la serie de temperaturas mínimas, alcanzando temperaturas máximas *maximorum* de 40.40° C (Tmax) y 24.60° C, que, si bien no fueron las temperaturas máximas *maximorum* de todo el periodo en estudio, permiten deducir que la *Duración* fue el factor predominante para colocarla en la posición No.1 de las ondas de calor más severas en el lapso de 1961-2019; siendo esta, con ocho días, la duración *maximorum* de todos los eventos identificados. En este sentido, el número de días en que la onda de calor prevalece sobre la región, influye significativamente en que el potencial de impacto de esta sea más severo (Tablas 6 y 9).

En el análisis de los 10 eventos de OC más severos que se muestran en la Tabla 9, se identifica que la presencia de estos en los últimos once años del periodo estudiado, coincide con el aumento en la frecuencia de ocurrencia de los eventos. Es decir, en la última década las OC han sido más severas y frecuentes.

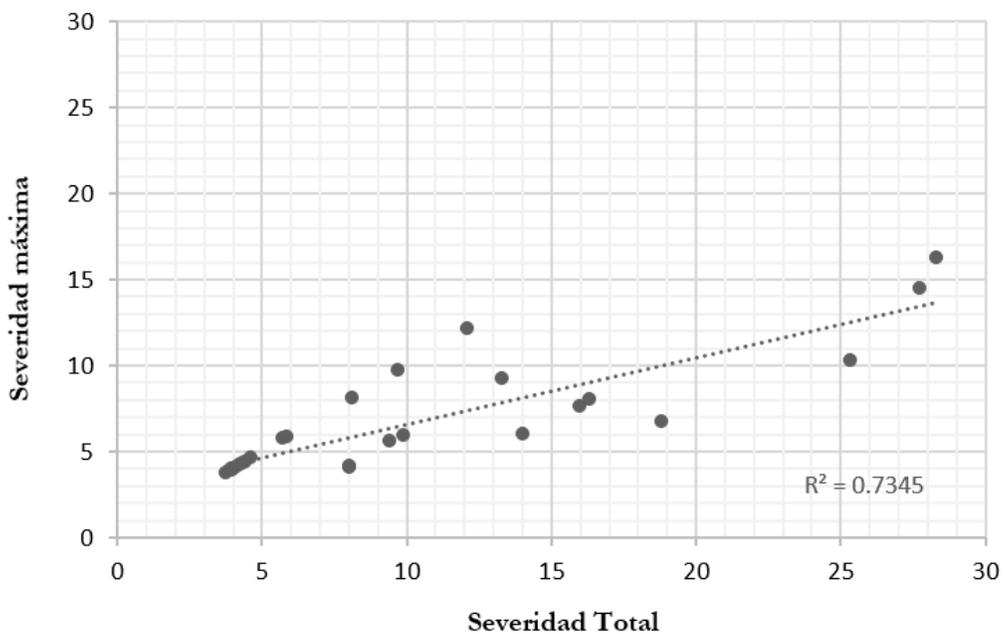


Gráfica 7. Relación entre la presencia de años con OC y el fenómeno El Niño-ENSO
 (Las barras en color rojo muestran el número de eventos de OC (NEA) ocurridas al año).

Lo anterior puede sustentarse en lo observado en la Gráfica 8, donde se muestra una tendencia positiva en la severidad total anual. Por otro lado, en la Gráfica 9 se observa la correlación ($R^2=0.73$) entre el índice de severidades totales y máximas. Dichos resultados reafirman que para la última década existe un aumento en la severidad de los eventos de OC

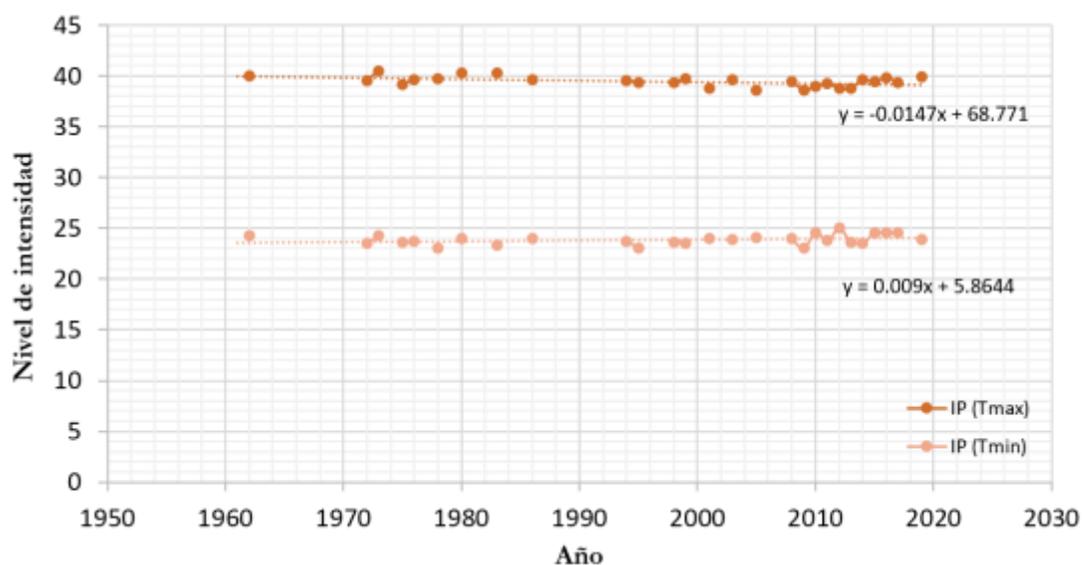


Gráfica 8. Severidades Totales (1961-2019).



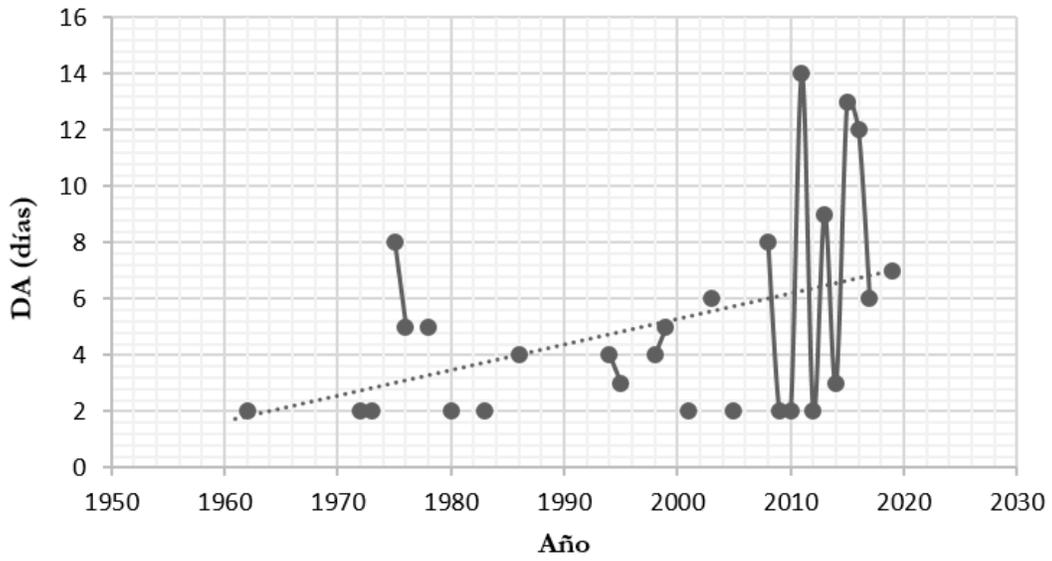
Gráfica 9. Severidad Total (ST) vs. Severidad Máxima (SM) (1961-2019).

En el caso de la evolución en la Intensidad de los eventos de ondas de calor, se observa una tendencia positiva ($m=0.009$) para la serie de intensidades mínimas y una tendencia negativa ($m=-0.0147$) para la serie de intensidades máximas. Debido a que las intensidades están en función de las temperaturas diarias (máximas y mínimas) registradas en los días con OC, se reafirma la tendencia, con respecto a los registros históricos de la serie de tiempo, de las temperaturas mínimas a ser cada vez más altas (Gráfica 10).

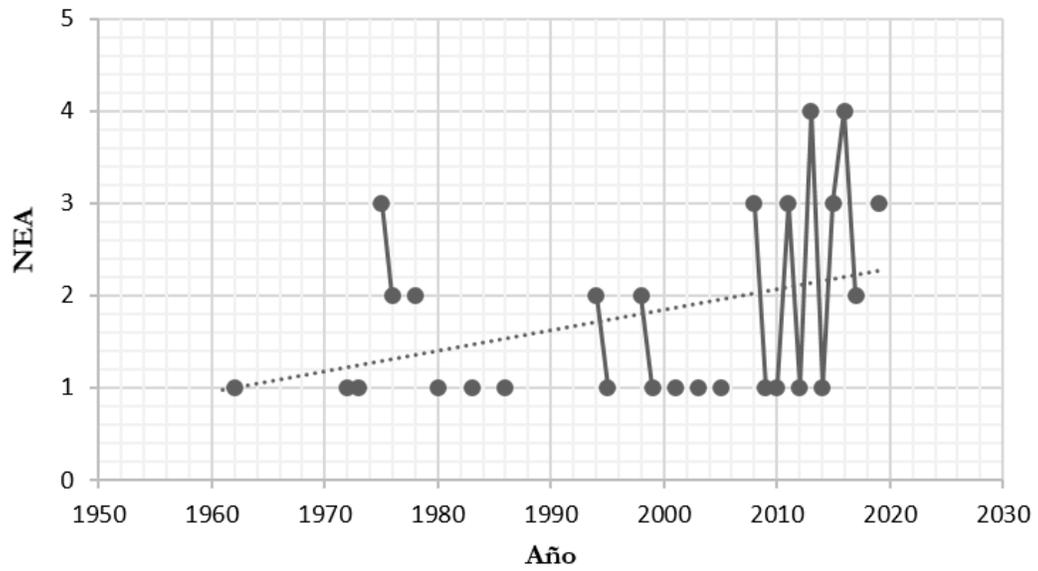


Gráfica 10. Intensidad promedio anual (1961-2019)

Así mismo, se observa un aumento significativo en la duración (Gráfica 11) y presencia anual (Gráfica 12) de los eventos de ondas de calor, los cuales están directamente relacionados con el aumento de la severidad de los mismos.



Gráfica 11. Duración anual de los eventos de OC.



Gráfica 12. Presencia anual de los eventos de OC.

X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De la metodología para la determinación de ondas de calor empleada, es importante señalar que para el presente estudio, se le atribuyó al parámetro *Severidad* la probabilidad potencial de impactos que podría resultar en daños en función de la vulnerabilidad y capacidad de respuesta de la población dentro de la zona sujeta a estudio; siendo este el parámetro más representativo para evaluar la condición de peligro climático que dicho evento representa, se hace énfasis en la importancia de la confiabilidad de información utilizada para el procesamiento estadístico, puesto que, al encontrarse la amenaza condicionada por la recurrencia histórica, es importante incorporar la mayor cantidad de datos disponibles en la serie de tiempo del fenómeno.

En el contexto nacional, según Magaña y Neri (2012), las tendencias recientes del clima en México indican un patrón espacial de calentamiento en la mayor parte del territorio, similar al encontrado en algunos escenarios regionales de Cambio Climático. Si bien en el periodo estudiado, la serie de temperaturas mínimas muestra una tendencia a que estas sean cada vez más calientes, la serie de temperaturas máximas presenta una tendencia negativa; sin embargo, de forma más detallada, se observa para esta última un patrón de calentamiento durante la reciente década.

De los resultados obtenidos, respecto a los parámetros individuales de los eventos de OC, se puede afirmar que el fenómeno de ondas de calor, para el municipio de Tuxtla Gutiérrez, es cada vez más intenso y frecuente, se presenta mayor cantidad de días con mayor ocurrencia anual, siendo, por ende, más severo (Ver Tabla 6 y 7). Cabe mencionar que los resultados aquí plasmados difieren con los obtenidos por CENAPRED (2017), puesto que en él se obtuvieron decrementos en la severidad a lo largo del tiempo para el Estado de Chiapas, lo cual podría estar relacionado con la estación seleccionada para el procesamiento estadístico de los registros históricos de temperaturas (Las Flores, Jiquipilas), por lo que es posible determinar que la dinámica del fenómeno de onda de calor varía según la región y el contexto socio-ambiental de cada zona. Al tener presente que la recurrencia histórica de la amenaza es cambiante en el espacio-tiempo, la anomalía de altas temperaturas, tanto para la serie de mínimas como la de

máximas, se mide en función a la climatología de cada ciudad. Con lo anterior se pone en evidencia que la dinámica del fenómeno puede encontrarse condicionada por el contexto local.

En cuanto a los parámetros anuales, es de observarse que la intensidad promedio anual presenta un decremento en la intensidad máxima y un aumento en las intensidades mínimas, lo que puede relacionarse con la tendencia que presentan las temperaturas máximas y mínimas en la serie de tiempo (Gráfica 10). Al aumentar las temperaturas mínimas diarias, las intensidades, de los eventos de ondas de calor alcanzarán valores más altos, al menos para la serie de las mínimas. A su vez, el incremento de la temperatura media a nivel global derivada del calentamiento global permitirá la ocurrencia de eventos cálidos más intensos (lo que permite establecer la relación atmósfera-superficie en un contexto más local) y frecuentes; esto último atribuido al aumento en la frecuencia de ocurrencia del fenómeno El Niño-ENSO (Gráfica 7), que para el caso de México permite la formación de zonas de subsidencia y anomalías de actividad anticiclónica en la región Chiapaneca (Sheinbaum, 2003), la cual permea un ambiente seco y caluroso que incrementa la probabilidad de ocurrencia de ondas cálidas.

De acuerdo con Jáuregui (2003), La primavera, comprendida como una época naturalmente calurosa en nuestra región por la posición del sol con respecto a la superficie terrestre y las condiciones de estiaje en la región ligadas a la temporada de sequía intraestival, pueden ser factores que sumadas a la actividad anticiclónica en la troposfera alta y media, favorezcan a la aparición de ondas de calor en los meses de marzo, abril, mayo y junio. Si a lo anterior se le suma la presencia de años con el fenómeno Niño-ENSO activo, el aumento en la temperatura a nivel global y su interacción con procesos físicos locales de deforestación, pérdida de humedad en los suelos, y los efectos de la isla de calor urbano, es posible concebir que en los últimos diez años el fenómeno haya aumentado su severidad, misma que está en función y directamente relacionada con el aumento en la intensidad y en la duración de dicho fenómeno.

Las características físicas locales, al estar estrechamente relacionadas con el clima, al ser modificadas de manera negativa (urbanizadas), pueden llegar a repercutir en la meteorología local, llegando incluso a tener consecuencias a nivel regional. En otras palabras, la suma de cambios microclimáticos (y toda la serie de causas-efectos asociados), desencadenan en el cambio climático global, por lo que se hace lógico pensar que si las condiciones del sistema climático cambian (son perturbadas), entonces tendremos consecuencias más severas, lo que se

traduce a impactos más graves a diferentes escalas y en diferentes sectores. Lo cual coincide con Torres y Gómez (2018), quienes comentan que, en lo referente al clima, el cambio global “... *abarca el conjunto de procesos de alteración de los ciclos de materia y energía...*”, concepto que engloba “...*la suma de procesos de transformación ambiental, social y cultural que el planeta atraviesa actualmente...*”.

Los fenómenos condicionantes del aumento de la severidad en las ondas de calor, si bien, tienen un trasfondo climático global, están íntimamente ligados y en constante interacción con las características locales, moldeando el tiempo. Las condiciones concretas de cada lugar geográfico (relieve, vegetación y uso de suelo), pero sobre todo los impactos antropogénicos en la pérdida de bosques, degradación de suelos (que modifican las condiciones de inestabilidad en la atmósfera), emisiones de GEI e incremento de la plancha de asfalto (efecto isla de calor), provoca, además del incremento en las severidades de la onda de calor, que las zonas urbanas sufran, aún más, sus efectos.

XI. CONCLUSIONES

Como ya se ha mencionado en diversos estudios relacionados con el Cambio Climático, el aumento en la intensidad y frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos es ya una realidad. Sin embargo, el estudio puntual de dichos fenómenos sigue siendo un foco rojo dentro de la lista de espera de la comunidad científica.

Para el caso de nuestro país, el uso del percentil 95 en la determinación de umbrales para la identificación de ondas de calor ha permitido la obtención de resultados que permiten conocer el comportamiento de este fenómeno; el presente estudio no es la excepción. Sin embargo, para estudiar y caracterizar de manera precisa el comportamiento meteorológico y climatológico local ante la presencia de ondas de calor, así como sus posibles impactos, es necesario realizar estudios locales en cada ciudad, puesto que, los resultados obtenidos reflejaron que, con el procesamiento estadístico de datos locales y/o municipales, no es posible caracterizar la dinámica de este fenómeno a nivel estatal.

Por su parte, al ser las ondas de calor una anomalía de altas temperaturas, tanto en la serie de temperaturas máximas como en la de mínimas, resulta imposible, hasta la fecha, de predecir (aunque si puede vislumbrarse la oscilación climática y la variabilidad climática que puede propiciar su ocurrencia), la tendencia positiva en función a su intensidad, frecuencia y duración, sin embargo puede ser explicado bajo un contexto más global por cambio climático o por la sensibilidad de la variable en el espacio-tiempo; por lo mismo, se hace énfasis en que la caracterización de dicho fenómeno debe ser bajo un contexto local.

La condición de peligro climático por eventos de OC en la ciudad está aumentando y los impactos físicos, fisiológicos y psicológicos en la población podrían ser cada vez más severos.

Dada la tendencia positiva a ser los eventos de ondas de calor más severos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, se hace pertinente el estudio de los riesgos asociados a dicha amenaza; puesto que, según sean las condiciones de exposición y vulnerabilidad de la población y el medio biótico, serán los impactos potenciales que las futuras ondas de calor tendrán sobre el municipio. Lo anterior hace pertinente la elaboración de mapas de riesgo, así como el fortalecimiento de los

sistemas de alerta temprana que incluya de forma prioritaria a los grupos con alta vulnerabilidad y que ayude a facilitar las intervenciones conjuntas del sector salud, la comunidad científica, la población y el sector político para el establecimiento de políticas públicas que permitan el ejercicio preventivo efectivo de los riesgos asociados.

Sabiéndose, por los resultados aquí obtenidos, que los eventos de OC son cada vez más frecuentes e intensos, identificándose abril y mayo como los meses más críticos para la población expuesta y vulnerable, es necesario que las autoridades correspondientes tomen acción en torno a la prevención y mitigación de impactos perjudiciales futuros resultantes de las altas temperaturas a las que la población tuxtleca quedará expuesta.

Aunque buena parte de la investigación científica en torno a las repercusiones en la salud se centra en los riesgos futuros, los estudios empíricos sobre el pasado reciente y el presente son también importantes, puesto que, si bien, mediante datos históricos se ha evaluado la probabilidad de ocurrencia de fenómenos atmosféricos considerados como amenaza, son pocos los estudios enfocados al peligro por ondas de calor que aporten información oportuna y actualizada para la correcta toma de decisiones. Por lo anterior, se espera que los resultados aquí obtenidos puedan fungir como instrumento para la gestión del riesgo municipal y punto de partida para la generación de nuevo material científico basado en el estudio y análisis complejo del fenómeno.

Estamos en un mecanismo de retroalimentación constante a macro y micro escalas; en este sentido, la determinación del parámetro *Severidad* como resultado directo en el aumento de la intensidad, frecuencia, duración y periodicidad de las ondas de calor, pretende alertar sobre consecuencias perjudiciales en colectivos vulnerables.

XII. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios a escala local (municipal) que permitan la obtención de resultados confiables en la elaboración de Atlas de Riesgos por fenómenos de OC en el país.
- Profundizar en el estudio de las teleconexiones entre el cambio climático, el fenómeno El Niño-ENSO y la dinámica de las OC, para identificar posibles correlaciones.
- Ahondar en la gestión de riesgos mediante estudios que abarquen holísticamente la dinámica del fenómeno, así como el análisis de las condiciones de exposición y vulnerabilidad en la que la población y los sistemas socio-ambientales se encuentran ante dicha amenaza.
- Fortalecer, actualizar y promover los mecanismos de difusión y divulgación científica con el fin de mantener una ciudadanía informada, capacitada e involucrada en torno a las problemáticas socio-ambientales derivadas de los eventos asociados a temperaturas extremas por OC y a la gestión de riesgos.
- Facilitar y promover la organización y cooperación conjunta de la ciudadanía, la comunidad científica, la sociedad organizada, el gobierno del estado, protección civil y sector salud para el establecimiento de políticas públicas que permitan, de manera transversal, mitigar y prevenir los riesgos asociados a eventos de OC y cambio climático.
- Procurar la conservación y protección de los suelos, así como áreas verdes, arbolados, parques urbanos y áreas naturales protegidas dentro de la región para contrarrestar los efectos sobre la meteorología local, las altas temperaturas y el efecto isla de calor; lo que coadyuvará a las condiciones ideales de confort térmico para la población.
- Gestionar mecanismos que permitan implementar de forma efectiva la alerta temprana de la llegada de los meses identificados como críticos en torno a la presencia de temperaturas altas extremas; así como la aplicación de sanciones justas correspondientes a quienes no cumplan las medidas de prevención asociadas a las prácticas que promuevan la ocurrencia de incendios forestales en dicho periodo.

Lista de referencias

- Alberti, J. C., Díaz, J., Montero, J.C. y Mirón, I. J. (1998). Daily mortality in Madrid Community (Spain) 1986-1991: Relationship with atmospheric variables. *European Journal of Epidemiology*, 14, 571-578.
- Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez (2012). Atlas de Riesgo del Municipio de Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez; CECROPIA (2012). Programa Municipal Ante el Cambio Climático de Tuxtla Gutiérrez (PROMACC).
- Beniston, M., Stephenson, D., Christensen, O., Ferro, C., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B. (2007). Current and future extreme climatic events in Europe: observations and modeling studies conducted within the EU PRUDENCE Project. *Climatology Change*, pp 81, 71-95
- Bertalanffy, L. (1987). Teoría general de sistemas. Fondo de Cultura Económica, Madrid.
- Cardona A., Omar D. (1993). Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo: Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. En: Los desastres no son naturales. p.56.
- CEIEG. (2012). Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas: Perfiles municipales, Tuxtla Gutiérrez.
- CENAPRED. (2017). Metodología para elaborar mapas de riesgo por temperaturas máximas (2ª etapa ondas de calor). Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos. Febrero. Disponible en: https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/70.pdf
- CONAGUA (2019). Comisión Nacional del Agua, información histórica de estaciones convencionales meteorológicas con las que cuenta el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

- CNA/SMN-UNAM. (2011). Atlas Climático Digital de México (Versión 2.0).
- CSIC (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Colección Divulgación. Madrid.
- DeGateano, A. (1996). Recent trends in minimum and maximum temperatura threshold exceedences in the North-Eastern United States. *Journal of Climate*, pp, 9, 1646-1660.
- DeGateano, A. y Allen, R. (2002). Trends in Twentieth-Century Temperature Extremes across the United States. *Journal Climate*, pp 15, 3188-3205.
- Geirinhas, J. L., Trigo, R. M., Libonati, R., y Peres, L. de F. (2018). Caracterización climática de las olas de calor en Brasil. *Anuario del Instituto de Geociencias- UFRJ*. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_333_350. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol.41-3 / 2018 p. 333-350.
- Goodess, C., Anagnostopoulou, C., Bárdossy, A., Frei, C., Harpham, C., Haylock, M., Hundecha, Y., Maheras, P., Ribalaygua, J., Schmidli, J., Schmith, T., Tolika, K., Tomozeiu, R., y Wilby, R. (2005). An intercomparison of statical downscaling methods for European regions –assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events. *Climate Change* submitted.
- Grisollet H., Guilmet B. y Arlery R. (1962). *Climatologie, méthodes et pratiques*. Editorial: Gauthier-Villars. París.
- Guevara O., Quaas W. y Fernández V. (2006). *Lineamientos Generales para la Elaboración de Atlas de Riesgos*.
- Herrera (2012). Tesis Doctoral: Análisis de las Ondas de Calor en la República Mexicana. UNAM. México.
- INEGI, (2020). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Censos y Conteos de Población y Vivienda 2020. Microdatos. Principales resultados por localidad (ITER). Consultado en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>
- IPCC (2000). *Impactos regionales del cambio climático: Evaluación de la vulnerabilidad*. Capítulo 6: América Latina. Informe especial.

- IPCC (2001). Tercer informe de Evaluación - Glosario pp. 177 Consultado en: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf> (26.11.2014)
- IPCC. (2007). Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Cuarto Informe de Evaluación. Publicado en 2007 por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
- IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp 582.
- Jáuregui O, E. (2003). Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 50, 2003, pp.121-143
- Khariin, V., Zwiers, F., Zhang, X., y Hegerl, G. (2007). Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. Journal Climatology Change, pp 81, 249-265.
- Kjellström, E., Bärring, L., Jacob, D., Jones, R., Lenderink, G. y Schär, C. (2007). Modeling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe. Climatology Change, pp 81, 249-265.
- Klein Tank, A., Wijngaard, J., Können, G., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálstdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., Maugeri, M., Leitass, A., Bukantis, A., Aberfeld, R., Van Engelen, A., Forland, E., Mielus, M., Coelho, F., Mares, C., Razuvaev, V., Nieplova, E., Cegnar, T., Antonio López, J., Dahlström, B., Moberg, A., Kirchhofer, W., Ceylan, A., Pachaliuk, O., Alexander, L., y Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th Century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. International Journal of Climatology, Int. J. Climatol. 22: pp 22, 1441-1453. DOI: 10.1002/JOC.773.

- Kogima, K. C., Ely, D. F. (2018). Índices térmicos para la identificación de ondas de calor aplicado al estado de Paraná, Brasil. Universidad estatal de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil. Geo UERJ E-ISSN 1981-9021. Disponible en: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/viewFile/40947/28455>
- Lavell, A., Oppenheimer, C., Diop, J., Hess, R., Lempert, J., Li, R., Muir-Wood, y S. Myeong. (2012). Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. En: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
- Leiserowitz, A. (2012). Global warming's six Americas, march 2012 & november 2011. En: *Project on Climate Change Communication*.
- Magaña, V. (2004). El Cambio Climático Global: Comprender el Problema. En Martínez, J. & Fernández-Bremauntz, A. (Comp.) *Cambio Climático: Una visión desde México*. (pags.17-28). México. Instituto Nacional de Ecología.
- Magaña, V., Neri, C. (2012). Cambio climático y sequías en México. *Revista Ciencia*. No. 6. Octubre-Diciembre. Pp 26-35. Diponible en: http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/63_4/PDF/sequiasMexico.pdf
- Magaña, V. (2013). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante el Cambio Climático*. México.
- Martínez Austria, P. F., Bandala, E.R. (2015). Temperaturas máximas y olas de calor en Mexicali, México: análisis de tendencias y umbrales. *Investigación sobre el aire, el suelo y el agua* 2016: 9 21-28 doi: 10.4137/ASWr.S32778.
- Meyer, W. (2011). Measuring: indicators – scales – indices – interpretations In: Stockmann, R. (ed.): *A Practitioner Handbook on Evaluation*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Monterroso R., Fernández E., Trejo V., Conde A., Escandón C., Villers R. y Gay G. (2013). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*.

Centro de Ciencias de la Atmósfera. Programa de Investigación en Cambio Climático
Universidad Nacional Autónoma de México. <http://atlasclimatico.unam.mx/VyA>

Monkhouse. F. J. (1978) Diccionario de términos geográficos. Oikos Tau ediciones, p. 94:
Barcelona.

NOAA. (2020). El Niño Southern Oscillation (ENSO). Consultado en:
<https://psl.noaa.gov/enso/#past>. 20 de mayo de 2020

OMM. (2009) Clima. Consultado en: http://www.wmo.int/pages/themes/climate/index_es.html

OMS; OMM. (2015). Olas de calor y salud: orientaciones sobre el desarrollo de sistemas de
aviso. No. 1142. Ginebra, Suiza. Disponible en:
https://www.who.int/globalchange/publications/WMO_WHO_Heat_Health_Guidance_2015.pdf?ua=1

OPS; COLEF; COCEF. (2009). Cambio Climático y Salud. Frontera México-Estados Unidos.
Quito, Ecuador. ISBN: 978-9978-92-732-8

Pardo, A. y Ruiz, M. A. (2002). SPSS: Guía para el análisis de datos. Madrid: McGraw-Hill.

PMD. (2013). Ayuntamiento Constitucional de Tuxtla Gutiérrez: Plan Municipal de Desarrollo
2012- 2015.

SEMAHN. (2011). Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas
(PACCCH). Chiapas, México.

SEMARNAT. (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Serie: ¿Y el medio
ambiente? México. ISBN 978-968-817-925-3. Disponible en:
https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf

SEMARNAT. (2015) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de
Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de
Crecimiento Verde. 5. Atmósfera. Cambio Climático. Pp: 291-238.

Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp.
109-23.

- Sheinbaum J. (2003): Current theories on El Niño-Southern Oscillation: A review. *Geofísica Internacional*, Volúmen 42: 291-305.
- Simões dos Reis, N. C., Boiaski, N. T., Ferraz, S. E. T. (2019). Caracterización y cobertura especial de las olas de calor en Brasil subtropical. Departamento de Física, Universidad Federal de Santa María, Santa María 97105900, Brasil.
- Sistema Nacional De Protección Civil; Centro Nacional de Prevención de Desastres (2017). Metodología para Elaborar Mapas de Riesgo por Temperaturas Máximas (2ª Etapa Ondas De Calor). México.
- Staines, F (2007). Cambio climático: interpretando el pasado para entender el presente. *Ciencia Ergo Sum*, vol. 14, núm. 3, noviembre-febrero, 2007, pp. 345-551, Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Torres, J., y Gómez, A. (2008). Adaptación al cambio climático: de los fríos y los calores en los Andes. Experiencias de adaptación tecnológica en 7 zonas rurales del Perú. Cambio climático y pobreza. Lima: Soluciones Prácticas-ITDG. ISBN 978-9972-47179-7. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9414E4ABB1319A9D05257C700053AEB2/\\$FILE/1_pdfsam_Adaptacion_al_cambio_climatico.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9414E4ABB1319A9D05257C700053AEB2/$FILE/1_pdfsam_Adaptacion_al_cambio_climatico.pdf)
- UNESCO; UNDRO. (1979), *Natural Disasters and Vulnerability*. Ginebra, Suiza.
- UNICEF. (2011). Informe Anual de UNICEF 2011. Estado mundial de la Infancia. Adolescencia. “Únete por la Niñez”. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.
- UNISDR. (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Organización de las Naciones Unidas. Ginebra, Suiza.
- Urrutia, J., et al. (2010). Metodología para la imputación de datos faltantes en meteorología. *Scientia. Et Technica*, vol. XVII, núm. 46, diciembre, pp. 44-49 Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

- Valencia, DAL., Lozano CA., Moreno, CA. (2007). Modelo de promedios móviles para el pronóstico horario de potencia y energía eléctrica. *El Hombre y la Máquina* no.29 Julio, Diciembre de 2007. Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia. Pp.96-105.
- Zavaleta Palacios, M., Díaz Nigenda, E., Vázquez Morales, W., Morales Iglesias, H., Lima, GN. (2020). Urbanización y su relación con la isla de calor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(2): e2485. DOI: 10.19136/era.a7n2.2485
- Zúñiga, P. (2007). Protección civil y desastres naturales. En: *Seminarios de protección civil y desastres inducidos por fenómenos naturales. Memorias. Foro Consultivo Científico y Tecnológico*, A. C. México. pp: 25-33.