

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS ONDAS CÁLIDAS HÚMEDAS EN  
MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO Y SU IMPACTO EN LA SALUD”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA**

JESÚS OMAR INZUNZA CASTRO

**DIRECTOR:**

DR. NÉSTOR SANTILLÁN SOTO

**CODIRECTORA:**

DRA. MARLENE ZAMORA MACHADO

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

JUNIO DE 2019

## Sinodales asignados



Presidente:	Dr. Néstor Santillán Soto
Secretario:	Dra. Marlene Zamora Machado
Sinodal:	Dr. Onofre Rafael García Cueto
Sinodal:	Dr. Alejandro Adolfo Lambert Arista
Sinodal:	Dr. David Enrique Flores Jiménez

**INSTITUTO DE INGENIERÍA UABC, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

### **DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Néstor Santillán Soto

---

Firma

Jesús Omar Inzunza Castro

---

Firma

# Agradecimientos

A mis directores de tesis: **Dr. Néstor Santillán Soto** y **Dra. Marlene Zamora Machado**, por todo su apoyo desde el inicio, su colaboración y consejos durante el desarrollo de este trabajo.

Al **Dr. Onofre Rafael García Cueto** por su apoyo con la información e interpretación meteorológica desde antes de entrar al programa, así como durante todo el periodo. Además, se agradece todos sus consejos que me orientaron al sentido de la investigación.

Al **Ing. Daniel Gujarro Landeros** por su ayuda en la elaboración del macro utilizado para el resumen diario y horario de los datos meteorológicos, así como su explicación para futuras modificaciones.

Agradezco al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por su apoyo económico durante mis estudios de maestría.

A la **Universidad Autónoma de Baja California** y al **Instituto de Ingeniería** por el honor de ser parte de su comunidad, además del apoyo brindado durante la formación y realización de este proyecto.

A mis compañeros que con el tiempo se convirtieron en mis **amigos**, por todo su apoyo durante todo el trayecto.

A **Comisión Nacional del Agua**, por aportar la información climatológica de la estación meteorológica que se utilizaron en el presente trabajo, así como por su atención tan amable y recomendaciones, especialmente al **Ing. Manuel Esgardo Colima Sánchez**, jefe de proyecto del Servicio Meteorológico Nacional.

A **Instituto de Servicios de Salud Pública del Estado de Baja California** por el apoyo para la adquisición de los datos de salud por temperaturas naturales extremas de Mexicali, en especial a la **Dra. Marisol Guízar Domínguez** y al **Dr. Néstor Saul Hernández Milán**, miembro y jefe del Departamento Estatal de Epidemiología, respectivamente.

## **Dedicatoria**

A toda mi familia, especialmente a mis padres Misael y Sandra, que siempre me han apoyado en todos mis proyectos, dándome los ánimos y las palabras necesarias cada vez que lo necesitaba.

A Fernanda, por su ayuda y palabras de aliento en cada momento. Además de su compañía en los momentos claves para la realización de este trabajo.

## Tabla de contenido

Capítulo I – Introducción .....	- 1 -
1.1 Introducción.....	- 1 -
1.2 Planteamiento del problema.....	- 2 -
1.3 Justificación.....	- 3 -
1.4 Hipótesis .....	- 6 -
1.5 Objetivos.....	- 6 -
1.5.1 General .....	- 6 -
1.5.2 Específicos .....	- 6 -
Capítulo II – Marco teórico .....	- 7 -
2.1 Área de estudio.....	- 7 -
2.2 Onda cálida.....	- 8 -
2.3 Monzón de Norteamérica .....	- 9 -
2.4 Onda cálida húmeda .....	- 11 -
2.5 Daños a la salud por temperaturas naturales extremas.....	- 14 -
2.5.1 Morbilidad.....	- 14 -
2.5.2 Mortalidad .....	- 17 -
2.6 Antecedentes.....	- 18 -
2.6.1 Onda cálida.....	- 18 -
2.6.2 Monzón de Norteamérica .....	- 19 -
2.6.3 Onda cálida húmeda .....	- 20 -
2.7 Relación diagnósticos – fenómenos meteorológicos.....	- 20 -
Capítulo – III Metodología.....	- 21 -
3.1 Recopilación y estandarización de datos.....	- 21 -
3.1.1 Bases de datos meteorológica.....	- 21 -
3.1.2 Bases de datos de salud .....	- 23 -
3.2 Procesamiento de datos .....	- 24 -
3.2.1 Sintetización de bases de datos meteorológicas.....	- 24 -

3.2.2	Análisis de la calidad de la información .....	- 25 -
3.2.3	Análisis exploratorio de la información .....	- 25 -
3.3	Análisis de los fenómenos meteorológicos .....	- 26 -
3.3.1	Ondas Cálidas .....	- 26 -
3.3.2	Monzón de Norteamérica .....	- 26 -
3.3.3	Ondas Cálidas Húmedas .....	- 27 -
3.4	Análisis de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas .....	- 27 -
3.5	Relación diagnósticos – fenómenos meteorológicos .....	- 28 -
Capítulo IV – Resultados .....		- 29 -
4.1	Estandarización de datos .....	- 29 -
4.1.1	Bases de datos meteorológica .....	- 29 -
4.1.2	Bases de datos de salud .....	- 30 -
4.2	Procesamiento de datos .....	- 30 -
4.2.1	Sintetización de bases de datos meteorológicas.....	- 30 -
4.2.2	Análisis de la calidad de la información .....	- 31 -
4.2.3	Análisis exploratorio de la información .....	- 32 -
4.3	Análisis de los fenómenos meteorológicos .....	- 36 -
4.3.1	Ondas Cálidas .....	- 36 -
4.3.2	Monzón de Norteamérica .....	- 39 -
4.3.3	Ondas cálidas húmedas .....	- 41 -
4.4	Análisis de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas .....	- 49 -
4.5	Relación diagnósticos – fenómenos meteorológicos .....	- 55 -
4.6	Estudios de casos .....	- 57 -
4.6.1	Caso 2016 .....	- 58 -
4.6.2	Caso 2018 .....	- 61 -
Capítulo V – Discusiones .....		- 65 -
Capítulo VI – Conclusiones y recomendaciones .....		- 73 -
Referencias .....		- 76 -

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Desastres clasificados de acuerdo con el número de muertes reportadas (1970-2012) .....</i>	<i>- 4 -</i>
<i>Tabla 2: Efectos de índice de calor (NOAA, 1985) .....</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Tabla 3: Variables meteorológicas medidas por las EMAs .....</i>	<i>- 22 -</i>
<i>Tabla 4: Porción de base de datos meteorológica, en intervalos diezminutales...- 29 -</i>	
<i>Tabla 5: Porción de base de datos de casos de daños a la salud por temperaturas naturales extremas .....</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Tabla 6: Porción de base de datos meteorológica, en intervalos horarios.....</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Tabla 7: Porción de base de datos meteorológica, en intervalos diarios .....</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Tabla 8: Porción de análisis de la calidad de la información de temperatura para Mexicali.....</i>	<i>- 32 -</i>
<i>Tabla 9: Resumen del análisis de calidad de la información de temperatura de aire y de punto de rocío para Mexicali .....</i>	<i>- 32 -</i>
<i>Tabla 10: Rosa de los vientos (Humedad relativa – Dirección de viento) y distribución durante los días monzónicos en Mexicali de 2000 a 2018.....</i>	<i>- 40 -</i>
<i>Tabla 11: Años con ondas cálidas húmedas con una duración mayor a 25 días consecutivos en Mexicali de 2000 a 2018 .....</i>	<i>- 41 -</i>
<i>Tabla 12: Estudio de caso 2016.....</i>	<i>- 60 -</i>
<i>Tabla 13: Estudio de caso 2018.....</i>	<i>- 64 -</i>
<i>Tabla 14: Relación de casos contra otras variables en Mexicali de 2000 a 2018...- 66 -</i>	
<i>Tabla 15: Ondas cálidas y ondas cálidas húmedas históricas a través de regiones del mundo con diferentes climas (Russo et al., 2017).....</i>	<i>- 67 -</i>
<i>Tabla 16: Ondas cálidas húmedas con mayor duración en Mexicali de 2000 a 2018 .....</i>	<i>- 68 -</i>

## Índice de Gráficas

Gráfica 1: Análisis gráfico-estadístico de temperatura de aire máxima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018 .....	- 33 -
Gráfica 2: Análisis gráfico-estadístico de temperatura de aire mínima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018.....	- 34 -
Gráfica 3: Análisis gráfico-estadístico de temperatura aparente máxima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018 .....	- 34 -
Gráfica 4: Análisis gráfico-estadístico de temperatura aparente mínima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018 .....	- 35 -
Gráfica 5: Análisis gráfico-estadístico de temperatura de punto de rocío media de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018.....	- 35 -
Gráfica 6: Duración y frecuencia de ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018..-	37 -
Gráfica 7: Frecuencia mensual de ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018-	38 -
Gráfica 8: Índice diario de intensidad de onda cálida en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 39 -
Gráfica 9: Frecuencia de días monzónicos en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 40 -
Gráfica 10: Duración y frecuencia de ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 42 -
Gráfica 11: Frecuencia mensual de ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018.....	- 43 -
Gráfica 12: Ondas cálidas húmedas del mes de Junio en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 44 -
Gráfica 13: Ondas cálidas húmedas del mes de Julio en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 45 -
Gráfica 14: Ondas cálidas húmedas del mes de Agosto en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 46 -

Gráfica 15: Ondas cálidas húmedas del mes de Septiembre en Mexicali de 2000 a 2018.....	- 47 -
Gráfica 16: Índice diario de intensidad de ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 48 -
Gráfica 17: Amplificación de índice diario de intensidad de ondas cálidas húmedas con respecto a ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 49 -
Gráfica 18: Frecuencia anual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas. Fuente: Boletines epidemiológicos.....	- 50 -
Gráfica 19: Frecuencia anual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas. Fuente: ISESALUD .....	- 51 -
Gráfica 20: Frecuencia mensual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018 .....	- 52 -
Gráfica 21: Distribución de diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018.....	- 53 -
Gráfica 22: Distribución de etapa de vida de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018.....	- 54 -
Gráfica 23: Distribución de defunciones de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018.....	- 55 -
Gráfica 24: Relación de diagnósticos por temperaturas naturales extremas y ondas cálidas húmedas .....	- 56 -
Gráfica 25: Relación de los diagnósticos por caso de afectación a la salud y ondas cálidas .....	- 57 -
Gráfica 26: Días consecutivos de onda cálida húmeda para casos de defunción en Mexicali de 2000 a 2018.....	- 70 -
Gráfica 27: Índices diarios de intensidad de onda cálida húmeda para casos de defunción en Mexicali de 2000 a 2018 .....	- 70 -
Gráfica 28: Temperaturas aparentes máximas para casos de defunción en Mexicali de 2000 a 2018.....	- 71 -

# Capítulo I – Introducción

## 1.1 Introducción

En este documento se estudió la morbilidad y mortalidad de la población de la ciudad de Mexicali durante el periodo cálido debido al fenómeno meteorológico de onda cálida húmeda, el cual se genera a partir de las altas temperaturas producidas durante las ondas cálidas y los altos porcentajes de humedad relativa durante la estación monzónica. Este fenómeno es característico de la ciudad desde Junio hasta Septiembre en promedio, porque esta región se caracteriza por un clima cálido, seco y muy árido. La mayor parte del tiempo se presentan temperaturas mínimas y máximas por encima de los 25 y 40 °C, respectivamente. Sin embargo, el Monzón de Norteamérica se presenta debido al calentamiento de la tierra, que es más rápido que el del agua del Golfo de California, atrayendo así el aire húmedo hacia la ciudad de Mexicali, generando temperaturas de punto de rocío promedio diario de hasta 23.7 °C. En el momento en el que se presentan simultáneamente estos dos fenómenos, se generan altas temperaturas y altos porcentajes de humedad relativa, lo que origina una mayor sensación térmica, medida a partir de la temperatura aparente, mínimas y máximas por encima de los 30 y 45 °C la mayor parte del tiempo, respectivamente. Debido a esto, la salud de los habitantes al estar expuestos a estas condiciones se ve afectada por diversas enfermedades, como pueden ser deshidratación, agotamiento por calor, golpe de calor, entre otros.

## 1.2 Planteamiento del problema

El Atlas de la Salud y del Clima, publicado en conjunto por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) (2012) menciona que el calor excesivo es una amenaza creciente para la salud pública (Knowlton et al., 2008). Las ondas cálidas intensas y prolongadas elevan los riesgos (EURO, 2008; Kjellstrom et al., 2009). Del mismo modo afirma, “en el decenio de 2050 los episodios de calor que actualmente solo ocurren una vez cada 20 años se experimentarán cada 2 a 5 años” (IPCC, 2012). Las personas de edad avanzada, los enfermos crónicos y los niños son especialmente vulnerables. Sin embargo, las personas socialmente aisladas (indigentes) y las que trabajan en ambientes al aire libre son los más expuestos. A medida que crecen las zonas urbanas y población urbana, la vulnerabilidad relacionada con la mortalidad asociada al calor parece aumentar en el futuro (Patz et al., 2005), mientras que el efecto de la isla de calor urbana puede elevar las temperaturas más de 5 °C (Witte et al., 2011), en el caso de Mexicali la diferencia máxima encontrada ha sido 5.7 °C (Casillas et al., 2014).

Debido a las condiciones de temperaturas extremas de la ciudad de Mexicali, los habitantes se ven afectados por lo que los médicos llaman familiarmente a este efecto sobre las personas ‘golpe de calor’. De la Fuente et al. (2009) señala: “Las personas pueden estar realizando sus actividades cotidianas en el patio o en una casa pequeña sin un buen sistema de aire acondicionado, incluso,

simplemente estar caminado por las calurosas calles de Mexicali y sufrir el golpe de calor. Inicialmente se experimenta un malestar general, una incomodidad asociada a una sensación psicológica de calor, seguida de náuseas y, en ocasiones, vómito; el cuerpo es invadido por una sensación de cansancio que poco a poco disminuye la actividad física al grado de llegar a impedir la movilidad para ir a tomar agua o pedir ayuda; posteriormente, se presenta fiebre, la piel se pone caliente, roja y seca por ausencia de sudoración; repentinamente, el pulso se debilita y se hace más rápido, pudiendo llegar hasta 130 pulsaciones por minuto. La respiración es rápida y difícil, asociada a dolor de cabeza; en este momento el paciente prácticamente está perdido, pues ha empezado a cocinarse. La conciencia se obnubila, se sufre desorientación y alucinaciones, lo que provoca un comportamiento irracional, pérdida de la conciencia, estado de coma y, finalmente, la muerte."

### **1.3 Justificación**

El Atlas de mortalidad y pérdidas económicas de situaciones meteorológicas extremas, climáticas y de agua 1970-2012, publicado en conjunto por la WMO y el Centro para la Investigación sobre la Epidemiología de Desastres (CRED, por sus siglas en inglés) de la Universidad Católica de Lovaina (Golnaraghi et al., 2014, WMO, 2014) declara que durante este periodo sucedieron 8,835 desastres vinculadas directamente a condiciones meteorológicas e hidrológicas dejando al menos 1.94 millones de muertes en todo el mundo y pérdidas económicas de

2.4 billones de dólares. Los desastres se debieron a sequías, inundaciones, tormentas de viento, ciclones tropicales, oleadas de tormentas, temperaturas extremas, desprendimientos de tierra e incendios forestales, o por epidemias de salud e infestaciones de insectos.

En Europa, fueron reportados 1,352 desastres, causando 149,959 muertes y 375.7 mil millones de dólares en daños económicos durante el periodo 1970-2012. El desastre de temperaturas extremas se llevó la mayor parte de muertes (Tabla 1), con 72,210 muertes durante la onda cálida de 2003 en Europa y 55,736 durante la onda cálida de 2010 en la Federación de Rusia.

Tabla 1: Desastres clasificados de acuerdo con el número de muertes reportadas (1970-2012)

<b>Tipo de desastre</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Número de muertes</b>
<b>Temperaturas extremas</b>	2010	Federación de Rusia	55,736
<b>Temperaturas extremas</b>	2003	Italia	20,089
<b>Temperaturas extremas</b>	2003	Francia	19,490
<b>Temperaturas extremas</b>	2003	España	15,090
<b>Temperaturas extremas</b>	2003	Alemania	9,355
<b>Temperaturas extremas</b>	2003	Portugal	2,696
<b>Temperaturas extremas</b>	2006	Francia	1,388
<b>Temperaturas extremas</b>	2003	Bélgica	1,175
<b>Temperaturas extremas</b>	2003	Suiza	1,039
<b>Temperaturas extremas</b>	1987	Grecia	1,000

De acuerdo con el Atlas de riesgos del municipio de Mexicali (Ley et al., 2011), la ciudad de Mexicali puede ser clasificada con un nivel de peligro muy alto por calor extremo, debido a su temperatura máxima promedio en Julio superior a los 40 °C.

Como lo hace notar Martínez et al. (2016), la importancia de las ondas cálidas se hace evidente cuando sus efectos en la salud humana son considerados. Una clara tendencia de particular interés se ha detectado en el aumento de temperatura que afecta a la población en la parte Norte-Occidental del país. El impacto de las ondas cálidas en la ciudad de Mexicali, en particular sobre la vulnerabilidad, la morbilidad y la mortalidad, muestra un asombroso crecimiento en los últimos años, además de ser la ciudad de México con el mayor registro de muertes por ondas cálidas.

Díaz et al. (2014) en su estudio "Mortalidad por calor excesivo en el Noroeste de México", analiza las estadísticas de mortalidad, y menciona que en México, durante el período 2002-2010, fallecieron 393 personas por calor natural excesivo, donde los municipios con mayor número de decesos son Mexicali con 70 defunciones, Hermosillo con 48, San Luis Río Colorado con 19 y Caborca con 17. Por otra parte, García et al. (2010) en su estudio "Ondas cálidas y días calientes en una ciudad árida en el Noroeste de México", afirma que la frecuencia de días calientes por década en verano ha ido aumentando, con una tendencia mayor en Julio y Agosto, meses en los cuales las muertes debido a golpe de calor han sido reportadas. En los años de 2004 a 2007 44 personas han sido víctimas de las altas temperaturas, agrupándose 7 en 2004, 6 en 2005, 29 en 2006 y 7 en 2007. Finalmente, Jaramillo et al. (2011), revisa el registro de 78 pacientes con diagnóstico de golpe de calor en el Hospital General de Mexicali entre 2006 y 2010, teniendo 38 ingresos al servicio de urgencias en 2006, 11 en 2007, 6 en 2008,

12 en 2009 y 9 en 2010; de los cuales 11 fallecieron en 2006, 6 en 2007, 1 en 2008 y 5 en 2009.

## **1.4 Hipótesis**

Las ondas cálidas húmedas aumentan la morbilidad y mortalidad de los habitantes de la ciudad de Mexicali.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General**

- Analizar las ondas cálidas húmedas en el periodo 2000 – 2018 y su relación con la morbilidad y mortalidad de la población de la ciudad de Mexicali.

### **1.5.2 Específicos**

- Cuantificar estadísticamente las ondas cálidas.
- Establecer los umbrales en los que definen una onda cálida húmeda.
- Cuantificar estadísticamente las ondas cálidas húmedas.
- Relacionar la incidencia e identificar en qué medida se intensifica la morbilidad y mortalidad en la población, con respecto a las ondas cálidas húmedas en el periodo 2007 – 2013 y 2016 – 2018.

## Capítulo II – Marco teórico

### 2.1 Área de estudio

La ciudad de Mexicali se caracteriza por ser de las ciudades más cálidas en México, la península de Baja California es dónde se presentan los valores más bajos de precipitación, con 73.3 mm anuales en promedio (CONAGUA, & SMN, 2011). El tipo de clima de acuerdo al Atlas de riesgos naturales y químicos: Ciudad de Mexicali (Ley et al., 2006) es cálido, seco, muy árido con régimen de lluvias de invierno y con una oscilación anual de temperaturas medias mensuales muy extrema; según la modificación de García et al. (2004) a la clasificación climática de Köppen, es del tipo  $BW(h')hs(x')(e')$ .

Donde:

BW es clima de desierto.

$h'$  es muy cálido con temperatura media anual  $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$hs$  es con precipitación de invierno.

$x'$  es con precipitaciones ocasionales, pero intensas, en todas las estaciones.

$e'$  es con oscilación de temperaturas muy extremas  $> 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

De acuerdo con las normales climatológicas 1981-2010 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (2011) Mexicali presenta una temperatura media anual de  $23.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , así como una temperatura media mínima y máxima mensual de  $26.7$  y  $42.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, para el mes de Julio. Sin embargo, tiene una gran variación térmica, en la temporada cálida la temperatura máxima registrada ha sido de  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Julio de 1995, por otra parte, en la temporada fría la temperatura

mínima registrada en la ciudad ha sido de  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Diciembre de 1972 (CONAGUA & SMN, 2001).

## **2.2 Onda cálida**

Desde un enfoque global, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (Stocker, 2014) define la onda cálida como un periodo de tiempo atmosférico anormalmente caluroso o incómodo, que afectan la salud humana a través del estrés térmico, tales como las enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y respiratorias (Kyselý, 2004; Ebi & Meehl, 2007). De igual manera, la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) (1992) la define como un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa y que suele durar de unos días a unas semanas. Sin embargo, la WMO no ha podido definir las ondas cálidas completamente, ya que varían en sus características e impactos incluso en la misma localidad (Kyselý et al., 2000).

En el proyecto europeo (EuroHEAT), Michelozzi et al. (2007) definió una onda cálida para nueve ciudades (Atenas, Barcelona, Budapest, Londres, Milán, Munich, París, Roma y Valencia) utilizando la temperatura aparente máxima, un índice térmico de incomodidad basado en la temperatura del aire y la temperatura de punto de rocío. Define las ondas cálidas como días en los que la temperatura aparente máxima supera el umbral de percentil 90 para cada mes al menos durante dos días consecutivos y continúa mientras la temperatura

aparente máxima sea mayor que su valor medio y la temperatura mínima supera el umbral percentil 90 para cada mes.

Jauregui (2009) expresa que para el caso de la Ciudad de México se ha adoptado 30 °C como valor límite cuando se presente durante tres días consecutivos o más y una temperatura mínima de 25 °C como promedio.

En un estudio realizado por Martínez et al. (2017) para la región del desierto sonorense (Tucson y Phoenix, Arizona, en los Estados Unidos y Ciudad Obregón y San Luis Río Colorado, Sonora y Mexicali, Baja California, en México) y Mojave (Las Vegas, Nevada), define las ondas cálidas cuando durante dos días consecutivos o más supera el umbral de percentil 90 calculado sobre la temperatura máxima promedio mensual.

Para la ciudad de Mexicali, Contreras (2011) define una onda cálida como aquel período de tiempo en que, al menos durante dos días consecutivos o más la temperatura máxima es mayor o igual a 42 °C, y la temperatura mínima es mayor o igual a 29 °C. Para los días en los que se cumplan estos umbrales de temperatura máxima y mínima, se le conocerá como día caliente.

### **2.3 Monzón de Norteamérica**

De manera general la WMO y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) (2012) definen el Monzón como el cambio estacional de la dirección del viento, desde

el mar a la tierra o desde la tierra al mar, asociado con modificaciones extensas de la temperatura y la lluvia en regiones subtropicales.

La ciudad de Mexicali presenta la estación monzónica, que la WMO (1992) define como la época del año en que sopla el Monzón de verano hacia el continente.

Citando a Reyes (2001):

“La palabra Monzón se deriva del vocablo árabe “*mausin*” que significa estación. Los mecanismos para la formación de la circulación Monzónica son prácticamente los mismos que para las brisas comunes de mar y tierra, solo que en este caso las escalas de tiempo y espacio son mucho más grandes y, a diferencia de las brisas, los monzones si pueden perturbar considerablemente la circulación planetaria y, en consecuencia, generar anomalías climáticas de importancia, tales como abundantes precipitaciones, dramáticas sequías, ondas de calor, etc.”

En el Monzón de Norteamérica los vientos soplan del Noroeste durante la estación seca (invierno) y del Sureste durante la estación húmeda (verano) (Robles, 2014).

Según Zamora et al. (2014) en los meses de verano (Julio, Agosto y Septiembre), el desierto de Sonora, que incluye la Península de Baja California, Sonora y Arizona, es peculiar por su calentamiento, y una baja presión atmosférica superficial, lo que favorece la agrupación de masas de aire cálido y húmedo.

Con base en un estudio realizado por Ellis et al. (2004) el inicio de la estación del Monzón para Phoenix se define como el primer día en el que tres días consecutivos o más durante los meses de verano, el punto de rocío medio diario es mayor o igual a 12.8 °C. Cualquier día siguiente que cumpla con este umbral, se clasifica como día Monzónico.

El punto de rocío es el valor al que debe descender la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse (Celemín, 1984). Y se calcula de la siguiente manera:

*Ecuación 1: Temperatura de punto de rocío*

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{HR}{100}} \cdot (110 - T) - 110$$

Donde:

Pr es la temperatura de punto de rocío en grados Celsius.

T es temperatura en grados Celsius.

HR es la humedad relativa entre 0 y 100.

## **2.4 Onda cálida húmeda**

De acuerdo con Russo et al. (2017) una onda cálida se considera húmeda si al menos uno de sus días muestra un índice de calor mayor a la temperatura del bulbo seco.

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos el cálculo del índice de calor es un refinamiento de un resultado obtenido

mediante el análisis de regresión múltiple realizado por Lan P. Rothfus (1990). La ecuación de regresión de Rothfus es:

*Ecuación 2: Temperatura de índice de calor*

$$IC = c_1 + c_2(T) + c_3(HR) + c_4(T)(HR) + c_5(T^2) + c_6(HR^2) + c_7(T^2)(HR) + c_8(T)(HR^2) + c_9(T^2)(HR^2)$$

Donde:

IC es índice de calor en grados Fahrenheit.

T es temperatura en grados Fahrenheit.

HR es la humedad relativa entre 0 y 100.

$c_1 = -42.379$ ;  $c_2 = 2.04901523$ ;  $c_3 = 10.14333127$ ;  $c_4 = -0.22475541$ ;  $c_5 = -6.83783 \times 10^{-3}$ ;

$c_6 = -5.481717 \times 10^{-2}$ ;  $c_7 = 1.22874 \times 10^{-3}$ ;  $c_8 = 8.5282 \times 10^{-4}$ ;  $c_9 = -0.199 \times 10^{-6}$

Sin embargo, la regresión de Rothfus no es válida para condiciones extremas de temperatura y condiciones de humedad relativa.

Existen muchos métodos para la definición de una onda cálida. Otra manera es como la hace Smoyer (1998), con la temperatura aparente, que proporciona una medida de la percepción de la temperatura en función de la temperatura del aire y humedad relativa. Debido a que también involucra la humedad relativa se puede usar para la definición de onda cálida húmeda. El índice incorpora la fisiología humana y la capacidad del cuerpo para disipar el calor. La temperatura aparente, puede ser calculado a partir de la ecuación de Steadman (1979) que fue modificada por Kalkstein y Valimont (1986) para explicar de una manera más sencilla las variaciones de temperatura, temperatura de punto de rocío y velocidad del viento.

*Ecuación 3: Temperatura aparente*  

$$T_{Ap} = 2.719 + 0.994T + 0.016Pr^2$$

Donde:

$T_{Ap}$  es la temperatura aparente en grados Celsius.

$T$  es temperatura en grados Celsius.

$Pr$  es la temperatura de punto de rocío en grados Celsius.

Y para calcular su intensidad se utiliza el índice diario de intensidad de onda cálida donde la intensidad de cada onda cálida es la suma de la intensidad de los días consecutivos que componen la onda cálida. El índice diario se calcula de la siguiente manera:

*Ecuación 4: Índice diario de intensidad de onda cálida*  

$$\text{Índice diario de intensidad de onda cálida} = \frac{T - T_{Q_1}}{T_{Q_3} - T_{Q_1}}$$

Donde:

$T$  es temperatura máxima en grados Celsius.

$T_{Q_1}$  es el primer cuartil de la temperatura máxima en grados Celsius de las normales climatológicas.

$T_{Q_3}$  es el tercer cuartil de la temperatura máxima en grados Celsius de las normales climatológicas.

Del mismo modo se calcula para las ondas cálidas húmedas, reemplazando las temperaturas máximas por temperaturas aparentes máximas. Con ello, es posible conocer la amplificación del efecto de la onda cálida húmeda comparado con la onda cálida.

*Ecuación 5: Índice diario de intensidad de onda cálida húmeda*  

$$\text{Índice diario de intensidad de onda cálida húmeda} = \frac{T_{Ap} - T_{Q_1}}{T_{Q_3} - T_{Q_1}}$$

En el estudio de Smoyer (1998) donde compara la mortalidad asociada a las ondas cálidas de 1980 y 1995 en San Luis, Missouri, utiliza como definición que los días con una TAp > 40.6 °C fueron clasificados como días de onda cálida. Esta definición fue elegida para concordar con las advertencias de onda cálida del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos, las cuales son emitidas cuando la TAp supera los 40.6 °C (105 °F) (NOAA, 1985).

Tabla 2: Efectos de índice de calor (NOAA, 1985)

Temperatura [°C]	Categoría	Efecto
26.7 – 32.2	Precaución	La fatiga es posible con la exposición prolongada y la actividad. Continuando con la actividad podría provocar calambres por el calor.
32.2 – 40.6	Precaución extrema	Los calambres por calor y agotamiento por calor son posibles. Continuando con la actividad podría resultar en un golpe de calor.
40.6 – 54.4	Peligro	Los calambres por calor, agotamiento por calor son probable; continuando con la actividad el golpe de calor es probable.
Más de 54.4	Peligro extremo	Un golpe de calor es inminente

## 2.5 Daños a la salud por temperaturas naturales extremas

### 2.5.1 Morbilidad

Acorde a la clasificación internacional de enfermedades (ICD, por sus siglas en inglés) (WHO, 2004) en su capítulo XIX, titulado “Traumatismos, envenenamientos y algunas otras consecuencias de causas externas (S00–T98)” en el grupo de T66–T78 “Otros efectos y los no especificados de causas externas”, se encuentra la

clasificación “T67 Efectos del calor y de la luz”, en el que clasifican los daños a la salud por temperaturas naturales extremas, de la siguiente manera:

- T67.0 - Síntomas de golpe de calor e insolación;
  - Apoplejía por calor (lesión que sufre una porción del cerebro debido a la interrupción de su flujo sanguíneo, y causa pérdida de la función en la parte del cuerpo).
  - Fiebre por calor.
- T67.1 - Síntomas de síncope por calor;
  - Colapso por calor (pérdida pasajera del conocimiento que va acompañada de una paralización momentánea de los movimientos del corazón y de la respiración).
- T67.2 - Calambre por calor.
- T67.3 - Síntomas de agotamiento por calor, anhidrótico;
  - Postración por calor debida a depleción de agua.
  - Excluye: cuando es debido a depleción de sal (T67.4).
- T67.4 - Síntomas de agotamiento por calor debido a depleción de sal;
  - Postración por calor debida a depleción de sal (y agua).
- T67.5 - Síntomas de agotamiento por calor, no especificado;
  - Postración por calor SAl.
- T67.6 - Fatiga por calor, transitoria.
- T67.7 - Edema por calor (hinchazón en las piernas y las manos, que puede ocurrir cuando usted está sentado o de pie por mucho tiempo en un ambiente caluroso).
- T67.8 - Otros efectos del calor y de la luz.
- T67.9 - Efecto del calor y de la luz, no especificado.

En México, existe un proyecto de norma para la vigilancia epidemiológica (DOF, 2012) en el que se establecen los criterios, especificaciones y directrices de operación del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, para la recolección sistemática, continua, oportuna y confiable de información relevante y necesaria sobre las condiciones de salud de la población y sus determinantes. Por ello, en el Manual de Procedimientos Estandarizados para la Vigilancia Epidemiológica de Daños a la Salud por Temperaturas Naturales Extremas [SVEDSTNE] (Secretaría de Salud, 2012), se establecen las definiciones operacionales para temperaturas altas, en las que clasifican las enfermedades de la siguiente manera:

- Caso por golpe de calor:

Toda persona que, por exposición a temperaturas extremas elevadas, su organismo sea incapaz de disipar el calor y regular la temperatura corporal, puede presentar uno o más de los siguientes signos o síntomas: temperatura corporal mayor o igual a 41 °C, piel seca y congestionada, cefalea, fatiga, sed, náuseas, vómito, somnolencia, espasmos musculares, convulsiones y pérdida de la conciencia. Incluye efectos del calor y de la luz (T67).

- Caso de agotamiento por calor (deshidratación):

Persona que por exposición al calor irradiado por el sol y la incapacidad del organismo para eliminar el calor excedente ocasiona un aumento de la temperatura corporal e insuficiencia de múltiples órganos y que presenta uno o más de los siguientes signos o síntomas: astenia, adinamia, cefalea, náusea,

taquicardia, temperatura corporal de 40 a 41 °C; piel caliente, seca y enrojecida, confusión mental, mucosas secas, saliva filante y llanto sin lágrimas. Incluye efectos del calor y de la luz (T67.3, T67.4 y T67.5).

- Caso por quemadura solar:

Toda persona que por exposición directa a la luz solar presente quemaduras de diversos grados y extensión con uno o más de los siguientes signos y/o síntomas: edema de la piel, eritema, dolor local, aumento de la temperatura corporal, vesículas, ampollas. Incluye quemadura solar de segundo y tercer grado.

## **2.5.2 Mortalidad**

Acorde a la clasificación internacional de enfermedades (ICD, por sus siglas en inglés) (WHO, 2004) en su capítulo XX, titulado “Causas externas de morbilidad y de mortalidad (V01–Y98)” en el grupo de X30–X39 “Exposición a fuerzas de la naturaleza”, se encuentra la clasificación X30 Exposición al calor natural excesivo, en el que clasifican la mortalidad por temperaturas naturales extremas, de la siguiente manera:

- Incluye: calor excesivo como la causa de insolación.
  - Exposición al calor SAI.
- Excluye: calor excesivo de origen artificial (W92.–).

De igual manera, para México se clasifica de la siguiente manera:

- Defunción por golpe de calor;

Toda persona que, como consecuencia de exposición al calor natural extremo, haya muerto y que el médico legista certifica esta situación como causa básica de muerte. Incluye exposición al calor natural excesivo (X10-X30).

## **2.6 Antecedentes**

### **2.6.1 Onda cálida**

Numerosos estudios (Trenberth et al., 2012) han documentado que el cambio climático, inducido por los humanos, ha aumentado la frecuencia y severidad de las ondas cálidas en todo el mundo. Las ondas cálidas ya causan más muertes al año que cualquier otro desastre "natural" en los Estados Unidos (Carlson, 2008). Aproximadamente 400 personas mueren a causa del calor extremo de cada año en dicho país, y el riesgo de ondas cálidas puede aumentar como resultado del cambio climático global (Bernard & McGeehin, 2004).

#### **2.6.1.1 Sistemas de alerta temprana**

Lowe et al. (2011) encontró que 12 países europeos (Bélgica, Francia, Alemania, Hungría, Italia, Yugoslavia, Países bajos, Portugal, Rumania, España, Reino Unido y Suiza) cuentan con sistemas de alerta temprana, donde la mayoría fueron desarrollados por el Ministerio de Salud Nacional, o el Ministerio del medio ambiente, o la colaboración entre éstas y otras instituciones tales como los

servicios meteorológicos o un voluntario de la organización, Cruz Roja, entre otros organismos. Los sistemas de alerta que manejan, utilizan diversos indicadores que incluyen la temperatura máxima, índice de calor, sinópticos (de masas) u otras combinaciones de temperatura y persistencia.

En la ciudad de Murcia, España (García, 2008), la vigilancia del riesgo de temperaturas extremas se lleva a cabo mediante un sistema de monitorización meteorológico con diferentes niveles de alerta y respuesta. Los niveles de alerta, que determinan el riesgo de onda cálida, se establecen en función del número de días que se espera que se vayan a superar simultáneamente los valores umbrales de temperaturas máximas y mínimas calculadas para cada provincia.

### **2.6.2 Monzón de Norteamérica**

En el estudio realizado por Douglas et al. (1993) logra mostrar que un flujo húmedo proveniente del Sur se extiende desde el Océano Pacífico tropical sobre el Golfo de California hasta el Sur de Arizona. De igual manera Robles (2014) por medio de la base de datos de Reanálisis Regional Norteamericano (NARR, por sus siglas en inglés), demuestra el cambio drástico en los vientos y que los valores de temperatura de punto de rocío mayores penetran más al Norte en Julio y Agosto, de ser predominante del Oeste en Mayo a pasar a ser del Este e introduciéndose por la península de Baja California hacia el Golfo de California y en dirección Noreste. Para el mes de Julio la dirección de los vientos es

predominante del Este e introduciéndose hacia el Noreste por la península y el Golfo de California.

### **2.6.3 Onda cálida húmeda**

La co-ocurrencia de días calientes y húmedos simultáneos durante una onda cálida puede afectar seriamente la salud humana. De acuerdo con un estudio realizado por Russo et al. (2017), la estimación de la magnitud de una onda cálida basada sólo en la temperatura puede subestimar su gravedad, ya que la alta humedad durante días calientes consecutivos puede ser un factor que contribuye a amplificar el efecto de las ondas cálidas extremas (Conti et al., 2005; Dematte et al., 1998; Fischer & Knutti, 2013). Para el estrés fisiológico, la humedad relativa es relevante, puesto que describe la capacidad de perder calor a través del enfriamiento evaporativo (Fischer & Schär, 2010; Pal & Eltahir, 2016).

## **2.7 Relación diagnósticos – fenómenos meteorológicos**

Para medir el impacto del calor sobre la salud se ha estudiado la relación de la temperatura y la morbilidad y mortalidad general. Se sabe que esta relación no es lineal, sino que tiene mayor impacto de las temperaturas extremas. En una investigación de García (2008) sobre el efecto del calor sobre el número de urgencias hospitalarias se sabe que tiene un efecto retardado de uno a tres días después de la elevación de las temperaturas.

## Capítulo – III Metodología

En este capítulo se describe el proceso mediante el cual se desarrolló este trabajo, mismo que puede definirse como un estudio ecológico, ya que el sujeto de análisis es un conjunto de personas; con una finalidad descriptiva. Cuenta con una secuencia temporal longitudinal, dado que existe un lapso entre las distintas variables que se evalúan. De acuerdo con la asignación de los factores de estudio, es del tipo observacional, debido a que es no controlado, es decir, se limita a observar, medir y analizar las variables. Finalmente, es un estudio retrospectivo, puesto que los datos se obtienen de registros. (Argimon & Jiménez, 2004).

### 3.1 Recopilación y estandarización de datos

#### 3.1.1 Bases de datos meteorológica

La base de datos con información diezminutal en el periodo de 2000 a 2018, es de la estación meteorológica automática (EMA) de Mexicali de CONAGUA; se encuentra en la zona urbana, con ubicación geográfica en 32°40'00"N Latitud Norte, 115°27'28"W Longitud Oeste. Se cuenta con un 98.56% de la información. El registro de los datos es en horario UTCA.

Para la finalidad de este estudio se utilizan las variables de: dirección de viento, velocidad de viento, temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación y radiación solar. A partir de la temperatura del aire y

la humedad relativa se calculó la temperatura de punto de rocío y la temperatura aparente. La descripción de cada una de las variables se muestra en la Tabla 2. Y la distribución de cada uno de los sensores se muestra en la Figura 1.

Tabla 3: Variables meteorológicas medidas por las EMAs

<b>Variable</b>	<b>Descripción de cómo proporciona los datos la EMA</b>
<b>Dirección del viento</b>	El valor obtenido es el promedio de 10 minutos de la dirección del viento. La dirección indica de donde proviene el viento, su unidad de medición es en grados Dextrorsum (giro en sentido de las manecillas del reloj) donde 0° es Norte verdadero.
<b>Dirección del viento de ráfaga</b>	La dirección del viento de ráfaga es la dirección de donde proviene la ráfaga más intensa en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en grados Dextrorsum (giro en sentido de las manecillas del reloj).
<b>Velocidad del viento</b>	La velocidad del viento es el promedio aritmético de las velocidades medidas en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en km/h.
<b>Velocidad del viento de ráfaga</b>	La velocidad del viento de ráfaga es la máxima velocidad medida en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada 5 s), su unidad de medición es en km/h.
<b>Temperatura ambiente promedio</b>	Es la temperatura ambiente promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en °C.
<b>Humedad relativa</b>	La humedad relativa es el promedio de las mediciones realizadas en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en %.
<b>Presión atmosférica</b>	La Presión atmosférica es el promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es el hpa.
<b>Precipitación</b>	Es la lámina de precipitación acumulada en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es el mm.
<b>Radiación</b>	La radiación solar (global) son los valores promedio medidos en un lapso de 10 minutos (se toman mediciones cada minuto), su unidad de medición es en W/m <sup>2</sup> .

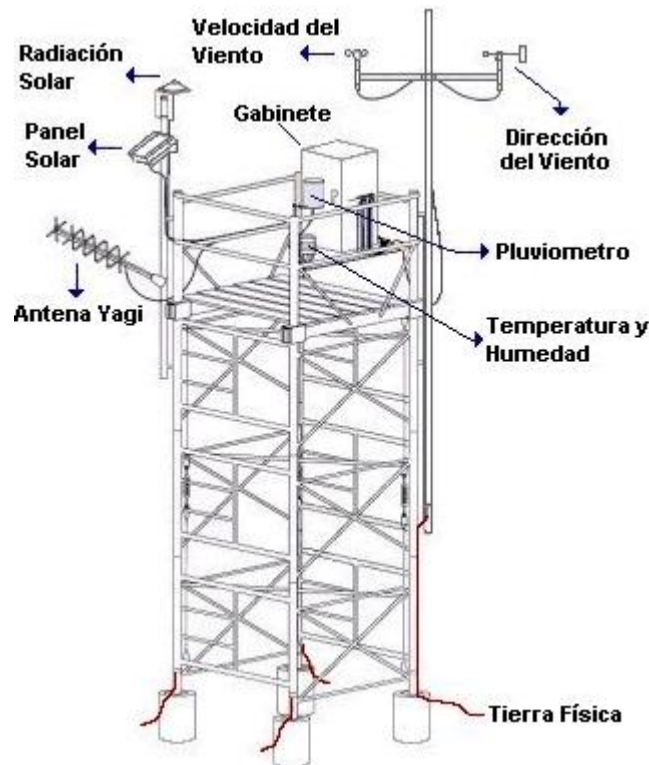


Figura 1: Estación meteorológica automática Fuente: CONAGUA & SMN

### 3.1.2 Bases de datos de salud

Los datos se obtuvieron del departamento de epidemiología del Instituto de Servicios de Salud Pública del Estado de Baja California (ISESALUD), por lo que se tiene información de morbilidad y mortalidad por temperaturas naturales extremas. La información fue proporcionada en formato Excel del periodo de 2007 a 2013 y de 2016 a 2018. En ambos periodos, el número de casos notificados en el respectivo último año se encuentran incompletos. La base de datos del año 2007 a 2013 tiene información de: fecha de ocurrencia, fecha de notificación, fecha de captura, lugar de ocurrencia, localidad, edad, género y comentarios,

en los que se menciona el estado del paciente, diagnóstico y/o defunción. Para el año 2016, se tiene información de: fecha de ingreso, fecha de egreso, fecha de notificación, evolución del paciente, localidad, edad, género, diagnóstico y defunción. Para 2017 y 2018, se tiene información de: fecha de ingreso, fecha de egreso, fecha de notificación, evolución del paciente, lugar de ocurrencia, localidad, hospital, edad, género, diagnóstico, defunción y comentarios, en los que se menciona el estado del paciente. Al tener distinta información en cada base de datos, para la finalidad de esta investigación se utilizan las variables de: fecha de ocurrencia, edad, género, diagnóstico y defunción.

## **3.2 Procesamiento de datos**

### **3.2.1 Sintetización de bases de datos meteorológicas**

Dado que las bases de datos de CONAGUA son diezminutales, se sintetizó la información a datos horarios, calculando máximos, mínimos, desviación estándar y promedios de cada variable, excepto para precipitación, que en lugar de promedios se obtienen sumatorias. Para la dirección de viento es distinto, ya que es un vector, la dirección en grados Dextrorsum se convierte en secciones de rosa de los vientos, dejando ocho secciones y sacando así máximos, mínimos, moda y desviación estándar. Lo anterior se realizó mediante un macro elaborado en Excel, esto con el objetivo de identificar los fenómenos de Onda Cálida, Monzón de Norteamérica y Onda Cálida Húmeda, ya que los umbrales para éstos son con variables diarias.

### **3.2.2 Análisis de la calidad de la información**

Se realizó el análisis de calidad de la información que consistió en: detección de errores en los datos, como verificación que el valor mínimo fuera inferior al valor máximo, valores fuera de su intervalo, como precipitación o radiación solar negativa, humedad relativa negativa o mayor a 100 o dirección de viento negativa o mayor a 360 y valores extremos. Para la identificación de valores extremos, se estableció tres veces la desviación estándar del valor diario, ya que con esto se conserva el 99.73% de la información. Con el objetivo de comprobar si esos valores extremos eran incongruentes, se revisó el registro histórico de estaciones cercanas y se corroboró si se trató una medición correcta o no.

### **3.2.3 Análisis exploratorio de la información**

Para conocer cómo se comportan las variables meteorológicas en cada sitio, éstas se analizaron con estadística descriptiva, esto con el fin de sintetizar la información mediante descripciones numéricas. Este proceso fue muy sencillo y útil para la exploración de la información, en este estudio se realizó para las variables de temperatura de aire, temperatura aparente y temperatura de punto de rocío mediante el software STATISTICA 12, en el que se obtienen estadísticos de tendencia central, tales como: media aritmética, mediana y moda. Además, estadísticos de variabilidad como: varianza y desviación

estándar y los estadísticos de forma: sesgo y curtosis, percentil 90, histogramas de frecuencia y gráficas de caja y ejes. Los datos se analizaron de manera horaria.

### **3.3 Análisis de los fenómenos meteorológicos**

#### **3.3.1 Ondas Cálidas**

Con el estudio realizado anteriormente por Contreras (2011) en el que se estableció la definición local para una onda cálida se identificó la frecuencia y duración de este fenómeno para la ciudad de Mexicali. Así mismo, en el estudio realizado por Russo et al. (2017) se identificó la intensidad de las ondas cálidas por medio del índice diario de intensidad de ondas cálidas (Ecuación 4).

#### **3.3.2 Monzón de Norteamérica**

Para verificar que el umbral establecido por Ellis et al. (2004) en Phoenix, Arizona, utilizado para la identificación de los días monzónicos se pudiera emplear para Mexicali, se elaboró un diagrama de rosa de los vientos para observar si la dirección predominante del viento durante esos días era del Sureste. Sabiendo esto, se procedió a identificar los días monzónicos para la ciudad de Mexicali, por lo que se pudo identificar la duración y frecuencia del Monzón de Norteamérica.

### **3.3.3 Ondas Cálidas Húmedas**

Para determinar las ondas cálidas húmedas, se utilizó el criterio de temperatura aparente máxima mayor o igual a 40.6 °C utilizado por Smoyer (1998) acorde a las advertencias de onda cálida del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos que clasifica estas condiciones como peligrosas. Del mismo modo, se agrega que la temperatura aparente mínima sea mayor o igual a 32.2 °C donde se clasifica como precaución extrema. Esto, debido a que la población en Mexicali no solo se encuentra expuesta cuando se presentan las temperaturas máximas, o sea durante el día; sino también durante la noche, especialmente las personas socialmente aisladas, provocando que su cuerpo no se alcance a recuperar para las condiciones extremas del día siguiente.

Finalmente, éstas deben de permanecer durante dos días consecutivos o más. Bajo este criterio se identificó la duración y frecuencia de las ondas cálidas húmedas para la ciudad de Mexicali. Del mismo modo, con el estudio realizado por Russo et al. (2017), remplazando la temperatura máxima por temperatura aparente máxima, se identificó la intensidad de las mismas por medio del índice diario de intensidad de ondas cálidas (Ecuación 4).

### **3.4 Análisis de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas**

De acuerdo con la base de datos proporcionada por ISESALUD, se identificó la frecuencia anual, mensual y semanal de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas, así como su distribución por: defunción, etapa de vida,

género y diagnóstico. Por parte de la información recabada en los boletines epidemiológicos, sólo se identificó la frecuencia anual de los diagnósticos.

### **3.5 Relación diagnósticos – fenómenos meteorológicos**

Con la información proporcionada del sector salud y la base de datos meteorológica, se identificaron los casos en los que exista coincidencia de onda cálida y onda cálida húmeda. De acuerdo con la investigación de García (2008) en la que se demuestra que hay un efecto retardado de uno a tres días después de la elevación de las temperaturas, se identificó si el día de ocurrencia del padecimiento o hasta tres días antes de éste ocurrió alguno de los fenómenos en estudio, es decir, día caliente, monzónico o caliente húmedo, esto con el fin de identificar la repercusión que tiene cada uno de estos fenómenos.

## Capítulo IV – Resultados

En este capítulo se discuten los resultados obtenidos, con base en la metodología mencionada en el capítulo anterior.

### 4.1 Estandarización de datos

#### 4.1.1 Bases de datos meteorológica

Para la estandarización de las bases de datos, se decidió utilizar un formato en Excel como el que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Porción de base de datos meteorológica, en intervalos diezminutales

fecha	Dirección de Viento	Rapidez de Viento	Temperatura del aire	Humedad relativa	Temperatura de punto de rocío	Precipitación	Temperatura aparente	Radiación solar
5/1/2000 0:00	7	3.58	34.1	9	-3.35	0.00	36.79	484
5/1/2000 0:10	7	4.03	33.9	9	-3.50	0.00	36.61	448
5/1/2000 0:20	8	3.86	33.9	9	-3.50	0.00	36.61	411
5/1/2000 0:30	8	3.50	33.8	9	-3.58	0.00	36.52	373
5/1/2000 0:40	8	3.69	33.5	9	-3.80	0.00	36.25	334
5/1/2000 0:50	7	3.47	33.3	9	-3.95	0.00	36.07	297
5/1/2000 1:00	8	2.75	33.3	9	-3.95	0.00	36.07	259
5/1/2000 1:10	7	2.94	33.5	9	-3.80	0.00	36.25	220
5/1/2000 1:20	7	3.08	33.7	9	-3.65	0.00	36.43	182
5/1/2000 1:30	7	2.69	33.7	9	-3.65	0.00	36.43	145
5/1/2000 1:40	7	2.19	33.5	9	-3.80	0.00	36.25	110
5/1/2000 1:50	7	1.47	33.5	9	-3.80	0.00	36.25	77
5/1/2000 2:00	7	1.67	33.4	9	-3.87	0.00	36.16	48
5/1/2000 2:10	7	1.22	33	9	-4.17	0.00	35.80	21
5/1/2000 2:20	7	1.78	32.3	10	-3.29	0.00	35.00	4
5/1/2000 2:30	7	2.44	31.7	10	-3.74	0.00	34.45	0
5/1/2000 2:40	6	2.28	31.2	10	-4.11	0.00	34.00	0
5/1/2000 2:50	6	1.94	30.8	11	-3.15	0.00	33.49	0
5/1/2000 3:00	6	2.31	30.6	11	-3.30	0.00	33.31	0
5/1/2000 3:10	6	2.19	30.5	11	-3.38	0.00	33.22	0
5/1/2000 3:20	6	2.17	30.2	12	-2.44	0.00	32.83	0
5/1/2000 3:30	6	2.61	30	12	-2.59	0.00	32.65	0

### 4.1.2 Bases de datos de salud

La información proporcionada por ISESALUD fue en formato Excel, solamente se necesitó agrupar las distintas bases de datos en un solo formato de registro, tal como se muestra en la Tabla 5.

*Tabla 5: Porción de base de datos de casos de daños a la salud por temperaturas naturales extremas*

Fecha	Edad	Género	Caso	Defunción
15 de mayo de 2007	30	M	Golpe de calor	
30 de mayo de 2007	27	M	Agotamiento por calor	
8 de junio de 2007	30	M	Agotamiento por calor	
10 de junio de 2007	54	F	Agotamiento por calor	
12 de junio de 2007	54	M	Agotamiento por calor	
13 de junio de 2007	81	F	Agotamiento por calor	
21 de junio de 2007	82	M	Agotamiento por calor	
29 de junio de 2007	17	M	Agotamiento por calor	
2 de julio de 2007	61	M	Agotamiento por calor	
2 de julio de 2007	10	M	Agotamiento por calor	
2 de julio de 2007	43	M	Agotamiento por calor	
3 de julio de 2007	39	M	Agotamiento por calor	
3 de julio de 2007	81	M	Agotamiento por calor	
5 de julio de 2007	44	M	Agotamiento por calor	
18 de julio de 2007	57	F	Agotamiento por calor	
26 de julio de 2007	20	M	Agotamiento por calor	
30 de julio de 2007	40	M	Golpe de calor	
16 de agosto de 2007	59	M	Agotamiento por calor	
17 de agosto de 2007	56	M	Agotamiento por calor	

## 4.2 Procesamiento de datos

### 4.2.1 Sintetización de bases de datos meteorológicas

Al ingresar las bases de datos estandarizadas el macro de Excel proporciona los estadísticos básicos en intervalos horarios y diarios, como se muestran en las Tablas 6 y 7, respectivamente.

Tabla 6: Porción de base de datos meteorológica, en intervalos horarios

Fecha	Dirección Viento				Rapidez Viento				Temperatura Aire				Humedad Relativa			
	Min.	Max.	Mod.	Dsv.St.	Min.	Max.	Prom.	Dsv.St.	Min.	Max.	Prom.	Dsv.St.	Min.	Max.	Prom.	Dsv.St.
1 de mayo de 2000 00:00	7.00	8.00	7.00	0.41	3.47	4.03	3.69	0.22	33.30	34.10	33.75	0.29	9.00	9.00	9.00	0.00
1 de mayo de 2000 01:00	6.00	7.00	7.00	0.52	1.47	3.08	2.52	0.60	33.30	33.70	33.53	0.15	9.00	9.00	9.00	0.00
1 de mayo de 2000 02:00	6.00	6.00	6.00	0.00	1.22	2.44	1.89	0.44	30.80	33.40	32.07	1.02	9.00	11.00	9.83	0.75
1 de mayo de 2000 03:00	6.00	6.00	6.00	0.00	2.17	2.61	2.38	0.19	29.60	30.60	30.13	0.38	11.00	12.00	11.67	0.52
1 de mayo de 2000 04:00	6.00	7.00	6.00	0.41	2.36	2.89	2.60	0.18	29.00	29.30	29.15	0.14	11.00	12.00	11.83	0.41
1 de mayo de 2000 05:00	3.00	7.00	6.00	1.64	2.11	3.42	3.12	0.50	28.10	29.10	28.65	0.36	11.00	16.00	13.33	1.97
1 de mayo de 2000 06:00	1.00	8.00	2.00	2.56	0.50	2.22	1.31	0.68	25.30	27.50	26.35	0.88	17.00	20.00	18.83	1.17
1 de mayo de 2000 07:00	7.00	8.00	7.00	0.41	0.97	1.94	1.49	0.38	24.00	25.30	24.70	0.48	19.00	23.00	20.83	1.47
1 de mayo de 2000 08:00	7.00	8.00	8.00	0.41	1.86	2.75	2.35	0.31	24.00	24.50	24.32	0.18	24.00	25.00	24.17	0.41
1 de mayo de 2000 09:00	7.00	8.00	8.00	0.55	2.00	3.00	2.44	0.36	23.00	24.90	24.10	0.72	23.00	27.00	24.83	1.47
1 de mayo de 2000 10:00	7.00	8.00	7.00	0.41	1.44	2.89	2.24	0.66	21.30	22.10	21.67	0.29	28.00	30.00	28.67	0.82
1 de mayo de 2000 11:00	7.00	7.00	7.00	0.00	2.64	3.64	3.16	0.39	21.80	22.10	21.93	0.10	27.00	28.00	27.17	0.41
1 de mayo de 2000 12:00	8.00	8.00	8.00	0.00	2.83	3.19	3.04	0.16	20.90	22.20	21.55	0.45	26.00	28.00	27.17	0.75

Tabla 7: Porción de base de datos meteorológica, en intervalos diarios

Fecha	Dirección Viento				Rapidez Viento				Temperatura Aire				Humedad Relativa			
	Min.	Max.	Mod.	Dsv.St.	Min.	Max.	Prom.	Dsv.St.	Min.	Max.	Prom.	Dsv.St.	Min.	Max.	Prom.	Dsv.St.
5/1/2000	1.00	8.00	2.00	2.71	0.50	4.19	2.71	0.72	20.60	36.60	28.88	5.19	9.00	33.00	18.76	7.36
5/2/2000	1.00	8.00	5.00	2.12	0.53	4.25	2.17	0.81	21.50	39.80	30.82	5.55	10.00	28.00	17.78	4.74
5/3/2000	2.00	6.00	4.00	0.81	0.72	6.00	2.93	1.05	20.80	39.00	29.79	6.18	11.00	45.00	24.53	9.72
5/4/2000	2.00	5.00	4.00	0.57	1.22	4.86	3.33	0.75	19.80	38.00	29.07	5.70	16.00	69.00	37.64	15.00
5/5/2000	1.00	8.00	4.00	1.08	1.25	5.31	3.03	0.95	20.30	37.60	28.83	5.49	18.00	57.00	35.07	12.49
5/6/2000	1.00	8.00	8.00	2.61	0.72	8.64	3.59	1.78	18.70	36.40	27.94	5.38	14.00	43.00	24.35	8.01
5/7/2000	1.00	8.00	7.00	1.72	0.67	8.75	3.99	2.27	21.20	35.60	28.71	4.83	17.00	41.00	23.36	5.57
5/8/2000	1.00	8.00	7.00	2.50	1.19	9.78	6.11	2.05	22.00	34.40	27.90	3.73	22.00	49.00	34.34	6.71
5/9/2000	1.00	8.00	8.00	2.95	0.75	7.69	3.12	1.58	19.60	39.00	28.12	5.83	17.00	62.00	37.58	12.80
5/10/2000	1.00	8.00	4.00	1.58	1.36	12.25	5.02	2.98	21.50	38.30	29.54	5.26	14.00	79.00	39.56	23.26
5/11/2000	1.00	8.00	8.00	2.96	4.31	14.25	9.16	2.52	17.50	32.80	23.30	3.53	14.00	45.00	24.39	7.25
5/12/2000	1.00	8.00	8.00	3.16	1.56	7.25	3.95	1.12	15.20	30.30	22.87	4.53	9.00	46.00	28.65	11.69
5/13/2000	1.00	8.00	8.00	2.99	0.50	4.89	2.74	0.77	16.30	33.40	25.59	5.44	9.00	31.00	17.27	5.85

#### 4.2.2 Análisis de la calidad de la información

Para Mexicali, el análisis de calidad de la información con un criterio de tres veces la desviación estándar del valor diario, se realizó para las temperaturas del aire y de punto de rocío, presentado en la Tabla 8, con el cual se obtuvo la siguiente información (Tabla 9).

Tabla 8: Porción de análisis de la calidad de la información de temperatura para Mexicali

year	month	day	tmaxlow	tmax	tmaxup	tminlow	tmin	tminup	dtrlow	dtr	dtrup
2000	9	2	34.26	<b>34.9</b>	49.41	17.86	<b>16.7</b>	37.45	6.39	<b>18.2</b>	21.96
2003	6	24	34.15	<b>35.7</b>	49.27	17.67	<b>17.1</b>	32.67	10.55	<b>18.6</b>	22.54
2003	9	16	28.95	<b>41.7</b>	49.67	10.8	<b>38.3</b>	39.6	4.26	<b>3.4</b>	23.95
2008	6	15	33.28	<b>42.5</b>	48.6	15.74	<b>35</b>	34.17	7.45	<b>7.5</b>	24.51
2008	6	23	34.72	<b>45.2</b>	49.32	13.06	<b>37.5</b>	37.55	8.05	<b>7.7</b>	25.38
2008	7	11	32.95	<b>37.3</b>	50.5	20.39	<b>31.1</b>	35.27	6.51	<b>6.2</b>	21.27
2008	8	15	35.67	<b>41.4</b>	48.79	21.89	<b>32.9</b>	34.95	8.65	<b>8.5</b>	18.97
2009	5	2	23.33	<b>32.2</b>	45.4	8.52	<b>24.3</b>	27.56	8.19	<b>7.9</b>	24.45
2009	5	20	28.35	<b>40.1</b>	47.26	9.34	<b>32</b>	33.35	8.84	<b>8.1</b>	24.08
2009	5	21	22.96	<b>37.4</b>	50.22	7.85	<b>31.8</b>	35.57	6.42	<b>5.6</b>	23.34
2009	7	19	34.12	<b>45.1</b>	50.63	20.79	<b>36.8</b>	36.8	6.65	<b>8.3</b>	20.51
2009	8	22	33.5	<b>38.3</b>	49.22	17.84	<b>36.1</b>	37.26	3	<b>2.2</b>	24.62
2012	8	17	35.75	<b>36</b>	48.95	22.4	<b>27.4</b>	34.62	8.98	<b>8.6</b>	18.69
2013	8	25	32.07	<b>31.9</b>	51.14	20.11	<b>24.6</b>	35.74	5.79	<b>7.3</b>	21.56
2013	8	30	31.72	<b>35.3</b>	52.03	17.53	<b>27.9</b>	37.33	7.69	<b>7.4</b>	21.2
2015	9	10	31.4	<b>35</b>	45.71	15.43	<b>30.3</b>	33.58	5.44	<b>4.7</b>	22.65

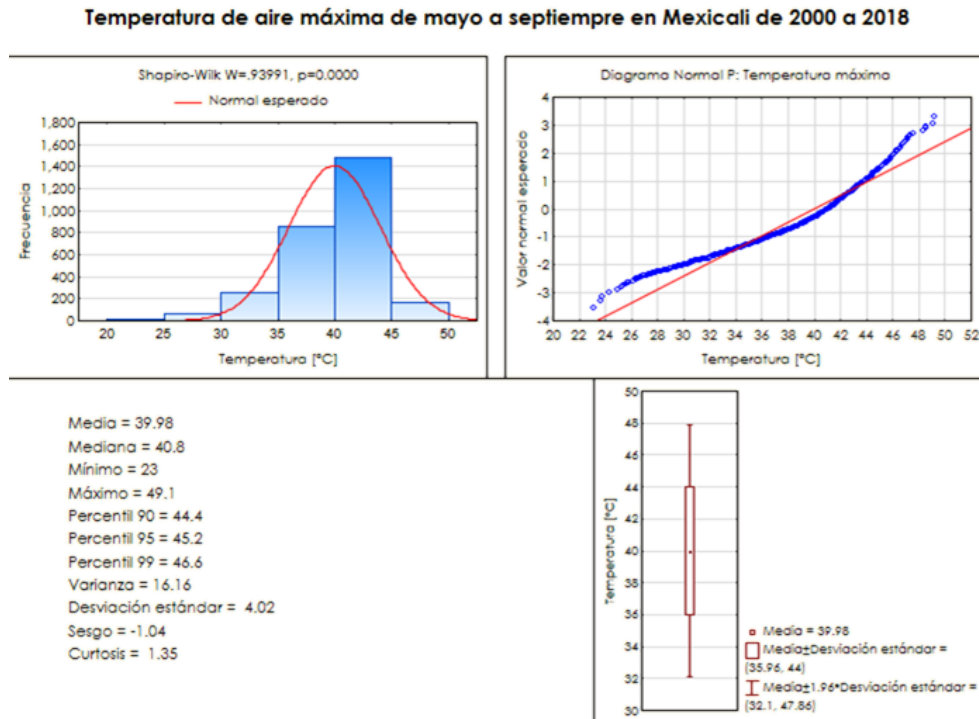
Tabla 9: Resumen del análisis de calidad de la información de temperatura de aire y de punto de rocío para Mexicali

Variable	
Período analizado	(2000 – 2018) = 19 años
Porcentaje de información	98.56%
Datos disponibles	2,865
Datos fuera de $\pm 3\sigma$	48
Datos disponibles	2,835   98.95%

### 4.2.3 Análisis exploratorio de la información

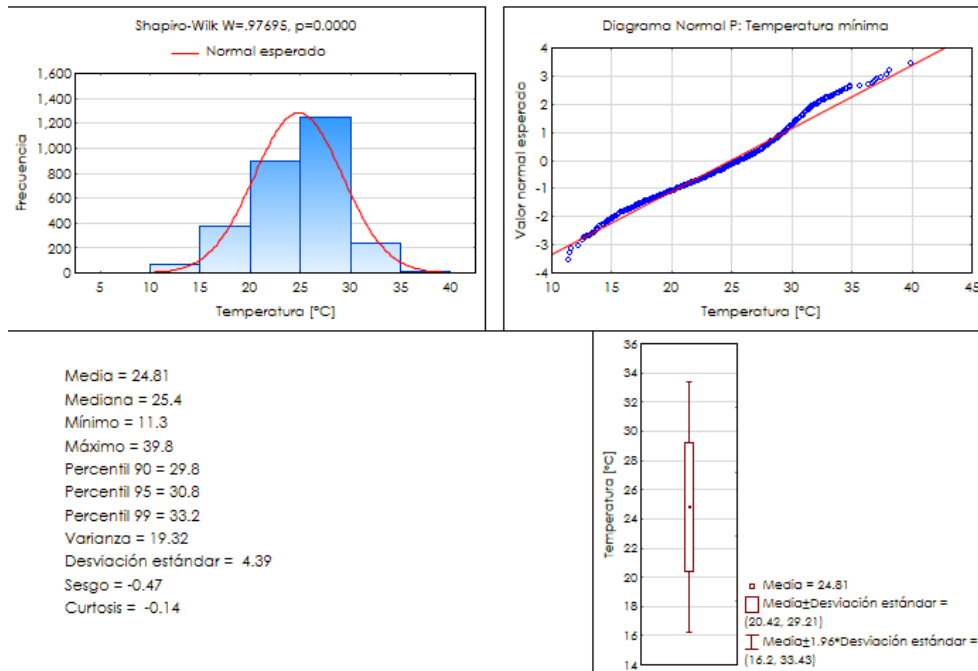
El análisis estadístico descriptivo se realizó en el periodo de 2000 a 2018 de temperatura de aire y temperatura aparente, máxima y mínima y temperatura de punto de rocío media diaria, de los meses de Mayo a Septiembre. En las Gráficas 1 a 5 se exponen las temperaturas de aire y aparentes, máximas y mínimas y de punto de rocío media, respectivamente. También se muestra el análisis de los histogramas de frecuencias y los gráficos de probabilidad normal

y de cajas y ejes, así como estadísticos de tendencia central, estadísticos de variabilidad, estadísticos de forma y percentil 90, 95 y 99.



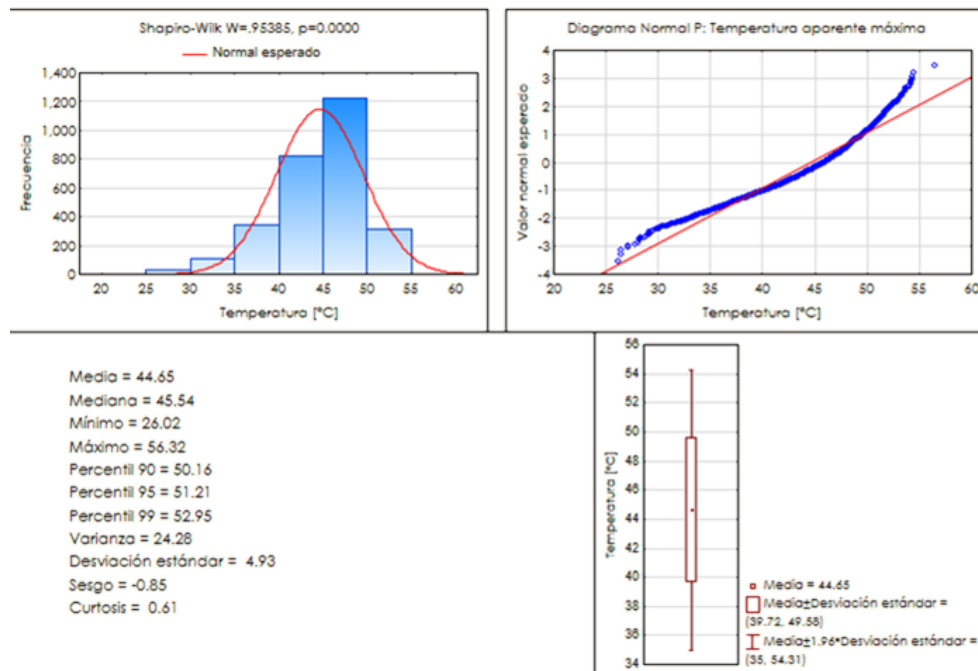
Gráfica 1: Análisis gráfico-estadístico de temperatura de aire máxima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018

**Temperatura de aire mínima de mayo a septiembre en Mexicali de 2000 a 2018**



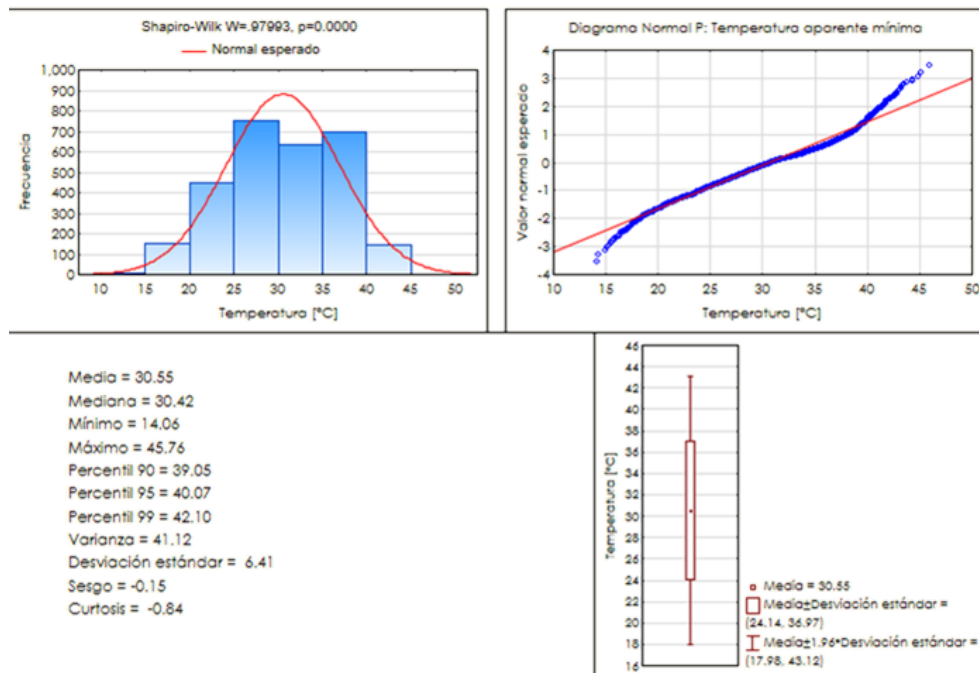
Gráfica 2: Análisis gráfico-estadístico de temperatura de aire mínima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018

**Temperatura aparente máxima de mayo a septiembre en Mexicali de 2000 a 2018**



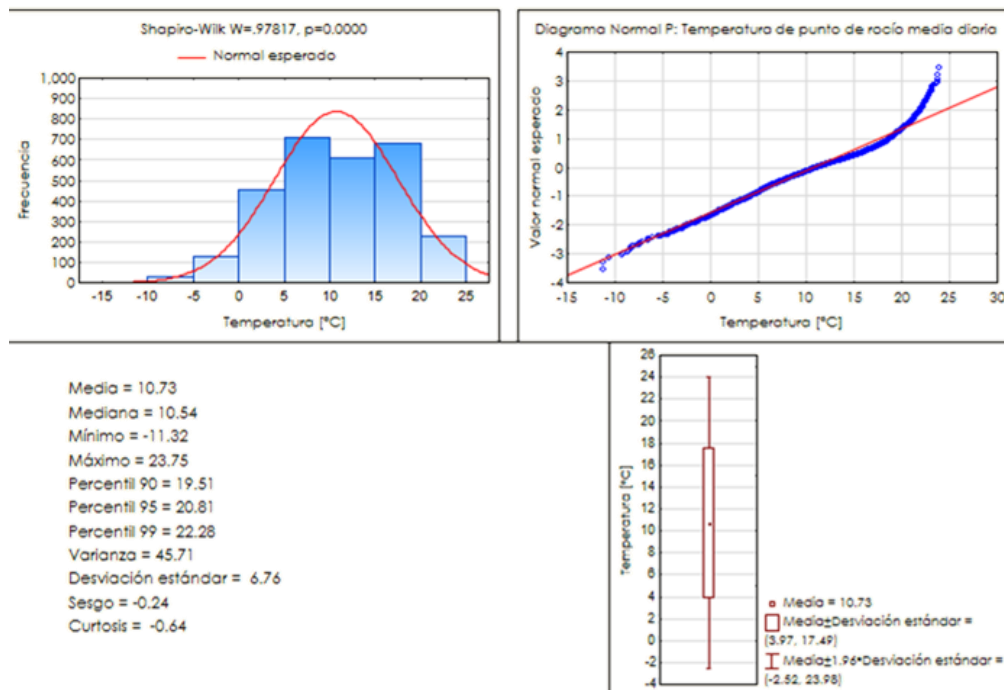
Gráfica 3: Análisis gráfico-estadístico de temperatura aparente máxima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018

**Temperatura aparente mínima de mayo a septiembre en Mexicali de 2000 a 2018**



Gráfica 4: Análisis gráfico-estadístico de temperatura aparente mínima de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018

**Temperatura de punto de rocío media de mayo a septiembre en Mexicali de 2000 a 2018**



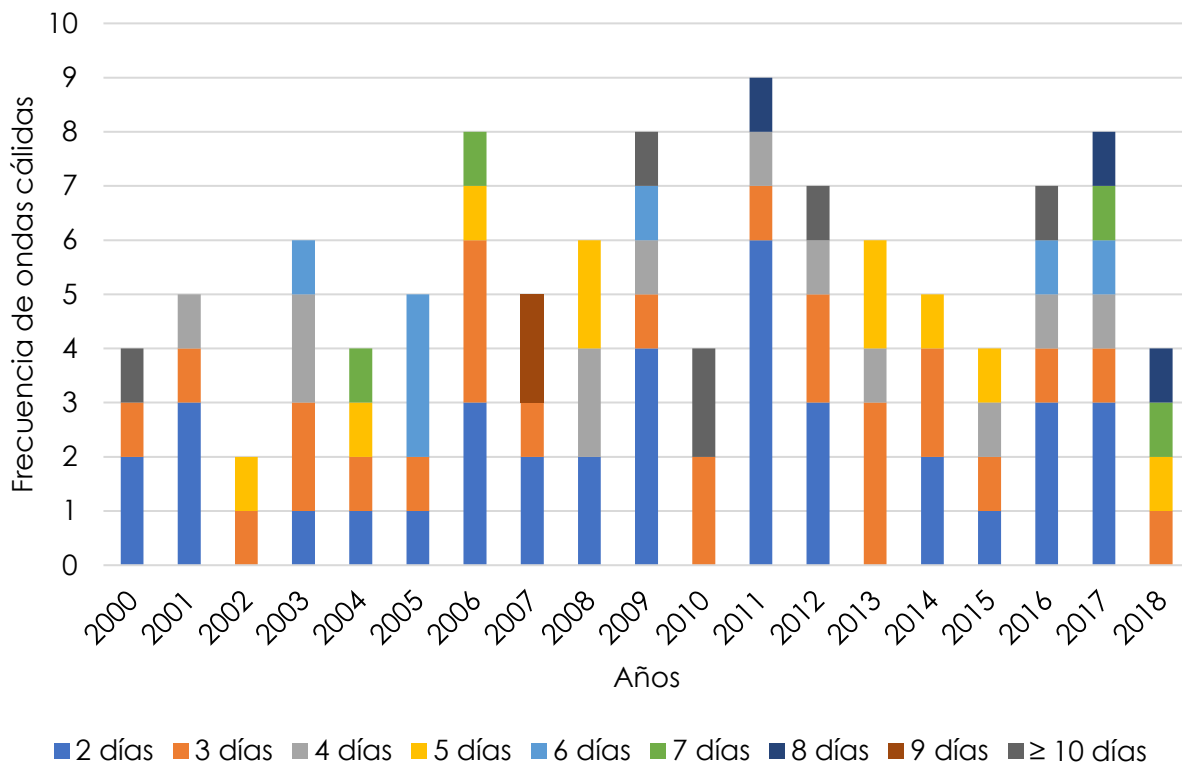
Gráfica 5: Análisis gráfico-estadístico de temperatura de punto de rocío media de Mayo a Septiembre de 2000 a 2018

### **4.3 Análisis de los fenómenos meteorológicos**

#### **4.3.1 Ondas Cálidas**

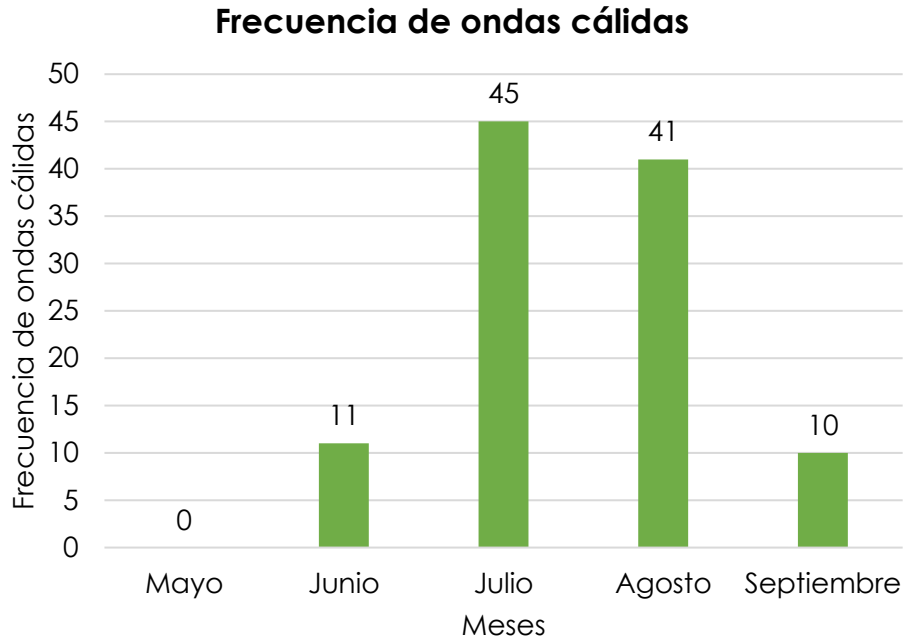
En la Gráfica 6 se presenta la duración y frecuencia de las ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018, durante este periodo sucedieron seis ondas cálidas con una duración mayor a diez días consecutivos, la primera de ellas en 2000 con una duración de diez días consecutivos, sin embargo, no se desarrolló otra hasta 2009 con una duración de 14 días consecutivos, a partir de ahí las ondas cálidas con mayor duración ocurrieron en intervalos de tiempo más cortos. En 2010, se desarrollaron dos ondas cálidas de este tipo, una con una duración de 12 días consecutivos y otra de 11 días. En 2012, sucedió una onda cálida de 11 días consecutivos y en 2016 una de diez días consecutivos.

### Duración y frecuencia de ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018



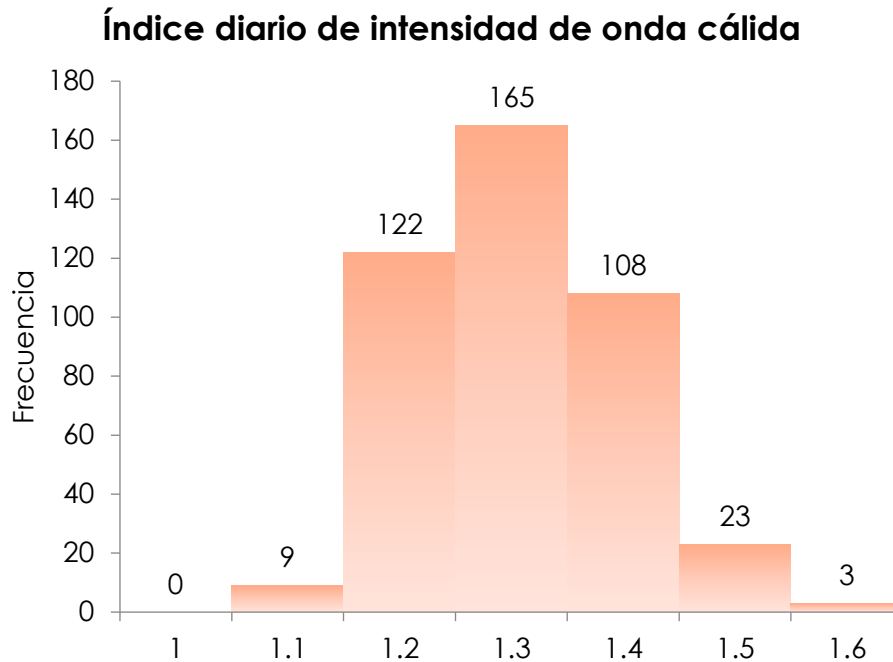
Gráfica 6: Duración y frecuencia de ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018

En la Gráfica 7 se aprecia la frecuencia de las ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018 a través de los meses. El mes en el que se han presentado más ondas cálidas es en Julio con una frecuencia de 45 ondas cálidas, que representan un 42.06% del total de ondas cálidas; enseguida está Agosto con una frecuencia de 41 ondas cálidas, que representan un 38.32%; en Mayo no se han presentado ondas cálidas, sin embargo, sí se tienen casos de afectaciones a la salud por temperaturas naturales extremas.



Gráfica 7: Frecuencia mensual de ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018

Al calcular el índice diario de intensidad de onda cálida (Ecuación 4) y elaborar un histograma (Gráfica 8) con cada uno de los 430 con onda cálida, se obtuvo que la mayor frecuencia fue de 165 días con un índice diario de intensidad de 1.2 a 1.3, representando un 38.37% del total, esto significa que la temperatura máxima de la onda cálida oscila entre los 43.3 y 45 °C.

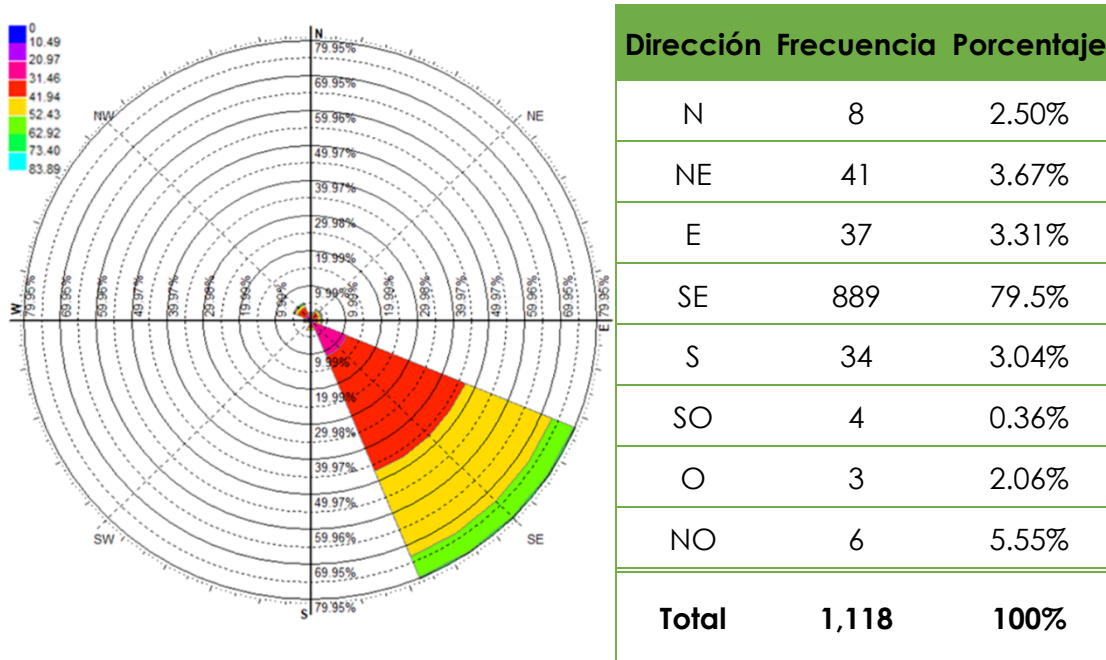


Gráfica 8: Índice diario de intensidad de onda cálida en Mexicali de 2000 a 2018

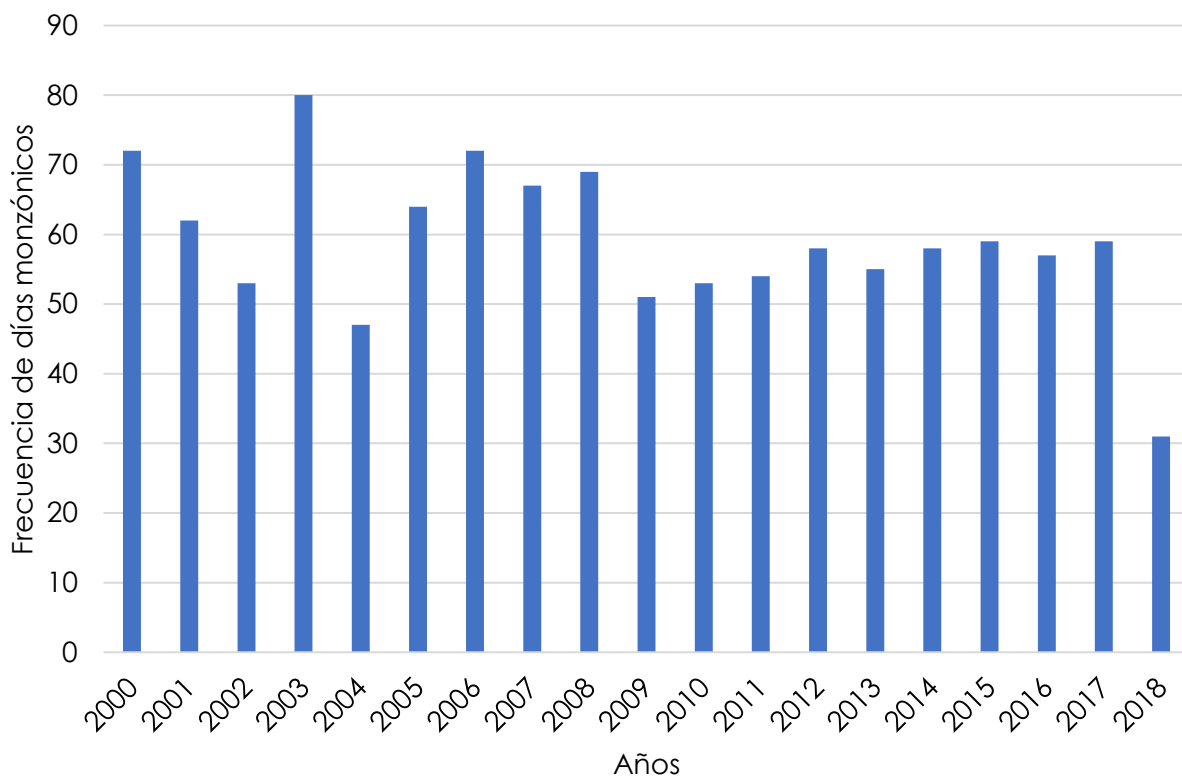
### 4.3.2 Monzón de Norteamérica

Con la elaboración de la rosa de los vientos ilustrada en la Tabla 10 se corrobora la definición de Ellis et al. (2004) para el Monzón de Norteamérica. A partir de ahí, se identificaron los días monzónicos y se calculó la frecuencia anual de los mismos, como se aprecia en la Gráfica 9. De manera general todos los años se comportan muy similar, con un promedio de 61 días monzónicos anuales y una desviación estándar de 8.6 días, a excepción de 2018 que tiene 31 días monzónicos, disminuyendo el promedio a 59 días monzónicos y ampliando la desviación estándar a 10.8 días.

Tabla 10: Rosa de los vientos (Humedad relativa – Dirección de viento) y distribución durante los días monzónicos en Mexicali de 2000 a 2018



Frecuencia de días monzónicos en Mexicali de 2000 a 2018



Gráfica 9: Frecuencia de días monzónicos en Mexicali de 2000 a 2018

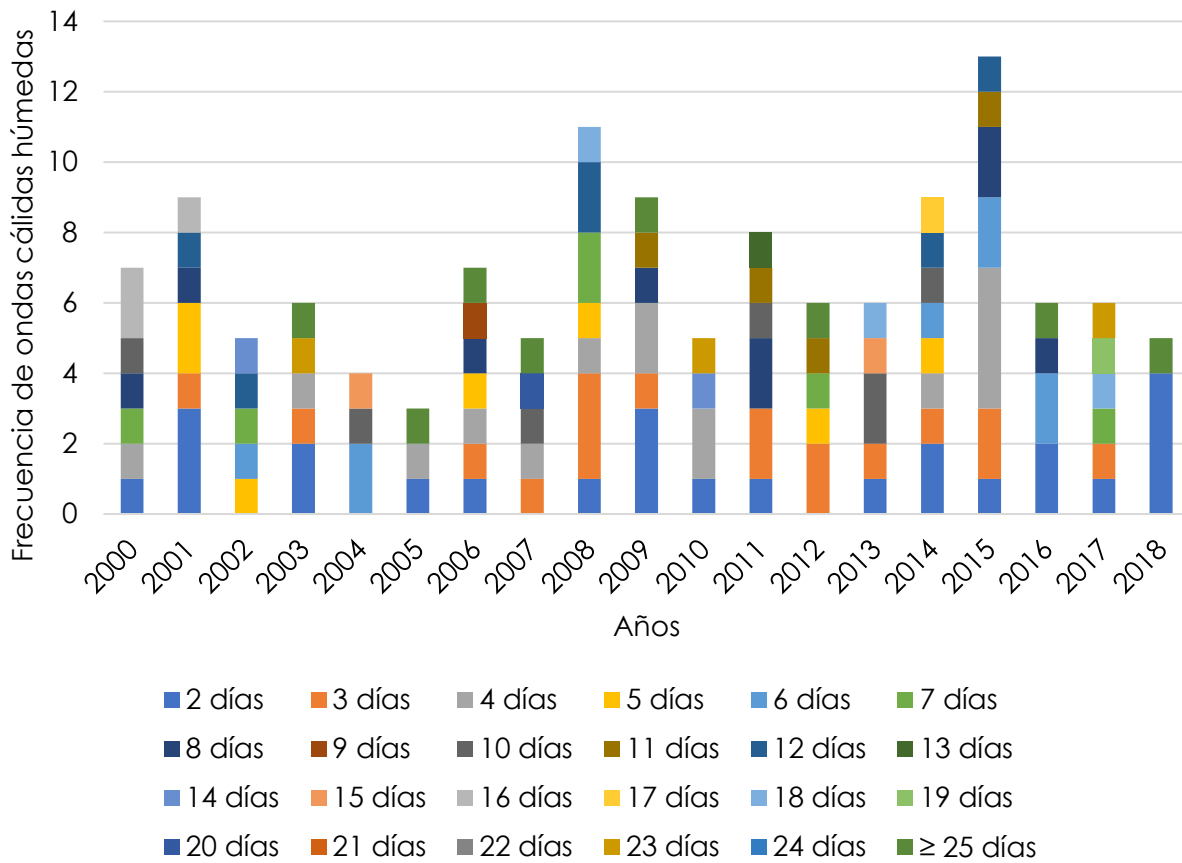
### 4.3.3 Ondas cálidas húmedas

La Gráfica 10 presenta la duración y frecuencia de las ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018, en ella se aprecia un comportamiento de tipo ondulatorio, en el que obtienen sus picos con 9, 11 y 13 ondas cálidas húmedas para 2001, 2008 y 2015, respectivamente. Por otra parte, observando la duración, se presentan ocho ondas cálidas húmedas con una duración mayor a 25 días consecutivos. Éstas sucedieron a partir de 2003, aproximadamente cada dos años, a excepción de 2006 donde también ocurrió una de 38 días consecutivos y 2014 donde la duración máxima fue de 17 días consecutivos. La duración de estas ondas cálidas húmedas se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Años con ondas cálidas húmedas con una duración mayor a 25 días consecutivos en Mexicali de 2000 a 2018

<b>Año</b>	<b>Días consecutivos</b>
<b>2003</b>	32
<b>2005</b>	51
<b>2006</b>	38
<b>2007</b>	31
<b>2009</b>	27
<b>2012</b>	35
<b>2016</b>	39
<b>2018</b>	31

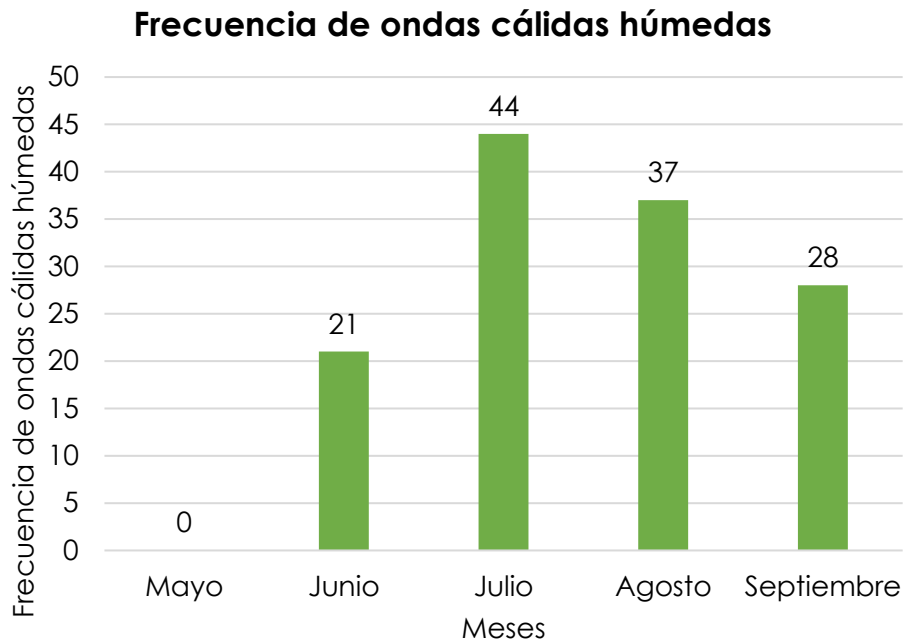
### Duración y frecuencia de ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018



Gráfica 10: Duración y frecuencia de ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018

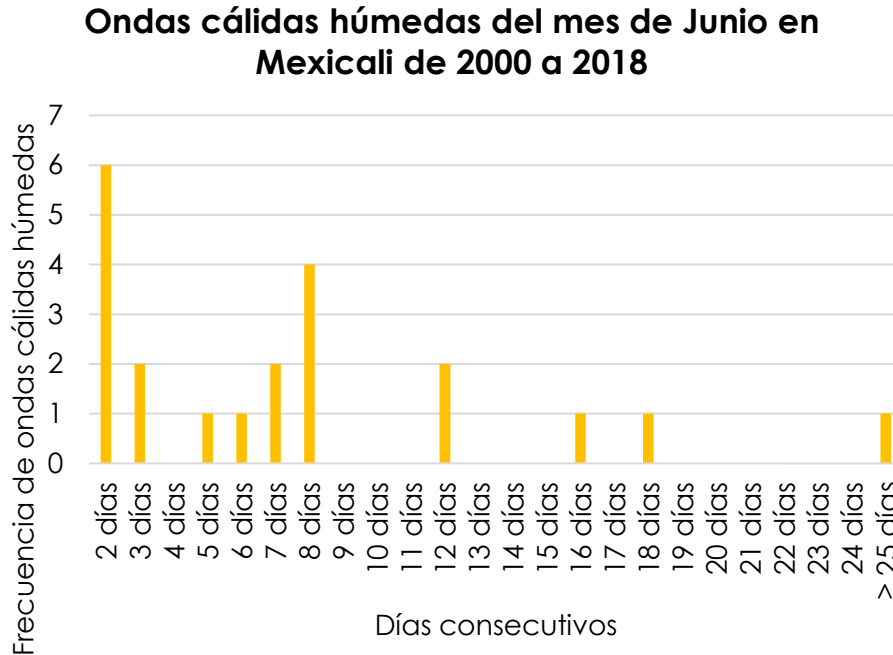
La Gráfica 11 muestra la frecuencia de las ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018 a través de los meses. El mes en el que se han presentado más ondas cálidas sigue siendo en Julio con una frecuencia de 44 ondas cálidas húmedas, sin embargo, representa un porcentaje menor comparándolo con el de ondas cálidas, siendo éste 33.85% del total de ondas cálidas húmedas; enseguida está Agosto con una frecuencia de 37 ondas cálidas húmedas, que representan un 28.46%, para este mes también fue menor comparándolo con

ondas cálidas; por otra parte, para los meses de Junio y Septiembre la cantidad de ondas cálidas húmedas aumentó más de dos veces su frecuencia comparado con las ondas cálidas.



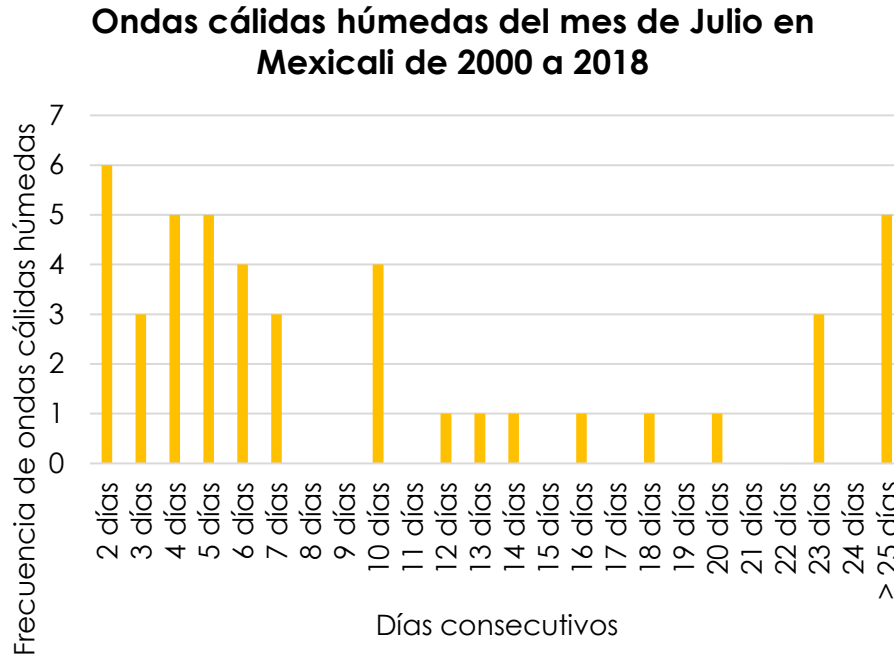
Gráfica 11: Frecuencia mensual de ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018

En el mes de Junio (Gráfica 12) es donde se presentan menos ondas cálidas húmedas, sin embargo, sucede una onda cálida húmeda de más de 25 días consecutivos en el año 2006, que alcanzó una duración de 38 días consecutivos, cubriendo todo el mes de Junio, terminando hasta el 31 de Julio de dicho año.



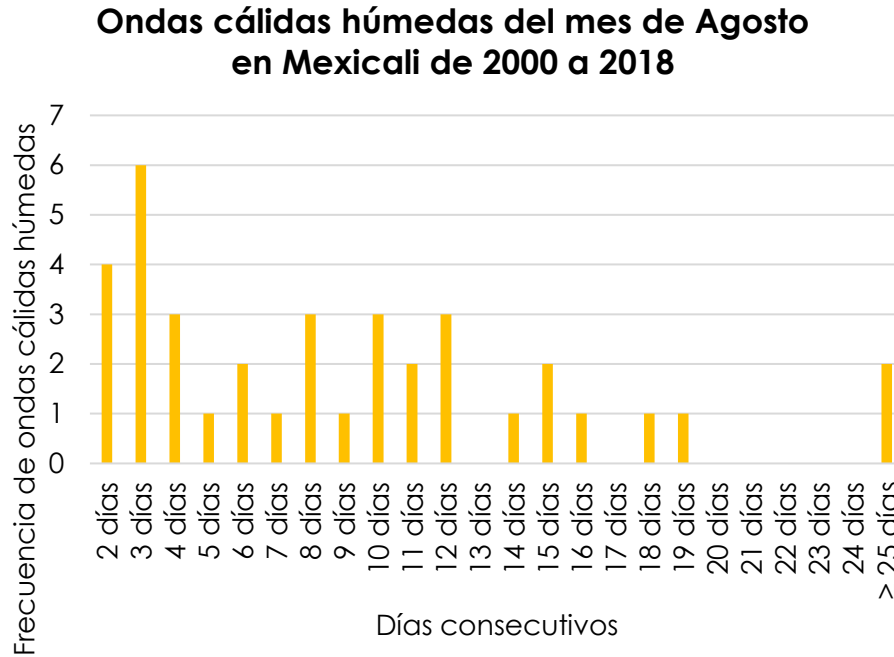
Gráfica 12: Ondas cálidas húmedas del mes de Junio en Mexicali de 2000 a 2018

En el mes de Julio (Gráfica 13) ocurrió el mayor número de ondas cálidas húmedas, así como la mayor frecuencia de ondas cálidas húmedas con una duración mayor o igual a 20 días consecutivos, sucediendo una de 20, tres de 23 y cinco de más de 25 días consecutivos. La primera de éstas últimas en presentarse fue en 2005 donde alcanzó una duración de 51 días consecutivos, cubriendo más de la mitad del mes de Julio y todo el mes de Agosto, terminando hasta el 31 de Agosto de dicho año. Las próximas sucedieron en 2009, 2012, 2016 y 2018, donde lograron una duración de 27, 35, 39 y 26 días consecutivos, respectivamente.



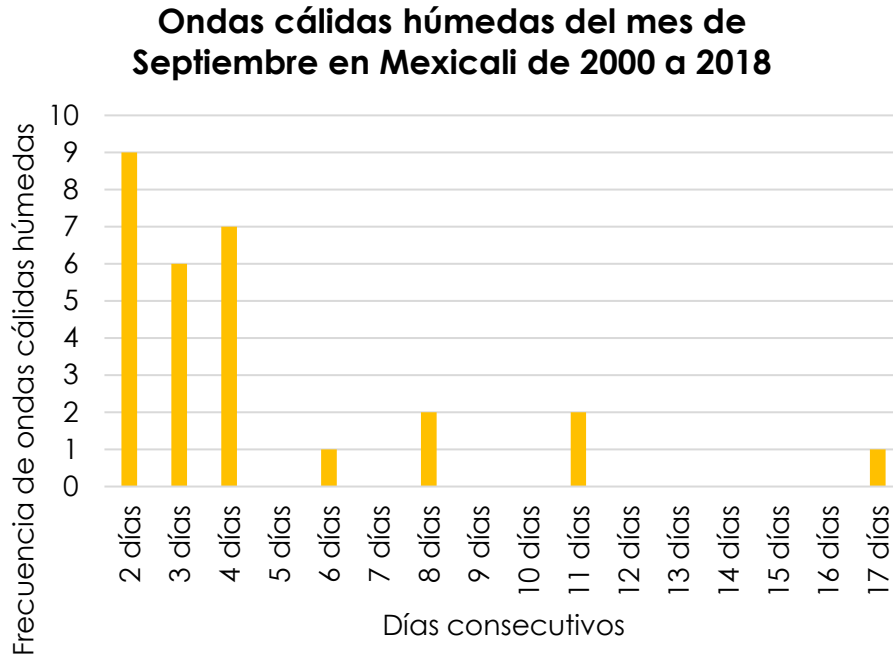
Gráfica 13: Ondas cálidas húmedas del mes de Julio en Mexicali de 2000 a 2018

En el mes de Agosto (Gráfica 14) es donde la duración de las ondas cálidas húmedas es más variada, es decir, donde se presentan más días consecutivos distintos, obteniendo una frecuencia de entre dos y tres ondas cálidas para cada duración distinta; no resalta ninguna duración en particular.



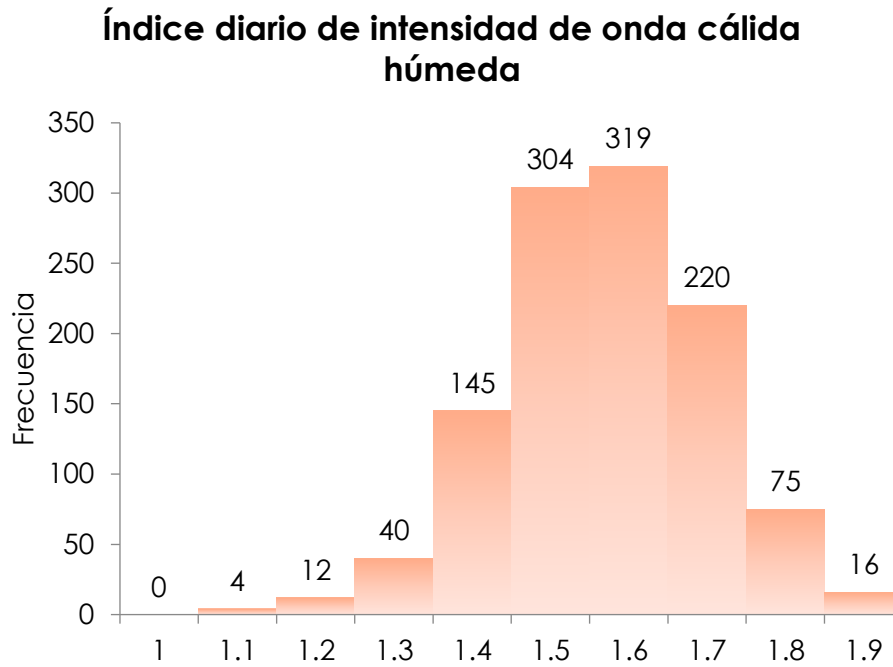
Gráfica 14: Ondas cálidas húmedas del mes de Agosto en Mexicali de 2000 a 2018

En el mes de Septiembre (Gráfica 15) se presenta el mayor número de ondas cálidas húmedas de corta duración, menor a cinco días consecutivos, alcanzando 17 ondas cálidas húmedas con dicha característica.



Gráfica 15: Ondas cálidas húmedas del mes de Septiembre en Mexicali de 2000 a 2018

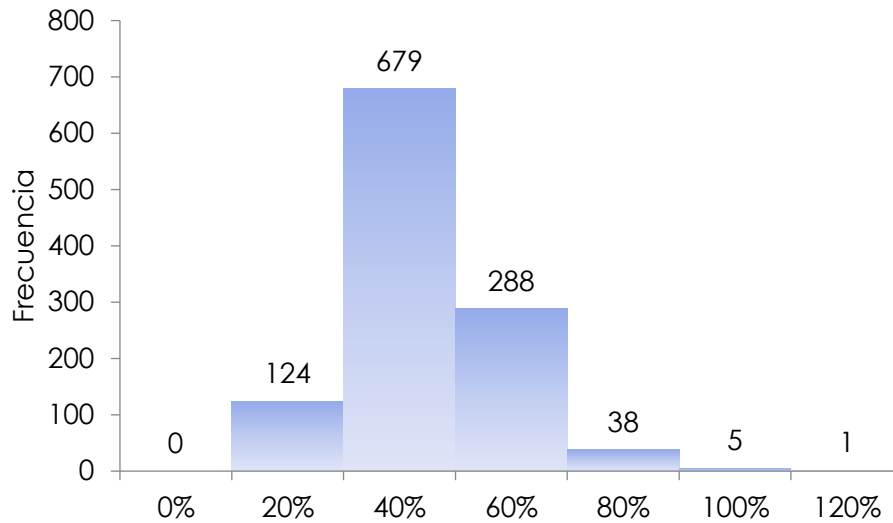
Al calcular el índice diario de intensidad de onda cálida húmeda (Ecuación 5) y elaborar un histograma (gráfica 16) con cada uno de los 1,135 días que forman parte de los días con onda cálida húmeda se obtuvo que la mayor frecuencia fue de 319 días con un índice diario de intensidad de 1.5 a 1.6, representando un 28.11% del total, esto significa que la temperatura aparente máxima de la onda cálida húmeda oscila entre los 48.3 y 50 °C. Del mismo modo, se tienen 16 días de ondas cálidas húmedas en los que el índice diario de intensidad de onda cálida húmeda está entre 1.8 y 1.9, esto significa que la temperatura aparente máxima de la onda cálida húmeda oscila entre los 53.2 y 54.9 °C. El día con mayor índice diario de intensidad de onda cálida húmeda tiene 1.87, con una temperatura aparente máxima de 54.35 °C.



Gráfica 16: Índice diario de intensidad de ondas cálidas húmedas en Mexicali de 2000 a 2018

Al calcular la amplificación de índice diario de intensidad de onda cálida húmeda con respecto al de onda cálida y elaborar un histograma (gráfica 17) se obtuvo que la mayor frecuencia de amplificación sucede entre 30 y 40% con un total de 679 días, representando un 59.82%. Así como teniendo seis días con más de 80% de amplificación, oscilando su temperatura aparente máxima entre 41 y 46.8 °C y su temperatura aparente mínima entre 33.8 y 39.1 °C; comparado con una temperatura que oscila entre los 31.6 y 36 °C para la máxima y 23 y 27.9 °C para la mínima, de estos mismos días.

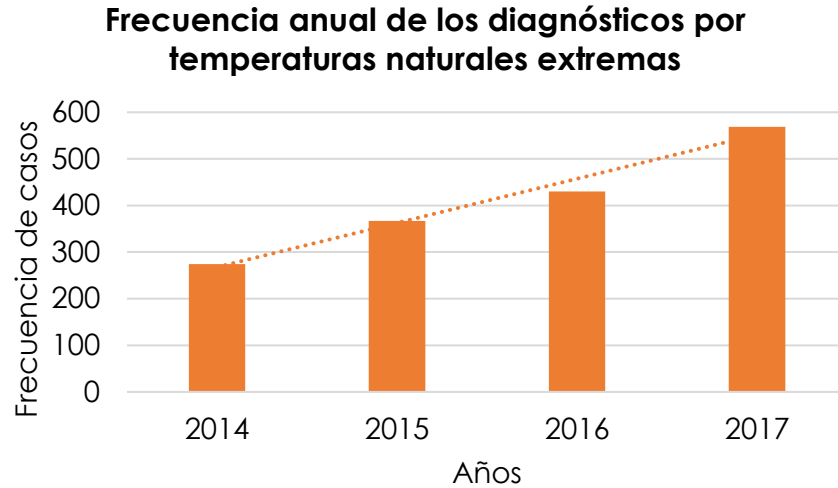
**Amplificación de índice diario de intensidad de onda cálida húmeda con respecto a onda cálida**



Gráfica 17: Amplificación de índice diario de intensidad de ondas cálidas húmedas con respecto a ondas cálidas en Mexicali de 2000 a 2018

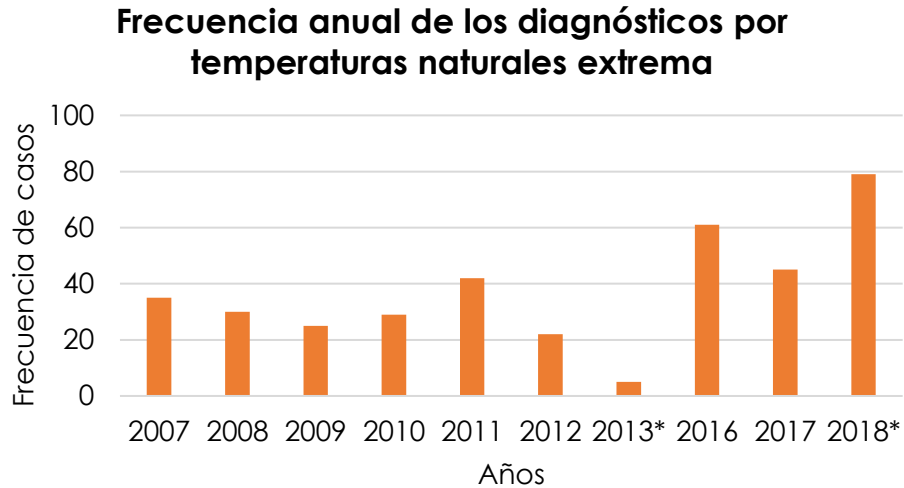
**4.4 Análisis de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas**

La Gráfica 18 muestra la frecuencia anual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas del periodo 2014 a 2017 obtenidos de los boletines epidemiológicos, se observa claramente una tendencia positiva, es decir, en aumento. En estos boletines se contabilizan todos los casos que podrían estar asociados a temperaturas naturales extremas, antes de ser examinados por epidemiólogo y confirmar que éstos son por motivo de temperaturas naturales extremas.



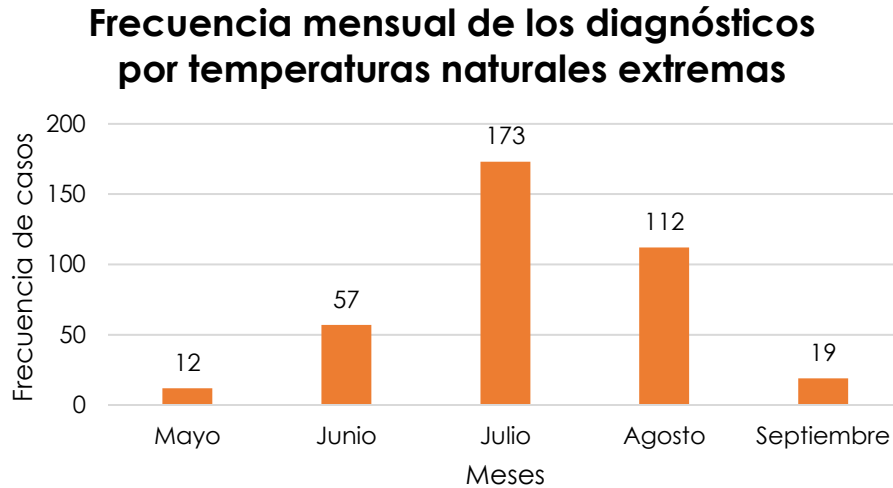
*Gráfica 18: Frecuencia anual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas. Fuente: Boletines epidemiológicos*

La Gráfica 19 presenta la distribución anual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas a partir de datos obtenidos del departamento de epidemiología de ISESALUD. En este punto ya solo son contabilizados los casos que sí se deben a temperaturas naturales extremas con base al SVEDSTNE (Secretaría de Salud, 2012). Los años que muestran un asterisco significa que son años con la información incompleta.



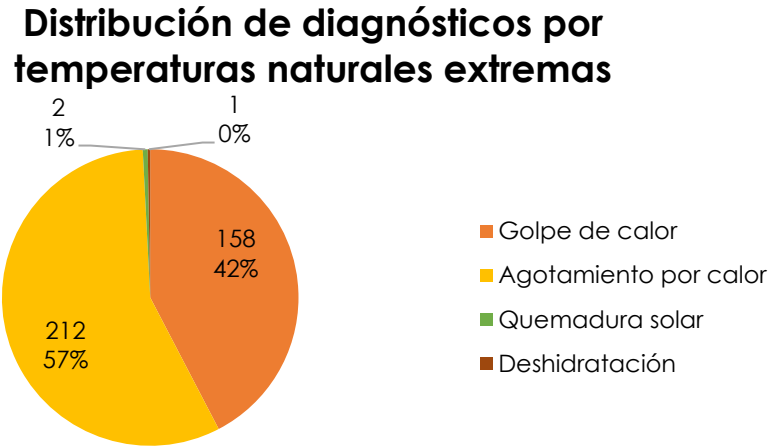
Gráfica 19: Frecuencia anual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas. Fuente: ISESALUD

La distribución de frecuencia mensual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas (Gráfica 20) alcanzó su mayor frecuencia en el mes de Julio con 173 casos, representando un 46.38% del total. Siguiendo el mes de Agosto con un 30.03% del total. Por último, el mes de Mayo con el menor número de casos registrados, siendo éste del solo 3.22% del total.



*Gráfica 20: Frecuencia mensual de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018*

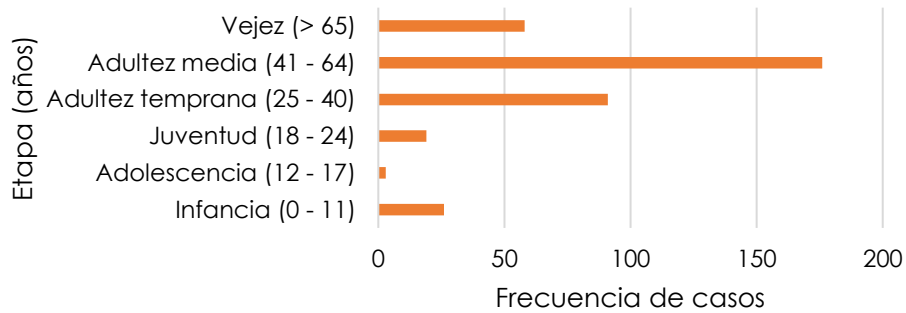
La distribución de diagnósticos por temperaturas naturales extremas (Gráfica 21) se divide en cuatro casos, sin embargo, la quemadura solar y la deshidratación en conjunto no representa más del 1% del total de los casos. Por otra parte, el agotamiento por calor representa el 57% de los casos, seguido por el golpe de calor con un 42% del total.



Gráfica 21: Distribución de diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018

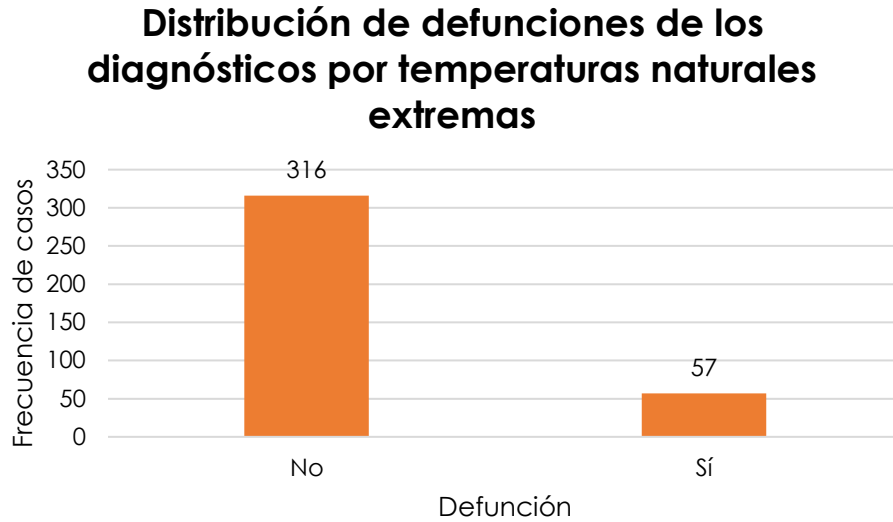
En la Gráfica 22 se aprecia la distribución de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas por etapa de vida, resultando su mayor frecuencia para las personas en adultez media, seguido por la adultez temprana. Esto se debe a que las personas socialmente aisladas y las que trabajan en ambientes al aire libre corresponden a estas edades y al ser los más expuestos son los más afectados.

### Distribución de etapa de vida de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas



Gráfica 22: Distribución de etapa de vida de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018

La distribución de defunciones de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas se observa en la Gráfica 23 mostrando un total de 57 defunciones del total de los casos que representa el 15.28%.

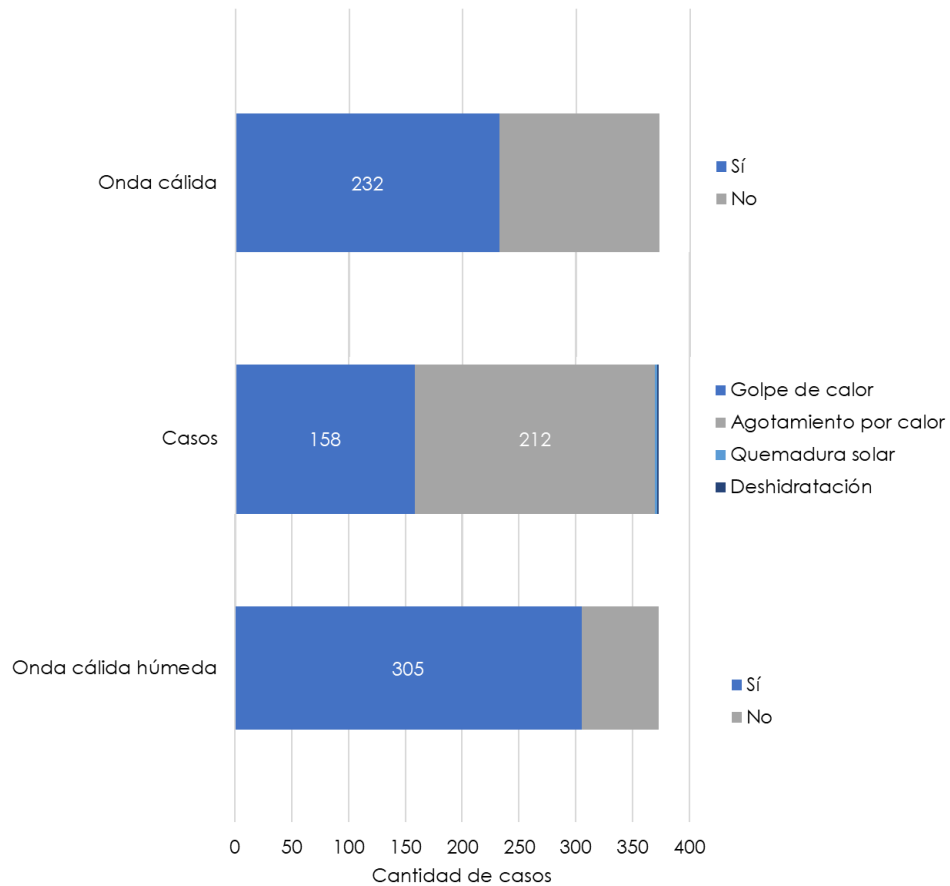


Gráfica 23: Distribución de defunciones de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas en Mexicali de 2007 a 2013 y 2016 a 2018

#### 4.5 Relación diagnósticos – fenómenos meteorológicos

Observando la existencia de ondas cálidas y ondas cálidas húmedas en los días de ocurrencia de los diagnósticos por temperaturas naturales extremas, se obtuvo que durante 232 ocasiones existió la presencia de una onda cálida y durante 305 ocasiones se encontró la existencia de una onda cálida húmeda, es decir, un 62.2 y un 81.77% de los casos, respectivamente. Con esto, es posible

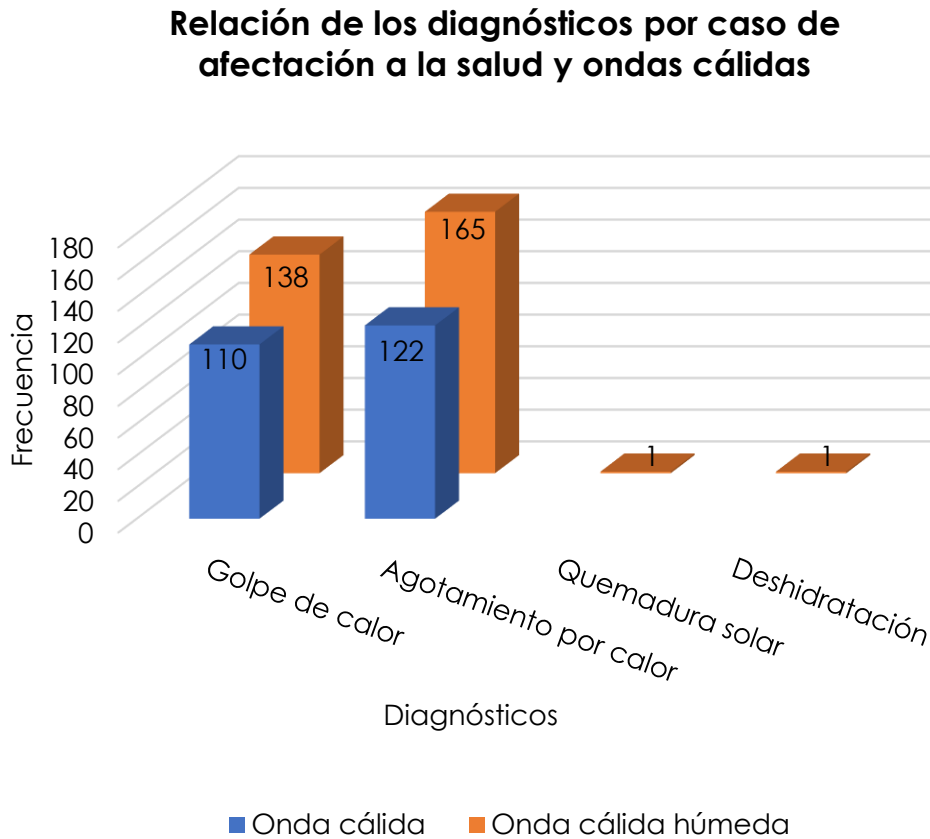
apreciar que el concepto de onda cálida húmeda asocia en mayor razón los diagnósticos por temperaturas naturales extremas.



Gráfica 24: Relación de diagnósticos por temperaturas naturales extremas y ondas cálidas húmedas

Separando los diagnósticos por relación con onda cálida y onda cálida húmeda (Gráfica 25) resulta que en cada uno de los diagnósticos la relación es mayor con ondas cálidas húmedas, donde se obtuvo su mayor aumento para quemadura solar y deshidratación ya que con onda cálida no era posible relacionar estos diagnósticos. Por otra parte, los diagnósticos de agotamiento

por calor aumentaron en un 35.25%, comparado con el 25.45% que se obtuvo para golpe de calor.



Gráfica 25: Relación de los diagnósticos por caso de afectación a la salud y ondas cálidas

#### 4.6 Estudios de casos

En esta sección se analizarán la relación de las afectaciones a la salud y las ondas cálidas y ondas cálidas húmedas a través de los días de dos años en específico, los cuales son los que tienen mayor número de afectados y son los más recientes, en este caso, 2016 y 2018.

#### 4.6.1 Caso 2016

El periodo estudiado es de 15 de Julio a 22 de Agosto de dicho año (Tabla 12), en él se presentaron una onda cálida húmeda durante todo el periodo, con una duración de 39 días, además de cuatro ondas cálidas con duración de dos, diez, cuatro y seis días. Por otra parte, del sector salud, resultaron 42 afectaciones, de las cuales 15 finalizaron en defunción. Para conocer el comportamiento de las ondas cálidas húmedas y ondas cálidas se calculó para cada uno el promedio de los índices diarios de intensidad, obteniendo 1.5 y 1.25, respectivamente, resultando un incremento del 20%. El primer índice tuvo una temperatura aparente máxima promedio de 48.3 °C y el segundo una temperatura máxima promedio de 44.1 °C.

Al analizarlas individualmente se obtuvo el promedio de los índices diarios de intensidad de ondas cálidas húmedas y de ondas cálidas. La primera onda cálida fue la de mayor promedio, con 1.29, resultando una temperatura máxima promedio de 44.8 °C. A pesar de ser la de menor duración, en promedio sus días fueron más intensos, mientras que para la onda cálida húmeda se obtuvo 1.48, resultando una temperatura aparente máxima promedio de 47.9 °C. Donde se obtiene que para la onda cálida húmeda es menor al promedio calculado en el periodo, sin embargo, para onda cálida llega a ser mayor. Esto indica que durante estos días el efecto de la humedad relativa no exacerbó la sensación térmica.

Por otra parte, la segunda onda cálida fue la de mayor intensidad, obteniendo un índice de 12.67, esto es de esperarse ya que es la onda cálida de mayor duración. Mientras que para la onda cálida húmeda se obtuvo 16.02 para este periodo. Al observarse el promedio de los índices diarios de intensidad de ondas cálidas húmedas y de ondas cálidas, se obtiene 1.6 y 1.27, respectivamente; siendo éstos 49.9 y 44.5 °C en promedio de temperatura aparente máxima y temperatura máxima, respectivamente. En este periodo es donde se alcanza el mayor índice diario de intensidad de onda cálida húmeda, resaltando como máximo 1.7 durante tres días consecutivos (marcados en amarillo), obteniendo un incremento del 26%, esto significa que durante este periodo de tres días se presentó una temperatura aparente máxima de 51.6 °C.

A partir de estos días es donde se observa que hay un incremento de afectaciones en el mismo día, además de presentarse más afectaciones durante días consecutivos. Esto se debe a que durante más de una semana ya se estaban presentando condiciones extremas, resultado de la onda cálida de diez días, sin embargo, el mayor efecto fue la humedad que exacerbó la sensación térmica, culminando con índices diarios de intensidad de ondas cálidas húmedas de 1.7. Posterior a esto, los índices diarios de intensidad de ondas cálidas empezaron a disminuir, a diferencia del de onda cálida húmeda que mantuvo las mismas condiciones. Por ello, no era posible explicar tantas afectaciones con solo la definición de onda cálida.



#### 4.6.2 Caso 2018

El periodo estudiado es de 01 de Julio a 08 de Agosto de dicho año (Tabla 13), en él se presentó una onda cálida húmeda durante todo el periodo, con una duración de 31 días, además de cuatro ondas cálidas con duración de tres, cinco, ocho y siete días. Por otra parte, del lado de salud, resultaron 35 afectaciones, de las cuales 11 finalizaron en defunción. Para conocer el comportamiento de las ondas cálidas húmedas y ondas cálidas se calcula el promedio de los índices diarios de intensidad de cada una, obteniendo 1.55 y 1.27, resultando un incremento del 22%, es decir, una temperatura aparente máxima promedio de 49.1 °C y una temperatura máxima promedio de 44.5 °C, para cada uno de los índices, respectivamente.

Al analizarlas individualmente se obtiene el promedio de los índices diarios de intensidad de ondas cálidas húmedas y de ondas cálidas, la primera onda cálida fue la de mayor promedio, con 1.32, resultando una temperatura máxima promedio de 45.3 °C. A pesar de ser la de menor duración, en promedio sus días fueron más intensos, mientras que para la onda cálida húmeda se obtuvo 1.60, resultando una temperatura aparente máxima promedio de 49.9 °C.

Por otra parte, la última onda cálida no fue ni la de mayor intensidad ni la de mayor promedio de índice diario de intensidad de onda cálida. Sin embargo, en términos del promedio de índice diario de intensidad de onda cálida húmeda sí es el mayor, obteniendo 1.62, resultando una temperatura máxima promedio de

50.2 °C; mientras que para la onda cálida se obtuvo 1.27, resultando una temperatura máxima promedio de 44.5 °C, obteniendo un incremento del 28%. Durante la tercera onda cálida, que es la de mayor duración, se obtiene una intensidad de 10.46, mientras que para la onda cálida húmeda se obtuvo 12.95. Además, durante este periodo se alcanza el mayor promedio de índice diario de intensidad de onda cálida húmeda, resaltando como máximo 1.7 durante cuatro días consecutivos (marcados en amarillo), además de repetirse durante la última onda cálida, pero en esta ocasión solo en un día. Del mismo modo, se alcanza el mayor promedio de índice diario de intensidad de onda cálida, resaltando como máximo 1.4 durante cinco días consecutivos (marcados en amarillo), esto significa que, durante este periodo de cuatro y cinco días, para el caso de onda cálida húmeda y onda cálida, respectivamente, se presentó una temperatura aparente máxima de 51.6 y 46.6 °C, en cada uno de estos fenómenos.

Analizando estas dos ondas cálidas en conjunto, se observa que a partir de estos días hay un incremento de afectaciones en el mismo día, además de presentarse más afectaciones durante días consecutivos. Esto se debe a que es un periodo de más de dos semanas presentando condiciones extremas, sin embargo, el mayor efecto fue la humedad que exacerbó la sensación térmica, iniciando con índices diarios de intensidad de ondas cálidas húmedas de 1.7, posterior a esto, los índices diarios de intensidad de ondas cálidas empezaron a disminuir, a diferencia de la onda cálida húmeda que mantuvo las mismas condiciones,

finalmente los índices diarios de intensidad de ondas cálidas se volvieron a incrementar.

Tabla 13: Estudio de caso 2018

	01-07-18	02-07-18	03-07-18	04-07-18	05-07-18	06-07-18	07-07-18	08-07-18	09-07-18	10-07-18	11-07-18	12-07-18	13-07-18	14-07-18	15-07-18	16-07-18	17-07-18	18-07-18	19-07-18	20-07-18	21-07-18	22-07-18	23-07-18	24-07-18	25-07-18	26-07-18	27-07-18	28-07-18	29-07-18	30-07-18	31-07-18	01-08-18	02-08-18	03-08-18	04-08-18	05-08-18	06-08-18	07-08-18	08-08-18		
Golpe de calor						1		1				1	1		2	4	1					2		5	6	1		1	1	3	4		2	3		5		3	1		
Agotamiento por calor				1	1																	1	1	2	5		2			2	2		1		2	1	1	1	2		
Defunción								1				1			1	1						1		3	1					2	2			1		2					
Índice de intensidad de onda cálida						3.96								5.96								10.46										8.86									
Índice de intensidad de onda cálida húmeda						48.16																																			
Días monzónicos						1																1																			
Intensidad T	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.2	1.2	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0	1.0		
Intensidad TAp	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.5	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.3	1.2	1.2	

## Capítulo V – Discusiones

La importancia de este tipo de estudio destaca en la relación entre la morbilidad y mortalidad asociada a las temperaturas extremas con la ocurrencia de este nuevo fenómeno definido, la onda cálida húmeda; además del impacto que se presentó en la relación con solo agregar una variable más, en este caso la humedad relativa. Hasta el momento se encontró un mejor ajuste con esta variable, sin embargo, en futuras investigaciones podría ser necesario agregar alguna nueva variable o un nuevo índice de sensación térmica a esta definición, debido al aumento en los casos de afectación a la salud y decesos (morbilidad y mortalidad, respectivamente) relacionados directamente en el incremento de eventos de variabilidad climática.

En investigaciones pasadas se han analizado los casos de afectación de la población (Díaz et al., 2014; Jaramillo et al., 2011) y en otras ocasiones las ondas cálidas (García et al., 2010; Martínez & Bandala, 2016), considerando como parámetro principal la temperatura máxima (Contreras, 2011). El agregar la variable de humedad relativa y estimar la sensación térmica, resulta en un mejor acercamiento a la relación de las afectaciones a la salud con la presencia de dicho fenómeno.

Se calculó la correlación de Spearman considerando: los casos de afectación contra la semana del año, si existió defunción, la etapa de vida, el género, si existió día caliente y por último si existió día caliente húmedo (Tabla 14), donde se obtuvo que  $p < 0.05$  para todos los casos, excepto para día caliente húmedo.

Por otra parte, sus R varían desde -0.34 (defunción) hasta 0.20 (género), caso extraño de día caliente húmedo con -0.02, muy cercano a 0 significando que no existe relación, pero al realizar las gráficas de relación (Gráfica 24 & 25) se observa que existe una mayor relación de los casos con la onda cálida húmeda.

Tabla 14: Relación de casos contra otras variables en Mexicali de 2000 a 2018

Caso	R Spearman	p
Semana	-0.19	0.00
Defunción	-0.34	0.00
Etapa de vida	0.13	0.01
Género	0.20	0.00
Día caliente	-0.12	0.02
Día caliente húmedo	-0.02	0.68

Este tipo de análisis estadístico (coeficiente de correlación de Spearman) no resultó satisfactorio para la muestra, por ello solo se relacionó por medio de porcentajes, tal como se muestran en la sección de resultados.

Por otra parte, con base en el estudio *Las ondas cálidas húmedas en diferentes niveles de calentamiento* (Russo et al., 2017), se calculó el índice de intensidad de onda cálida y de onda cálida húmeda para cuatro ondas cálidas históricas muy importantes (Chicago – 1995, París – 2003, Shanghái – 2003 y Moscú – 2010). Los detalles de cada una se muestran a continuación (Tabla 15):

Tabla 15: Ondas cálidas y ondas cálidas húmedas históricas a través de regiones del mundo con diferentes climas (Russo et al., 2017)

Ciudad	Duración [días]	Días del año	Índice de intensidad de onda cálida	Índice de intensidad de onda cálida húmeda	Amplificación
<b>Chicago</b>	3	194 – 196	5.1	13.6	166%
<b>París</b>	13	214 – 226	28.4	28.4	0%
<b>Shanghái</b>	11	204 – 214	12.3	38.9	216%
<b>Moscú</b>	34	196 – 229	62	62	0%

En estas cuatro ondas cálidas húmedas se aprecia que en dos de ellas (París y Moscú) no se tuvo amplificación alguna por efecto de la humedad relativa, por lo que no se exacerbó la sensación térmica, es decir, solo fueron ondas cálidas. Sin embargo, tomando solo en cuenta la temperatura de bulbo seco (temperatura del aire) fueron de mayor intensidad.

En contraste, para Chicago y Shanghái la humedad relativa impactó bastante, amplificando su sensación a 166 y 216%, respectivamente. Comparando estos resultados con los presentados en Mexicali, es posible observar que los índices de intensidad de onda cálida húmeda son mayores. Esto se debe principalmente a la duración de este fenómeno, ya que en el periodo analizado se presentaron siete ondas cálidas húmedas con una duración mayor a un mes (Tabla 15) y en cada una de ellas se obtuvo una amplificación en la sensación que oscila entre 28 y 46%, debido a la alta humedad relativa.

Tabla 16: Ondas cálidas húmedas con mayor duración en Mexicali de 2000 a 2018

Año	Duración [días]	Días del año	Índice de intensidad de onda cálida	Índice de intensidad de onda cálida húmeda	Amplificación
<b>2003</b>	32	220 – 251	35.3	51.5	46%
<b>2005</b>	51	193 – 243	58.1	81.1	40%
<b>2006</b>	38	175 – 212	44.6	60.1	35%
<b>2007</b>	31	222 – 252	37.3	49.4	32%
<b>2012</b>	35	211 – 245	38.8	52.2	35%
<b>2016</b>	39	197 – 235	45.5	58.6	29%
<b>2018</b>	31	188 – 217	37.6	48.2	28%

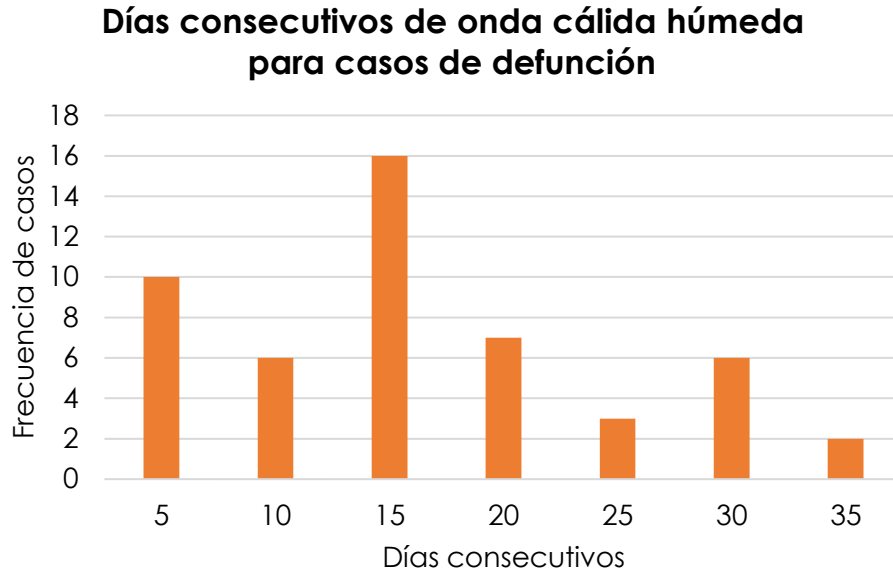
A pesar que las ondas cálidas húmedas de Chicago y Shanghai fueron las de mayor amplificación, su duración fue de solo 3 y 11 días, respectivamente; es decir, aunque su duración fue corta fueron muy intensas para sus habitantes.

En el caso de Mexicali, aún no sucede un fenómeno con este tipo de magnitud, sin embargo, las ondas cálidas húmedas tienen una duración mayor que en otras regiones del mundo. Del mismo modo, en ciertos periodos de su ocurrencia ésta se vuelve más intensa y aunque sus condiciones disminuyan, no deja de ser onda cálida húmeda, alcanzando duraciones muy prolongadas.

De igual modo, de acuerdo con el estudio *Mortalidad por calor natural excesivo en el Noroeste de México* (Díaz et al., 2014) en el que se estudian distintas ciudades, entre ellas: Mexicali, Hermosillo, San Luis Río Colorado y Caborca. Destaca la ciudad de Mexicali con 45% de las defunciones entre estas ciudades; en esta misma línea le sigue la ciudad de Hermosillo con 31% de éstas. Con la metodología planteada en esta tesis es posible conocer la relación de la mortalidad con la ocurrencia de la onda cálida húmeda, donde se esperaría un

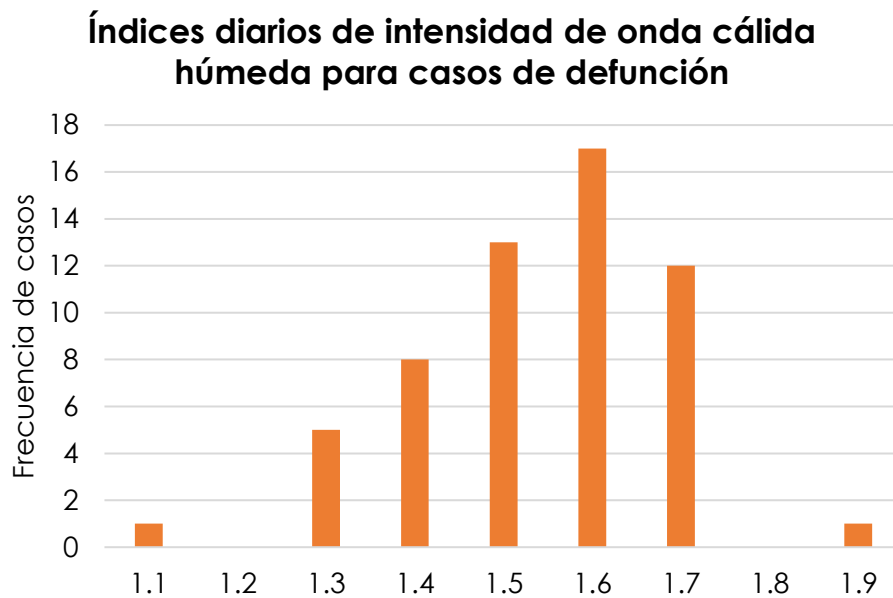
índice de intensidad de onda cálida húmeda mayor, por lo que resultaría con amplificaciones mayores respecto al estudio realizado en 2014.

La definición de onda cálida, así como la de onda cálida húmeda podría cambiar, ya que es necesario verificar si la temperatura aparente se adecua a las condiciones climáticas del lugar. Dado que para Mexicali en principio se intentó con el índice de calor de la NOAA (1985), éste no funcionó debido a que bajo ciertas condiciones extremas resultaba en temperaturas de índice de calor superiores a 100 °C, por esa razón se utilizó temperatura aparente (Steadman, 1979); por ello el interés de comparar distintos índices de sensación térmica y encontrar el que mejor se ajuste a las condiciones climáticas del sitio de interés. De acuerdo con la Gráfica 26 se observa que el mayor número de casos de defunción ocurre entre los 10 y 15 días consecutivos de onda cálida húmeda, representando un 32% del total de defunciones debido a este fenómeno. Dicha duración no es muy común en otras regiones del mundo, lo que hace muy importante seguir analizando los datos meteorológicos y del sector salud para Mexicali.



Gráfica 26: Días consecutivos de onda cálida húmeda para casos de defunción en Mexicali de 2000 a 2018

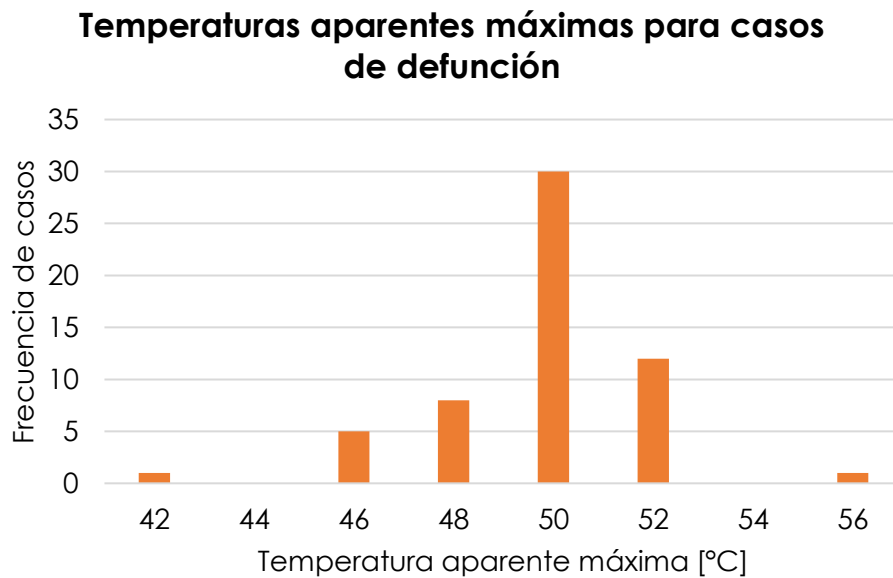
En contraste, en la Gráfica 27 se observan los casos de defunción desde el punto de vista de las condiciones de índice diario de onda cálida húmeda.



Gráfica 27: Índices diarios de intensidad de onda cálida húmeda para casos de defunción en Mexicali de 2000 a 2018

Se puede notar que existe un aumento en las defunciones a partir de 1.2 de Índice diario de intensidad de onda cálida húmeda hasta 1.6, resultando una temperatura aparente máxima de 43.3 a 49.9 °C. Esto representa un 75% del total de defunciones por onda cálida húmeda, indicando que bajo estas condiciones se podría considerar mortal la exposición para los habitantes de Mexicali.

Este índice sirve para poder comparar condiciones de diferentes sitios, para una comprensión más clara esto se convierte a temperaturas aparentes máximas, recordando que esta equivalencia del índice diario de intensidad de onda cálida húmeda a temperaturas aparentes máximas solo es para el caso de Mexicali (Gráfica 28).



Gráfica 28: Temperaturas aparentes máximas para casos de defunción en Mexicali de 2000 a 2018

Comparando con la Gráfica 27, se aprecia una diferencia en la frecuencia de casos, pero esto solo se debe a la manera en la que se agrupan los casos de acuerdo con el índice diario de intensidad de onda cálida húmeda y a la temperatura aparente máxima. Cuando se analiza acorde a la temperatura aparente máxima se nota un aumento de casos de defunción desde 44 hasta 50 °C (Gráfica 28).

A continuación, se destacan los hallazgos principales derivados de esta investigación, además, se mencionan algunas recomendaciones y limitaciones del estudio.

## Capítulo VI – Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones planteadas en esta tesis fueron desarrolladas con base en los análisis que fueron determinados a partir de la hipótesis y objetivos principales; dentro de éstos, se encontraba el determinar las ondas cálidas que afectaban a la región en un determinado periodo. Para realizar este primer acercamiento, se utilizó la definición de Contreras (2011) y se determinó cuántos episodios de ondas cálidas se tuvieron en el tiempo especificado.

Con base en lo anterior, se realizó un análisis de las bases de datos del periodo establecido que abarca de 2000 a 2018, donde se presentaron un total de 107 ondas cálidas, que tuvieron lugar en 430 días, dentro de los cuales el mes donde fueron más recurrentes fue Julio con un total de 45, Agosto con 44, Junio 11, Septiembre 10. Además de lo anterior, dentro del análisis realizado, se encontró que en el año 2009 se tuvo un fenómeno de este tipo con una duración de 14 días.

La definición establecida en esta investigación para onda cálida húmeda es: “Cuando en dos o más días consecutivos la temperatura aparente máxima es mayor o igual a 40.6 °C y la temperatura aparente mínima es mayor o igual a 32.2 °C”; para el desarrollo de ésta, se empleó como criterio principal el índice de calor de la NOAA (1985).

Para el desarrollo de la definición, se realizó un análisis de aquellos casos en los cuales se tenía una afectación a la morbilidad y mortalidad de la población que no sucedían dentro de los periodos donde se estableció la existencia de una

onda cálida. A partir de ese punto, se realizaron observaciones de las bases de datos meteorológicas y se establecieron los casos donde existía una afectación derivada del Monzón de Norteamérica; a partir de lo anterior, se creó la relación de las ondas cálidas húmedas y las afectaciones en la salud con referencia a los estudios realizados en las bases de datos de la Comisión Nacional del Agua y la base de datos de *temperaturas naturales extremas* de ISESALUD.

Al aplicar esta definición se obtuvo un total de 130 ondas cálidas húmedas sumando así 1,135 días, resultando que un 39.04% del periodo cálido presenta condiciones de este fenómeno. El mes de Julio fue el mes con más ondas cálidas húmedas, siendo éstas 44, siguiendo Agosto, Septiembre y Junio con 37, 28 y 21, respectivamente. Durante el periodo se presentaron cinco fenómenos de este tipo, con duración mayor a un mes, en los años 2003, 2006, 2007, 2016 y 2018, siendo la de 2006 la mayor con una duración de 51 días.

A partir de todo lo observado se desarrolló una comparativa entre el índice diario de intensidad de ondas cálidas húmedas con el de ondas cálidas. El cual fue definido por Contreras (2011) y se obtuvo que en un 59.82% de los casos amplifica su intensidad de 30 a 40%; esto ayudó a determinar el efecto adverso de este nuevo fenómeno estudiado.

Se hizo una relación entre las observaciones de la base de datos temperaturas naturales extremas con los resultados de los estudios realizados para determinar los episodios de ondas cálidas húmedas; con lo anterior se encontró que un 81.77% de las afectaciones a la morbilidad y mortalidad provocadas en los

periodos estudiados ocurren mientras existe dicho fenómeno; si esto se compara con el 62.2% de incidencia de la onda cálida, esto lleva a aseverar la hipótesis planteada sobre que sí repercute en un aumento en la afectación de la fisiológica y salud de la población de la región de Mexicali cuando se presentan las condiciones descritas anteriormente del fenómeno que se estudió.

La investigación que se desarrolló ayudó a determinar las condiciones bajo las que se presenta un nuevo fenómeno meteorológico que no se había estudiado, por lo menos no desde este enfoque. De igual manera, se puede decir que los métodos utilizados pueden ser aplicados a estudios posteriores en otras zonas de estudio que ayuden a identificar y cuantificar las ondas cálidas húmedas y observar los impactos que tiene en la morbilidad y mortalidad de la población para así poder generar estrategias y apoyos para los habitantes más expuestos y vulnerables. Finalmente, algunas limitaciones que se tuvieron en este estudio fueron el acceso a las bases de datos existentes, por ello la discrepancia en los periodos analizados, así como la no continuidad y la escasa cantidad de años de registro de la base de datos *temperaturas naturales extremas*.

## Referencias

- Argimon Pallás, J. M., & Jiménez Villa, J. (2004). Métodos de investigación clínica y epidemiológica. *Métodos de investigación clínica y epidemiológica*.
- Bernard, S. M., & McGeehin, M. A. (2004). Municipal heat wave response plans. *American Journal of Public Health, 94*(9), 1520-1522.
- Carlson, A. E. (2008). Heat waves, global warming, and mitigation. *UCLA J. Env'tl. L. & Pol'y, 26*, 169.
- Casillas Higuera, A., García Cueto, O. R., Leyva Camacho, O., & Gonzalez Navarro, F. F. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México. *Informacion Tecnologica, 25*(1), 139-150.
- Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional. (2001). Normales climatológicas 1971-2000.
- Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional. (2011). *Normales climatológicas 1981-2010*.
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, C., & Perini, L. (2005). Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environmental research, 98*(3), 390-399.
- Contreras, E. (2011). *Las ondas cálidas y su impacto en la salud: análisis y evolución histórica en Mexicali B.C. México* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México.
- De La Fuente Ruiz, R. A., García Cueto, O. R., & Quintero Nuñez, M. (2009). Cuando el calor nos rebasa y se inicia la cocción. *Revista Ciencia y Desarrollo, 35*(237), 60-66.
- Dematte, J. E., O'Mara, K., Buescher, J., Whitney, C. G., Forsythe, S., McNamee, T., Adiga, R. B., & Ndukwu, I. M. (1998). Near-fatal heat stroke during the 1995 heat wave in Chicago. *Annals of Internal Medicine, 129*(3), 173-181.
- Diario Oficial de la Federación (2012). "PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-017-SSA-01, Para la vigilancia epidemiológica".
- Díaz Caravantes, R. E., Castro Luque, A. L., & Aranda Gallegos, P. (2014). Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México:

- Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte. *Frontera Norte*, 26(52), 155–177.
- Douglas, M. W., Maddox, R. A., Howard, K., & Reyes, S. (1993). The mexican monsoon. *Journal of Climate*, 6(8), 1665-1677.
- Ebi, K. L., & Meehl, G. A. (2007). Heatwaves & global climate change. The heat is on: climate change & heatwaves in the Midwest. *Pew Center on Global Climate Change*, Arlington, p 14.
- Ellis, A. W., Saffell, E. M., & Hawkins, T. W. (2004). A method for defining monsoon onset and demise in the Southwestern USA. *International Journal of Climatology*, 24(2), 247–265.
- Fischer, E. M., & Knutti, R. (2013). Robust projections of combined humidity and temperature extremes. *Nature Climate Change*, 3(2), 126.
- Fischer, E. M., & Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(6), 398.
- García Cueto, O. R., Tejeda Martínez, A., & Bojorquez Morales, G. (2009). Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, BC, Mexico. *Atmósfera*, 22(4), 349-365.
- García Cueto, O. R., Tejeda Martínez, A., & Jáuregui Ostos, E. (2010). Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: Current trends and in climate change scenarios. *International Journal of Biometeorology*, 54(4), 335–345.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 6 ed.
- García-Pina, R., Tobías Garcés, A., Sanz Navarro, J., Navarro Sánchez, C., & García-Fulgueiras, A. (2008). Efecto del calor sobre el número de urgencias hospitalarias en la Región de Murcia durante los veranos del período 2000-2005 y su uso en la vigilancia epidemiológica. *Revista española de salud pública*, 82, 153-166.
- Golnaraghi, M., Etienne, C., Guha-Sapir, D., & Below, R. (2014). *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate, and Water Extremes (1970-2012)*. World Meteorological Organization.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. *Informe especial de los Grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York (Estados Unidos de América): Cambridge University Press.
- Jaramillo, Ramírez, H., López, Cota, G., & Rodríguez, Lomeli, M. (2011). Golpe de calor: un problema de salud en Mexicali. *Salud Pública en México*, 53(4), 285–286.
- Jáuregui, E. (2009). The heat spells of Mexico City. *Investigaciones GeoGráficas, Boletín*, (70), 71-76.
- Kalkstein, L. S., & Valimont, K. M. (1986). An Evaluation of Summer Discomfort in the United State Using a Relative Climatological Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67(7), 842–848.
- Kjellstrom, T., Holmer I. & Lemke B. (2009) Workplace heat stress, health and productivity – an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change, *Global Health Action*, 2:1, 2047.
- Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G., Margolis, H. G., Smith, D., Solomon, G., Trent, R., & English, P. (2008). The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environmental health perspectives*, 117(1), 61-67.
- Kyselý, J. (2004) Mortality and displaced mortality Turing heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol* 49:91–97.
- Kyselý, J., Kalvová, J., & Květoň, V. (2000). Heat waves in the south Moravian region during the period 1961-1995. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 44(1), 57-72.
- Ley García, J., Denegri de Dios, F. M., García Cueto, O. R., Venegas Cardoso, F. R., & Judith Ochoa, García, M. (2011). *Atlas de Riesgos del Municipio de Mexicali*, B. C.
- Ley García, J., García Cueto, O. R., Ortega Villa, G., Venegas Cardoso, F. R., & Denegri de Dios, F. M. (2006). *Atlas de riesgos naturales y químicos (identificación y zonificación)*. Ciudad de Mexicali, Baja California, México.

- Lowe, D., Ebi, K. L., & Forsberg, B. (2011). Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves. *International journal of environmental research and public health*, 8(12), 4623-4648.
- Martínez Austria, P. F., & Bandala, E. R. (2016). Maximum Temperatures and Heat Waves in Mexicali, Mexico: Trends and Threshold Analysis. *Air, Soil & Water Research*, (9).
- Martínez Austria, P. F., & Bandala, E. R. (2017). Temperature and Heat-Related Mortality Trends in the Sonoran and Mojave Desert Region. *Atmosphere*, 8(3), 53.
- Michelozzi, P., de'Donato, F., D'Ippoliti, D., D'Ovidio, M., Marino, C., & Menne, B. (2007). The Definition of Heat-Wave Within the European Project "Improving Public Health Responses to Heat" (EuroHEAT). *Epidemiology*, 18(5), S130.
- Oficina Regional de la OMS para Europa (EURO). (2008). 2008: sistemas de alarma sanitaria por olas de calor. Copenhagen, EURO.
- Pal, J. S., & Eltahir, E. A. (2016). Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature Climate Change*, 6(2), 197.
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310-317.
- Reyes, S. (2001). Introducción a la Meteorología. Editorial UABC. México. Recuperado el, 19.
- Robles, J. (2014). *El sistema Monzón de Norteamérica: una revisión* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Rothfusz, L. P. (1990). The heat index equation. *National Weather Service Technical Attachment (SR 90-23)*.
- Russo, S., Sillmann, J., & Sterl, A. (2017). Humid heat waves at different warming levels. *Scientific reports*, 7(1), 7477.
- Secretaría de Salud. (2012). *Manual de Procedimientos Estandarizados para la Vigilancia Epidemiológica de Daños a la Salud por Temperaturas Naturales Extremas (SVEDSTNE)*.

- Smoyer, K. E. (1998). A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri - 1980 and 1995. *International Journal of Biometeorology*, 42(1), 44–50.
- Steadman, R. G. (1979). The Assessment of Sultriness. Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. *Journal of Applied Meteorology*.
- Stocker, T. (Ed.). (2014). Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Trenberth, K., Meehl, J., Masters, J., & Underground, W. (2012). Heat Waves and Climate Change.
- Witte, J. C., A. Douglass, A. da Silva, O. Torres, R. Levy, & B. Duncan (2011), NASA A-Train and Terra observations of the 2010 Russian wildfires, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 9287-9301.
- World Health Organization, & World Meteorological Organization. (2012). *Atlas of health and climate change. Health and Environment Series*.
- World Health Organization. (2004). *International statistical classification of diseases and related health problems (Vol. 1)*. 10 ed. World Health Organization.
- World Meteorological Organization & United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2012). *International Glossary of Hydrology*. Ženeva, Švajčiarsko.
- World Meteorological Organization. (1992). *International meteorological vocabulary*. WMO Publication 182. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland.
- World Meteorological Organization. (2014). *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes*. WMO No. 1123.
- Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G. (2014). Effect of some meteorological phenomena on the wind potential of Baja California. *Energy Procedia*, 57, 1327–1336.