

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“LAS ONDAS CÁLIDAS Y SU IMPACTO EN LA SALUD: ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN  
HISTÓRICA EN MEXICALI B.C. MÉXICO”**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA**

**Elvia Contreras Navarro**

**DIRECTOR**

**Dr. Onofre Rafael García Cueto**

**CODIRECTOR**

**Dr. Juan Ramón Castro**

**Mexicali, B. C.**

**Mayo del 2011**

# ÍNDICE

Lista de Tablas

Lista de Figuras

**RESUMEN.....1**

## **Capítulo I INTRODUCCION**

1.1 Introducción.....2

1.2 Planteamiento del Problema.....4

1.3 Justificación.....6

1.4 Hipótesis.....9

1.5 Objetivos.....9

## **Capítulo II MARCO TEORICO**

2.1 Definición de onda cálida.....10

2.2 Antecedentes.....12

2.2.1 A nivel Internacional.....12

2.2.2 A nivel Nacional.....16

2.3 Efectos asociados al calor.....18

2.4 Sistemas de alerta de ondas cálidas.....21

2.5 Predicción de ondas cálidas.....22

2.6 Métodos de inteligencia Artificial.....24

2.6.1 Redes Neuronales.....24

2.6.2 Aprendizaje de clasificadores bayesianos.....25

2.6.3 Clasificador basado en el algoritmo Naïve Bayes.....25

2.6.4 Aprendizaje de redes bayesianas.....26

2.6.5 Estimador de Hurst.....28

2.6.5.1 Parámetro de Hurst.....29

2.6.4.2 Grafico R/S, Rango re-escalado:.....29

## **Capítulo III METODOLOGÍA**

3.1 Recopilación y procesamiento de datos.....32

3.1.1 Base de Datos Climática.....	32
3.1.2 Base de datos de Salud.....	33
3.2 Análisis exploratorio de datos.....	34
3.3 Propuesta Local de definición de Onda Cálida.....	36
3.3.1 Criterio Estadístico.....	36
3.3.2 Criterio de Salud Pública.....	36
3.4 Métodos de Inteligencia Artificial.....	36
3.4.1 Redes Bayesianas.....	36
3.4.2 Estimador de Hurst.....	37

## **Capítulo IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Base de Datos.....	38
4.1.1 Base de Datos Climática.....	38
4.2 Análisis Exploratorio de Datos Climáticos.....	39
4.2.1. Serie Anual de Temperatura.....	39
4.2.2. Serie Estacional de Temperatura.....	41
4.2.3. Serie Mensual de Temperatura.....	43
4.3 Análisis Exploratorio del Sector Salud .....	52
4.3.1 Base de Datos del Sector Salud.....	52
4.3.2. Afectaciones por el Calor .....	54
4.4. Propuesta de Definición Local de Onda Cálida.....	60
4.5 Estocasticidad de la Serie de Temperatura.....	63
4.6 Red Bayeeiana.....	66

## **Capítulo V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....74**

## **Capítulo VI BIBLIOGRAFÍA.....77**

## Índice de Figuras

Fig. 1 Ocurrencia De Desastres De 1980 A 2005.....	2
Fig. 2 Pérdida De Vidas Humanas Por Desastres De 1980 A 2005.....	3
Fig. 3 Pérdidas Económicas Por Desastres De 1980 A 2005.....	3
Fig. 4. Cambios En Las Ondas De Calor Globalmente Promediadas Para Tres Escenarios De Emisiones (A2, B1 Y A1b), Y Cambios En Los Patrones Espaciales De Ondas De Calor Con Respecto A Los Los Valores Medios De 2080-2099 Menos 1980-1999 Para El Escenario De Emisiones A1b. Fuente: Ipcc, 2007.....	6
Fig. 5.- Acciones A Realizar Ante Casos Por Temperaturas Extremas En Baja California.....	8
Figura 6- Mortalidad Por Golpe De Calor En México.....	17
Fig. 7 Distribución De Las Temperaturas Del Cuerpo Humano.....	18
Fig. 8 Mecanismos Termorregulatorios Del Cuerpo Humano.....	19
Fig. 9 Formato De Semefo.....	34
Fig. 10.- Parte Del Código Para Estimar El Parámetro De Hurst En Matlab 2008.....	37
Fig. 11.- Temperaturas Máximas De Enero A Diciembre De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C Con Percentil 90.....	38
Fig. 12.- Temperaturas Máximas De Enero A Diciembre De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C Con Percentil 95.....	39
Fig. 13.- Base De Datos Del Hospital General Mexicali B.C.....	40
Fig. 14.- Base De Datos De Hospital General Mexicali En Formato Excel .....	40
Fig. 15.- Datos De Semefo Del Año 2006 En Mexicali B.C.....	41
Fig. 16.- Datos De Humedad Relativa Mexicali B.C 2006 Al 2009.....	42
Fig. 17.-. Serie De Tiempo Anual Del Periodo De 1950 Al 2009 De Temperaturas Máximas Y Mínimas De Mexicali B.C.....	42
Fig. 18.- Serie De Temperaturas Máximas Y Mínimas Anuales De Mexicali B.C. Para El Periodo 1950 Al 2009.....	43
Fig. 19.- Distribución De Temperaturas Máximas Promedio Para La Estación De Invierno En Mexicali B.C De 1950 Al 2009.....	44
Fig. 20.- Distribución De Temperaturas Máximas Promedio Para La Estación De Primavera En Mexicali B.C De 1950 Al 2009.....	44

Fig. 21.- Distribución De Temperaturas Máximas Promedio Para La Estación De Verano En Mexicali B.C De 1950 Al 2009.....	45
Fig. 22.- Distribución De Temperaturas Máximas Promedio Para La Estación De Otoño En Mexicali B.C De 1950 Al 2008.....	46
Fig. 23.- Temperaturas Máximas De Mayo A Septiembre Del Periodo De 1950 Al 2009 Máxima, Mínima Y Mediana Promedio De Mexicali B.C.....	46
Fig. 24 Grafica De Temperaturas Máximas Del Mes De Mayo De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	47
Fig. 25.-Histograma De Temperaturas Máximas Promedio Del Mes De Mayo De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	48
Fig. 26.- Grafica De Temperaturas Máximas Del Mes De Junio De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	48
Fig. 27.-Histograma De Temperaturas Máximas Promedio Del Mes De Junio De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	49
Fig. 28.- Grafica De Temperaturas Máximas Del Mes De Julio De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	50
Fig. 29.-Histograma De Temperaturas Máximas Promedio Del Mes De Julio De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	51
Fig. 30.- Grafica De Temperaturas Máximas Del Mes De Agosto De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	51
Fig. 31.-Histograma De Temperaturas Máximas Promedio Del Mes De Agosto De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	52
Fig. 32.- Grafica De Temperaturas Máximas Del Mes De Septiembre De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	53
Fig. 33.-Histograma De Temperaturas Máximas Promedio Del Mes De Septiembre De 1950 Al 2009 En Mexicali B.C.....	53
Fig. 34.- Grafica De Frecuencia De Edad De Personas Afectadas Por Calor Del Periodo De 2006 Al 2009 Del Hospital General Mexicali.....	54
Fig. 35.- Grafica Clasificación Para Las Ocupaciones Mas Frecuentes En Las Personas Afectadas Por Calor De 2006 Al 2009 Del Hospital General Mexicali.....	58
Fig. 36- Histograma De Datos Lugar De Procedencia De Personas Afectadas Por Calor De 2006 Al 2009 En Hospital General Mexicali.....	58
Fig. 37.- Histograma De Diagnostico De Personas Afectadas Por Calor De 2006 Al 2009 En Hospital General Mexicali.....	59

Fig. 38.- Histograma Del Sexo De Las Personas Afectadas Por Calor Del Periodo De 2006 Al 2009 Del Hospital General Mexicali.....	59
Fig. 39.-Parte Del Código S/R Para Calcular El Parámetro De Hurst.....	60
Fig. 39 Frecuencia De Ondas De Calor En Mexicali B.C De 1950 Al 2009-.....	61
Fig. 40 Ondas Cálidas Del Mes Julio En Mexicali B.C De 1950 Al 2009.....	61
Fig. 41 Ondas Cálidas Del Mes Agosto En Mexicali B.C De 1950 Al 2009.....	62
Fig. 42 Ondas Cálidas Del Mes Agosto En Mexicali B.C De 1950 Al 2009.....	62
Fig. 43 Código De Estimador De Hurst.....	63
Fig. 44.-Parte Del Código S/R Para Calcular El Parámetro De Hurst.....	64
Fig. 45.- Valor De H Para Temperaturas Mínimas De Mexicali. B.C Del Periodo 1950 Al 2009.....	65
Fig. 46.-Valor De H Para Temperaturas Máximas De Mexicali. B.C Del Periodo 1950 Al 2009.....	66
Fig. 47 Discretizacion De Temperaturas Máximas De Mexicali BC.....	67

## Índice de Tablas

Tabla 1.- Evaluación De Cambios Observados Y Proyectados En Tiempo Extremo Y Eventos Climáticos (Wh0, 2003).....	5
Tabla 2 Definición De Onda Cálida.....	11
Tabla 3.-Mortalidad Atribuible A Las Ondas De Calor En Europa En El Periodo De 1976-1995(Who,2003).....	13
Tabla 4. Muertes En Europa Por La Onda Cálida Del 2003. *Tomada Solo Una Parte De Haines Et Al., 2005.....	14
Tabla 5 Clasificación De Temperaturas Máximas Diarias.....	37
Tabla 6.-Morbilidad Y Mortalidad Por Calor En Mexicali B.C., Del 2006 Al 2009 De Acuerdo A Hospital General.....	55
Tabla 7.-Casos De Personas Afectadas Por Golpe De Calor De 2006 Al 2009.....	56
Tabla 8.- Casos De Agotamiento Por Calor Del 2006 Al 2009.....	56
Tabla 9.- Casos De Deshidratación Moderada Del 2006 Al 2009.....	57
Tabla 10.- Casos Por Deshidratación Severa Del 2006 Al 2009.....	57
Tabla 11.- Casos Por Insolación Del 2006 Al 2009.....	57
Tabla 12.- Datos de la variable Sexo.....	68
Tabla 13.- Datos de la Variable Lugar.....	68
Tabla 14.- Datos de la variable Edad.....	68
Tabla 15.- Datos de la variable Ocupación.....	69
Tabla 16.- Datos de la variable Mes.....	69
Tabla 17.-Resultados de la Red Bayesiana para el mes de Mayo Golpe de Calor.....	71
Tabla 18.-Resultados de la Red Bayesiana para el mes de Junio.....	71
Tabla 19.-Resultados de la Red Bayesiana para el mes de Julio.....	72
Tabla 20.-Resultados de la Red Bayesiana para el mes de Agosto.....	72

Tabla 21.- Resultados de la Red Bayesiana para el mes de Septiembre.....	73
--	----

## RESUMEN

Dado que en la ciudad de Mexicali, B.C. existe un problema recurrente de salud pública producto de las ondas cálidas, en esta tesis se propone una definición local de éstas, para posteriormente estimar su evolución histórica y realizar un análisis conjunto de problemas asociados con el calor y los eventos extremos de altas temperaturas. Este estudio se basa en técnicas de estadística descriptiva, redes bayesianas, series de tiempo y el parámetro de Hurst. Con la aplicación de dichas técnicas se logró tener un conocimiento claro del comportamiento de la frecuencia, intensidad y severidad de las ondas cálidas. Entre los resultados más importantes destacan los siguientes: a) La asociación de las temperaturas extremas, máxima y mínima, y la salud humana permitió definir una onda cálida como aquel evento conjunto en que la temperatura máxima  $\geq 42^{\circ}\text{C}$  y la temperatura mínima  $\geq 29^{\circ}\text{C}$ , por dos o más días consecutivos; b) Con esa definición aplicada, en el período de 1950 al 2009, se presentaron un total de 83 ondas cálidas; c) El mes de Agosto es el más frecuente y severo, pues en el período temporal estudiado se presentaron un total de 43 ondas cálidas con una intensidad de 2 a 4 días consecutivos, d) Le sigue el mes de Julio que presentó un total de 38 ondas cálidas, destacándose el año 2009 en el que se presentó una onda cálida con una intensidad de 12 días consecutivos; e) El resultado anterior concuerda con lo que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en su reporte de 2007, ha encontrado respecto al incremento en la intensidad y severidad de las ondas cálidas; f) Las afectaciones más importantes por una onda cálida en la ciudad de Mexicali, B.C son, en orden de frecuencia: Golpe de Calor, Agotamiento por Calor, Deshidratación Moderada, Deshidratación Severa e Insolación; g) De acuerdo a los resultados de la red Bayesiana el mes de Julio es el de mayor probabilidad de que una persona sea afectada por el golpe de calor; h) Este estudio adolece de la predicción del fenómeno de las ondas cálidas pero sienta el precedente de realizarla de acuerdo a los resultados del parámetro de Hurst.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

De acuerdo al Centro para la Investigación sobre Epidemiología de Desastres (CRED, 2007), un desastre se define como “una situación o evento, que supera la capacidad local, que requiere apoyo a nivel nacional o internacional para asistencia externa; es un evento no previsto y a menudo repentino que causa gran daño, destrucción y sufrimiento humano”. En el sentido estricto, los desastres no son naturales, sino que se deben a la presencia de un fenómeno natural (terremoto, inundación, temperaturas extremas, etc.) combinado con la presencia del hombre en su entorno. En el caso de eventos de tiempo atmosférico llegan a ser un desastre cuando la sociedad y los ecosistemas son incapaces de enfrentarse a ellos con eficiencia. En particular, el número de desastres a nivel mundial, de 1980 a 2005, están relacionados a factores hidrometeorológicos (fig. 1), el 70% con pérdidas de vidas (fig. 2), y el 75% de pérdidas económicas (fig. 3) relacionadas a la misma causa. Esta creciente vulnerabilidad (debido al mayor número de gentes que viven en áreas expuestas y marginales, o debido al desarrollo de propiedades de más alto valor económico en zonas de alto riesgo) está incrementando el riesgo, al mismo tiempo que los esfuerzos de los gobiernos locales están tratando de mitigar posibles efectos.

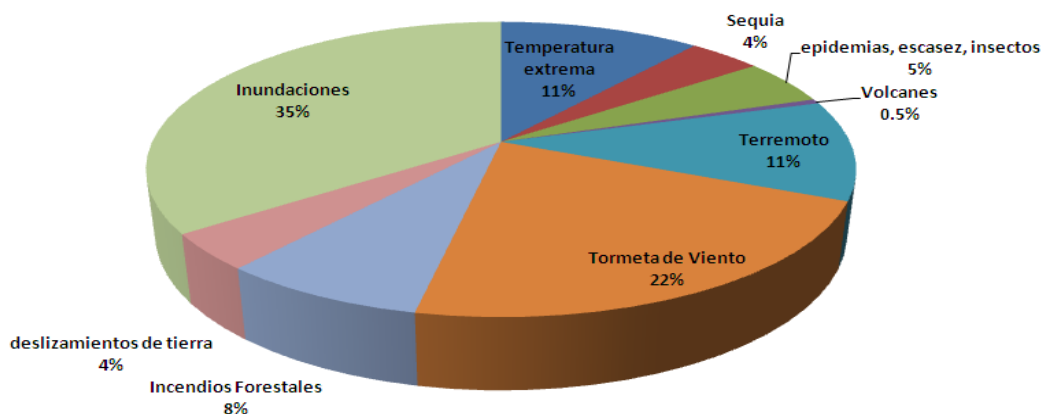


Figura 1 Ocurrencia de desastres de 1980 a 2005

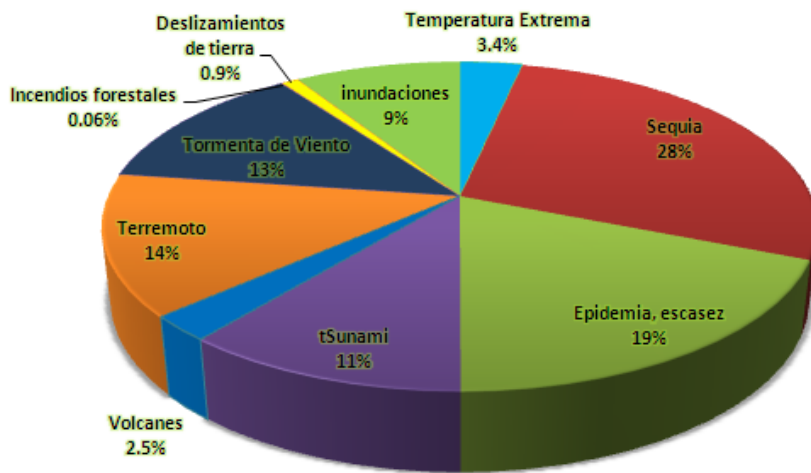


Figura 2 Pérdida de vidas humanas por desastres de 1980 a 2005

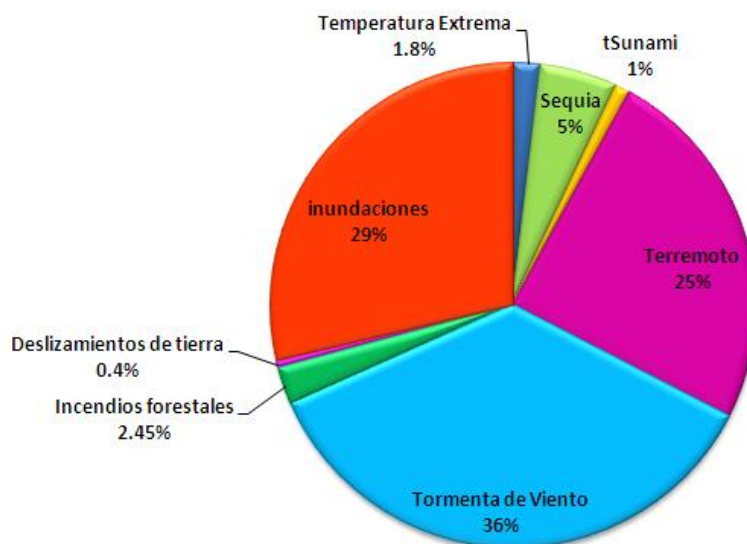


Figura 3 Pérdidas económicas por desastres de 1980 a 2005

Dentro de los desastres naturales, las ondas de calor, que es el tema de esta tesis, se refieren a períodos de tiempo inusualmente cálido que afectan la salud humana y que pueden incrementar la incidencia de mortalidad y morbilidad en las poblaciones afectadas. Estudios realizados en numerosos países han mostrado diferentes valores a partir de los cuales se incrementa la mortalidad asociada al calor, dependiendo de la aclimatación. Debido a que carecen de la violencia repentina y espectacular, de por ejemplo, un ciclón tropical, y a que el número de muertos, no son obvios en un principio, las ondas de calor han recibido muy poca atención en el pasado; sin embargo, sucesos relativamente

recientes, como el caso excepcionalmente extremo de la onda de calor sostenida en los meses de julio y agosto del año 2003, en Europa y el oeste de Rusia, resultaron en un incremento significativo de morbilidad y mortalidad humana, con estimadores que variaron de 22, 000 a 50, 000 decesos (WHO, 2004). Algunos autores piensan que ese evento es un ejemplo de una "forma de las cosas por venir" (Beniston y Diaz, 2004) por lo que es importante realizar análisis locales para tomar decisiones en términos de propuestas de adaptación y mitigación.

Existen factores de riesgo que suelen acompañar a este tipo de eventos extremos de temperatura, tales como la edad, sexo, ocupación, etc., por lo que Organización Meteorológica Mundial (OMM) no ha podido definir este término para ser aplicado globalmente debido a que las afectaciones pueden ser diferentes aún en la misma localidad. Algunos autores sugieren que tales eventos deberían incluir la excedencia de umbrales de temperatura en el área de interés (Robinson, 2001; Sheridan, 2003); esta definición identifica cambios en la frecuencia y duración de las ondas cálidas. Una información preocupante es que según el cuarto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), la frecuencia de días cálidos, noches cálidas y ondas de calor se han incrementado en los últimos 50 años, y advierte que mas estrés por calor se puede esperar en este siglo XXI.

Recientemente se ha reconocido que los riesgos relacionados con el calor se pueden reducir mediante sistemas de alerta, lo que ayudaría a los tomadores de decisiones y al público en general protegerse contra el tiempo atmosférico cálido (WCP, 2007; Sheridan y Kalkstein, 2004; Kovats y Ebi, 2006; Nicholls\*, 2007).

## **1. 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las altas temperaturas del aire pueden afectar la salud humana y exacerbar condiciones de morbilidad en las poblaciones afectadas. Los grupos de población que tienen un elevado riesgo ante eventos cálidos extremos son los más ancianos, los niños, o quienes tienen problemas físicos o mentales. Por otro lado, recientes investigaciones indican que conforme las temperaturas globales continúen incrementándose debido al cambio climático, el número y la

intensidad de eventos extremos probablemente también aumentarán (WMO, 2003). Cada año están ocurriendo nuevos eventos extremos en todo el mundo, pero en años recientes el número de tales eventos parecen estarse incrementando. En la tabla 1 se muestra una proyección de la evaluación de los cambios observados y proyectados de eventos climáticos.

Tabla 1.- EVALUACIÓN DE CAMBIOS OBSERVADOS Y PROYECTADOS EN TIEMPO EXTREMO Y EVENTOS CLIMÁTICOS (WHO 2003)

<b>Confianza en los cambios observados(última mitad del siglo 20)</b>	<b>Cambios en el fenómeno</b>	<b>Confianza en cambios proyectados (durante el siglo 21)</b>
Probable	Temperaturas máximas más altas y más días de calor en casi todas las zonas terrestres	Muy probable
Muy probable	Temperaturas mínimas más elevadas, menos días fríos y días de heladas en casi todas las zonas terrestres	Muy probable
Muy probable	Reducción del rango de temperatura diurna en zonas de mayoría de la tierra	Muy probable
Probable en muchas áreas	Aumento del índice de calor (combinación de temperatura y humedad) en las zonas terrestres	Es probable que en la mayoría de las áreas

Los cambios de magnitud y frecuencia de las ondas de calor han ocasionado grandes impactos sobre la salud de las poblaciones. Estudios recientes (Tobías\*, 2009; Ebi, 2007; Haines\*,2005; Kysel, 2004) han analizado los efectos en la salud derivados de la exposición durante largo tiempo a altas temperaturas. Tal es el caso de los denominados golpes de calor, que se trata de la alteración más grave de la regulación térmica corporal (ocurre cuando la temperatura corporal rebasa los 40°C) y cuya relación son los incrementos de morbilidad y mortalidad.

Para la República Mexicana se ha observado que los niños y los mayores de 65 años, estos últimos en porcentaje de incremento en el país, son los más vulnerables a fenómenos meteorológicos extremos, tales como las ondas de calor y a enfermarse por padecimientos como las diarreas, que como se sabe, tienden a incrementarse en las temporadas de calor (Riojas et. al, 2006).

Debido a las altas temperaturas mucha gente muere o se enferma en verano, en particular en la República Mexicana se han tomado algunas medidas al respecto; actualmente se cuenta con un programa llamado “Programa de Vigilancia Epidemiológica y Prevención de Daños a la Salud, por Temperaturas Extremas Naturales” el cual consiste en *medidas reactivas* que se tienen que tomar al llegar pacientes o personas con síntomas o afectadas por el calor, pero el problema fundamental es que no se tiene un *sistema preventivo* para atacar el problema de fondo, el cual consistiría en dar aviso a la población con oportunidad, es decir, días anteriores a que se presente una onda de calor.

### 1.3. JUSTIFICACION

El cuarto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2007) muestra evidencias contundentes del calentamiento global debido al marcado aumento en las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto de invernadero (GEI) que han resultado de las actividades humanas desde 1750, y que han excedido por mucho los valores preindustriales. En ese cuarto reporte del IPCC se argumenta que el calentamiento global intensifica el ciclo hidrológico, aumenta la variabilidad climática y la intensidad de eventos extremos, como inundaciones, sequías, incendios forestales y ondas de calor, produciendo impactos considerables en diversos sectores de la sociedad. A nivel global, para el caso de las ondas cálidas se prevé una ascendencia en el número de ellas, respecto al escenario base de 1980-1999, con tres diferentes escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (figura 4).

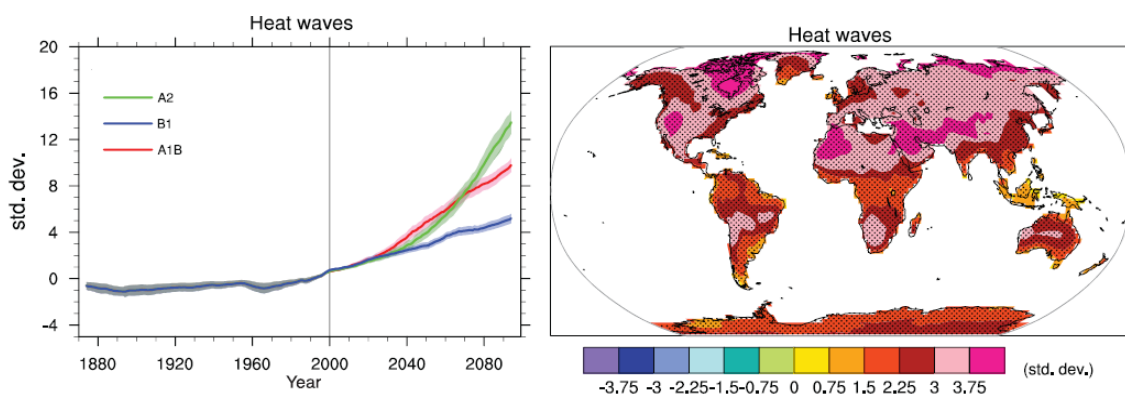


Figura 4. Cambios en las ondas de calor globalmente promediadas para tres escenarios de emisiones (A2, B1 y A1B), y cambios en los patrones espaciales de ondas de calor con respecto a los valores medios de 2080-2099 menos 1980-1999 para el escenario de emisiones A1B. Fuente: IPCC, 2007.

En particular el Estado de Baja California es especialmente vulnerable a los inminentes cambios del clima mundial y regional. De acuerdo a los escenarios que presenta el IPCC, la región noroeste de México tendrá una disminución del 10 al 20% en su precipitación total anual, mientras que la temperatura media anual aumentará entre 1.5 y 2.5°C en los próximos 50 años. Se sabe que al haber un aumento en la temperatura media se espera un cambio gradual en el promedio de otras variables climatológicas, lo cual intensificaría el ciclo hidrológico y posiblemente algunos fenómenos como El Niño/La Niña y la intensidad de tormentas tropicales (Knutson and Tuleya, 2004). El incremento en la variabilidad climática posiblemente producirá más inundaciones invernales asociadas con eventos de El Niño, más sequías asociadas con evento de La Niña, más ondas de calor (Meehl and Tebaldi, 2003) y más incendios forestales durante el verano (Westerling et al. 2006).

En Baja California ya hay estudios que evidencian alteraciones a eventos extremos; se ha observado un aumento en las ondas cálidas (García *et al.*, 2010) con un impacto fuerte en el sector salud; de hecho en los últimos cuatro años (2004-2007) han ocurrido 43 defunciones por el llamado golpe de calor en el municipio de Mexicali. Por lo tanto, es de suma importancia investigar más los factores que producen las ondas de calor para entender mejor los efectos de las temperaturas extremas y el papel que la adaptación puede jugar en minimizar estos efectos. Por ejemplo, expandir el uso de aire acondicionado puede ayudar a la gente a enfrentarse con el calor extremo; sin embargo, también se incrementaría el consumo de energía, el cual, al usar fuentes de energía de combustibles fósiles, podría contribuir a aumentar el calentamiento global y la contaminación del aire. En suma, es cada vez más urgente contar con información confiable y oportuna que contribuya a la toma de decisiones para disminuir la vulnerabilidad de la población sensible o en grupos de población en desventaja para poder minimizar efectos no deseados.

Actualmente, en Baja California, se cuenta con un plan reactivo que indica las acciones a realizar ante casos por temperaturas extremas, esto durante todo el verano. En la figura 5 se muestra el esquema que ha propuesto realizar el sector salud. Estas acciones remarcan la importancia que se le ha dado al tema con el fin de reducir la morbilidad y la mortalidad humana a nivel regional.



Figura. 5.- Acciones a realizar ante casos por temperaturas extremas en Baja California.

Es importante destacar también que los estudios realizados a la fecha sobre las ondas de calor, los cuales se pueden dividir en estadísticos y sinópticos, han logrado un conocimiento adecuado del fenómeno, tal como su ocurrencia, intensidad y el sistema climatológico asociado; sin embargo, dado su patrón recurrente y su asociación con características similares pasadas surge la inquietud, en una primera etapa, de analizar el desarrollo histórico de las ondas cálidas en la ciudad de Mexicali, B.C. y su afectación en la salud humana. En una segunda etapa, ya con el conocimiento adquirido, se podría proponer un

método con herramientas de inteligencia artificial que permita tener un sistema de alerta preventivo de este fenómeno natural, a partir de las experiencias pasadas. Esto permitiría en una ciudad como Mexicali, en primer lugar, conocer con antelación, las ondas cálidas que podrían presentarse y mediante la interacción con los organismos de protección civil alertar a la población. La connotación para el sistema de salud pública es obvia, ya que se podrían preparar adecuadamente para hacerle frente y evitar el número de decesos y enfermos por esta causa.

#### **1.4 HIPOTESIS**

Se puede lograr un sistema preventivo de las ondas cálidas y disminuir su afectación en la salud de las personas si se logra aprehender a nivel local la esencia del fenómeno climático.

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **Objetivo General**

Estudiar la asociación de las altas temperaturas y la salud humana en Mexicali, B.C., mediante la revisión de la ocurrencia de las ondas cálidas y las afectaciones de las personas, para tener un conocimiento detallado de su impacto en la población afectada.

##### **Objetivos Específicos**

- Proponer criterios, estadísticos y de salud pública, en la definición local de una onda cálida.
- Realizar análisis temporal de las temperaturas máximas y mínimas.
- Analizar estadísticamente la frecuencia, intensidad y severidad de las ondas cálidas en la ciudad de Mexicali, B.C.
- Determinar las afectaciones en la salud humana provocadas por las altas temperaturas.

- Mediante una red bayesiana modelar el fenómeno climático de la onda de calor.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 DEFINICION DE ONDA CALIDA

Definir una onda de calor es un reto en si mismo. De manera general se puede decir que las ondas de calor son períodos de tiempo inusualmente cálido que afectan la salud humana y que pueden incrementar la incidencia de mortalidad y morbilidad en las poblaciones afectadas. Sin embargo, este intento de definición es ambiguo y se presta a múltiples interpretaciones a causa de que la percepción del calor, en principio, depende de la interacción de varias variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, nubosidad, etc.), y porque el efecto negativo no se cumple por igual para todas las poblaciones afectadas, así que el criterio para definir una onda cálida es distinto dependiendo de la ciudad o región elegida. Se han identificado varios factores de riesgo que acompañan a este tipo de eventos tales como la *edad, ingreso económico, nivel de aislamiento social, trabajar sin aire acondicionado ó vivir en apartamentos de pisos superiores* (Kovats y Ebi, 2006). Si se habla de manera particular para la República Mexicana y se eligen ciudades como Veracruz, Monterrey, Mérida, La Paz, Culiacán, Distrito Federal, Tijuana o Mexicali, con seguridad se puede decir que tendrían diferentes criterios para decidir cuándo se tendría un evento inusualmente cálido, y que su punto de partida dependería fundamentalmente de las temperaturas normales climáticas establecidas para esa ciudad. Este criterio, lo más razonable es que no tenga un umbral fijo, sino que vaya cambiando conforme va evolucionando la conducta de las temperaturas máximas durante el verano, o en algunas ciudades de la República Mexicana, durante la primavera. Dependiendo de la localidad o región dentro de un país, se ha visto que el criterio para identificar un evento cálido extremo cae en cualquiera de las dos categorías siguientes: 1) comparación del tiempo atmosférico actual y pronosticado y su relación con algún algoritmo de mortalidad, y 2) basadas en consideraciones estadísticas respecto la base climática de datos local.

En cualquiera de los casos, la Organización Meteorológica Mundial no ha podido definir completamente, y con carácter general, el término de onda

cálida, ya que varían en carácter e impacto, aun en la misma localidad. Sin embargo algunos autores sugieren que tales eventos deberían incluir la excedencia de umbrales de temperatura en el área de interés (Robinson, 2001; Sheridan, 2003); esta definición identifica cambios en la frecuencia y duración de las ondas cálidas. Los métodos utilizados en otros países como Estados Unidos, Canadá, Grecia, China entre otros, para el análisis de las ondas cálidas no se pueden replicar tal cual en otras ciudades del mundo, ya que son diferentes las condiciones en las que se llega a presentar una onda cálida; por ejemplo, para la ciudad de Mexicali, B.C., se ha propuesto que ocurre una onda cálida cuando la temperatura máxima rebasa un umbral estadístico (percentil 90 o percentil 95) durante dos días consecutivos (García et. al., 2008); para otras ciudades de Estados Unidos como Chicago, Cincinnati y St. Louis, se usan tres criterios para su definición: 1) que la temperatura máxima exceda el percentil 97.5, por al menos tres días, 2) que la temperatura mínima promedio rebase el percentil 97.5, por al menos tres días, y 3) que la temperatura máxima esté por arriba del percentil 81 para todo el período. En forma resumida, en la tabla 2 se presentan algunas propuestas realizadas en varias partes del mundo para la definición de una onda cálida.

Tabla 2 Definición de Onda Cálida

Kysely (2000)	TMAX $\geq$ T1(al menos 3 días) TMAX $\geq$ T1 (periodo completo) TMAX $\geq$ T2 ( T1= 30°C, T2= 25°C ), esto para Moravia (al sur de la República Checa)
Díaz (2002)	TMAX=P95, para ciudades de España: Madrid (36.5°C), Barcelona (30.3°C), Sevilla (41°C), Lisboa (33.5°C), Zaragoza (37.3°C), Huesca (36.1°C)
Díaz J (2004)	TMAX>P80, TMIN>P80 (al menos dos días), si TMIN> Med y TMAX > Med y hay un intervalo de 24hrs en que no se cumple la primera condición se forman dos periodos cálidos sucesivos.
Jauregui (2006)	TMAX $\geq$ 32°C (3 días o más) para México, D.F.
Beniston(2004)	TMAX = 30°C = P90
Abaurrea (2007)	TMAX=P95, TMAX=37°C, para ciudades de España: (Zaragoza) TMAX=35.8°C Huesca (exceso sobre el umbral)

Sheridan(2003)	HI = 35°C y 38°C (HI= Heat Index=Índice de calor)
Jianguo Tan et al., (2007)	TMAX> 35°C (al menos 3 días consecutivos) para la ciudad de Shanghai, China
A.McMichael (1999)	TMAX>31°C (Monterrey, N.L.), TMAX> 18°C (México, D.F.) (dos días de excedencias)
Kysely (2004)	TMAX>= 30°C (al menos 3 días)
Ebi and Meehl (2007)	TMAX>P97.5 al menos 3 días TMIN> P97.5(al menos 3 días), TMAX>P98(periodo completo)
Weisskopf (1999)	TMAX> 40.6°C TMIN > 26.7°C (dos días consecutivos, esto se refiere al índice de calor=HI.

## 2.2 ANTECEDENTES

### 2.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL

No cabe duda que el tema del cambio climático es un problema multidisciplinario que involucra impactos en diversos sectores socio-económicamente importantes, siendo uno de ellos el de salud pública. De acuerdo al IPCC (2007), se argumenta que el cambio climático puede afectar la salud por el resultado de un incremento en la frecuencia e intensidad de las ondas de calor con lo que mucha gente, sobre todo la más vulnerable, podría ser afectada negativamente por vivir bajo situaciones extremas.

A pesar de que el calor es un fenómeno, incluso más mortífero que el resto de los fenómenos atmosféricos combinados, los impactos en la salud humana se han minimizado durante mucho tiempo. En Estados Unidos, en el período de 1979 a 1999, se asociaron las muertes de 8015 personas a la exposición de calor excesivo (Sheridan Y Kalkstein, 2004). Éstas son solamente las muertes directas, pues no hay aún consenso en qué constituye una muerte relacionada con el calor (Sheridan, 2003). En la tabla 3 se presenta la mortalidad atribuible a ondas de calor en Europa en el período de 1976 a 1995 (WHO, 2003).

Tabla 3.-Mortalidad atribuible a las ondas de calor en Europa en el periodo de 1976-1995(WHO,2003)

Ondas de calor	Mortalidad Atribuida
1976, Reino Unido	<b>9,7% de aumento para Inglaterra y Gales y el 15,4% de aumento del área metropolitana de Londres. Incremento de casi el doble de la tasa de mortalidad en pacientes hospitalizados geriátricos (pero no otros pacientes)</b>
1981, Portugal	<b>1,906 muertes adicionales (todas las causas, todas las edades) en Portugal, 406 en Lisboa en julio, incluyendo 63 muertes por golpe de calor</b>
1983, Italia	<b>65 muertes por golpe de calor durante la ola de calor en la región de Lazio. En Roma 35% de aumento en las muertes en julio en relación a julio de 1982, en las personas de <math>\geq 65</math></b>
1987, Grecia	<b>2690 relacionadas con el calor ingresos hospitalarios con 926 muertes, el exceso de mortalidad estimada &gt; 2000</b>
1995, Reino Unido	<b>8.9% de incremento en la mortalidad (768) en Inglaterra y Gales, y 15.4% de incremento (184) en Londres</b>

En agosto de 2003, varios países Europeos sostuvieron una ola de calor severa, y solamente en Francia dio lugar a 14 800 muertes relacionadas con el calor, situación que provocó la renuncia del director de salud en ese país. La mayor parte de estas muertes ocurrieron en las zonas urbanas, donde las temperaturas máximas rompieron todos los récords. En la tabla 4 se presenta la distribución de la mortalidad por países.

Tabla 4. Muertes en Europa por la onda cálida del 2003. \*Tomada solo una parte de Haines *et al.*, 2005

<b>El exceso de mortalidad atribuidas al calor del verano de 2003 o el período de la ola de calor en Europa</b>	
<b>Población</b>	<b>Incremento de Mortalidad (%aumento)</b>
<b>2003-Inglaterra y Gales</b>	2091 muertes (17%) en el período de la onda cálida (4-13 Agosto)
<b>2003-Italia</b>	3134 muertes (15%) en todas las ciudades italianas (1 Junio-15 Agosto)
<b>2003-Francia</b>	14,802 muertes (60%) en la onda cálida (1-20 Agosto)
<b>2003-Portugal</b>	1854 muertes (40%) en Agosto
<b>2003-España</b>	4151 muertes (11%) en Julio y Agosto
<b>2003-Suiza</b>	975 muertes (6.9%) en el período de Junio-Septiembre
<b>2003-Holanda</b>	1400-2200 muertes (3.-5%) en el período de Junio-Septiembre
<b>200-Alemania</b>	1410 muertes en la onda cálida (1-24 Agosto)

En un estudio realizado en Lisboa (Dessai, 2002) se propuso un modelo empírico-estadístico para explicar la relación entre el golpe de calor y las muertes asociadas a ese fenómeno para los meses de Junio a Agosto. El período de observación fue de 1980 a 1998. El modelo utiliza la regresión entre el máximo de temperatura y el exceso de muertes relacionadas con el calor, basadas en la diferencia entre las muertes observadas y previstas. El modelo se validó con el coeficiente de correlación y el análisis residual. La mortalidad relacionada con el calor estaba entre 5.4 y 6 muertes por cada 100,000 habitantes dependiendo del método usado para calcular el número de muertes. Ambos métodos de la validación mostraron que el modelo tiene una exactitud media a alta en el modelado de las muertes relacionadas con el calor.

Grize *et al.*, (2003), en un estudio realizado en Suiza, dan evidencia de un estimado de 7% de aumento en la mortalidad por cualquier causa asociada con los episodios de calor. El exceso de mortalidad se limitó a la región al norte de

los Alpes y más pronunciada entre los habitantes de las ciudades de Basilea, Ginebra y Lausana, y el grupo más vulnerable fueron los ancianos.

Otro punto importante asociado al aumento de decesos es la carencia de los recursos para adaptarse a estos eventos cálidos extremos, lo que las hace ser especialmente vulnerables, tal y como ha ocurrido en algunas ciudades latinoamericanas, pudiéndose mencionar, por ejemplo, a las ciudades de México, Caracas y La Habana (Moreno, 2006).

De acuerdo a Haines et al., (2006) los efectos del cambio climático en la salud es probable que sean predominantemente negativos y de mayor impacto en gran medida en los países de bajos ingresos, donde la capacidad de adaptación no sólo es más débil, sino también en la mayoría de los grupos vulnerables en los países desarrollados. También Katavoutas \*, (2009), estimó los efectos de los episodios de ola de calor en el equilibrio térmico del cuerpo del ser humano, para lo cual realizó de manera simultánea, mediciones termofisiológicas en adultos sanos no aclimatados de diferente sexo en la periferia del área metropolitana de Atenas, Grecia. Sobre la base de mediciones experimentales de la temperatura promedio de la piel y la producción de calor metabólico, flujos de calor hacia y desde el cuerpo humano, se estimaron índices biometeorológicos y la carga de calor producida con la ecuación de balance de calor. Al comparar los valores experimentales con los obtenidos a partir de estimaciones teóricas, se reveló un gran estrés por calor especialmente en los varones, mientras que los valores teóricos subestimaron el estrés por calor. El estudio también reveló que los factores termofisiológicos, tales como la temperatura promedio de la piel y la producción de calor metabólico, desempeñan un papel importante en la determinación de los patrones de flujos de calor en la ecuación de equilibrio térmico.

Los valores teóricos de la piel estimados significan que la temperatura, tal y como se deriva de una ecuación empírica no puede ser apropiada para describir los cambios que se producen en un individuo no aclimatado. Además, los cambios en la producción de calor metabólico fueron significativos incluso para la actividad normal.

Para examinar la eficacia de los sistemas municipales de advertencia y seguimiento por el calor, Sheridan (2007) hizo una evaluación minuciosa de los planes de mitigación de calor de cuatro ciudades de América del Norte: Dayton, Ohio, EE.UU., Filadelfia, Pennsylvania, EE.UU.; Phoenix, Arizona, EE.UU.; y Toronto, Ontario, Canadá. Esta evaluación consistió en realizar una encuesta de los residentes en las áreas metropolitanas de las ciudades que estimó la percepción de su propia vulnerabilidad al calor, así como su conocimiento de las advertencias al calor y las actividades recomendadas para ayudar a mitigar sus efectos. En total, participaron 908 personas en la encuesta telefónica. Algunos de los principales resultados indican que el conocimiento de la advertencia por el calor era casi universal (90%), y probablemente debido a la cobertura de los medios de comunicación más difundido que cualquier otro.

### **2.2.2 A NIVEL NACIONAL**

Parece ser que países como México serán los más afectados por este fenómeno. Al respecto organizaciones no gubernamentales como Greenpeace (2007) dice...“Los escenarios del cambio climático para México son alarmantes, sobre todo por la vulnerabilidad social, económica y política, ya que un alto porcentaje de la población no cuenta con servicios de salud a su alcance y viven en zonas de riesgo”

Otra organización como Proclimas (2009), comenta...“Uno de los varios impactos derivados del cambio climático en México, será el incremento de las ondas de calor, caracterizadas por el aumento de la temperatura (entre 5 y 7 grados centígrados o más)”...

El Instituto Nacional de Ecología (INE, 2006) como organismo público gubernamental preocupado por el cambio climático y sus impactos en el sector salud ha comentado que los eventos climáticos extremos como las ondas de calor, afectarán a la salud de la población mexicana, no únicamente porque las temperaturas y condiciones de humedad extremas son propicias para los golpes de calor, sino también por la aparición de brotes de enfermedades transmitidas por vectores, por agua y alimentos. Todo esto causaría un aumento en el número de enfermos a tratar por casos de dengue, paludismo y

cólera, por lo que los impactos de los eventos extremos del clima impactan de manera muy importante en la salud humana.

Estas repercusiones en la salud afectarán a las poblaciones más vulnerables, como son los niños pequeños, los ancianos, los enfermos, los pobres y las poblaciones aisladas (WHO, 2006); cabe señalar que la población de adultos mayores en México, está en aumento, por lo que cada vez habrá más habitantes de este grupo expuestos a los efectos de las ondas de calor.

Con el aumento relativo y absoluto de la población de edades avanzadas, México ha iniciado el proceso de envejecimiento demográfico. Entre 2005 y 2008, el número de adultos mayores pasó de 7.9 a 8.8 millones, es decir, creció un 3.5%, mientras que la población total creció 0.88%.

Regionalmente, en lo que respecta a los estragos por el calor, los estados con mayor mortalidad por golpe de calor, entre 1979 y 2003, son Sonora y Baja California (figura 6) con un número de casos entre 56 y 127 (INE-SEMARNAT, 2006). La misma publicación refiere que en 1998, uno de los años más calurosos de fines del siglo pasado, se incrementaron las muertes por golpe de calor.

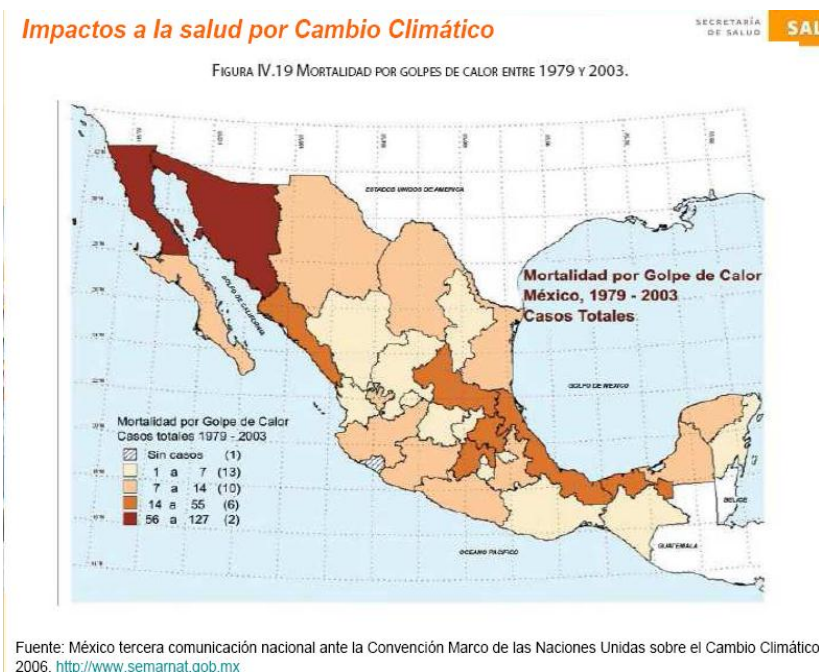


Figura 6.- Mortalidad por Golpe de Calor en México

### 2.3 EFECTOS ASOCIADOS AL CALOR

La temperatura interna normal del cuerpo humano se debe mantener alrededor de 37°C (98.6°F), independientemente de las amplias fluctuaciones externas, lo que realiza mediante procesos fisiológicos; de hecho es lo que nos permite vivir bajo las condiciones térmicas extremas, desde el frío polar, hasta los muy cálidos desiertos. Esta temperatura interna del cuerpo se detecta por ciertas células nerviosas, que cambian su velocidad de generación de impulso nervioso de acuerdo a la temperatura; se sitúan en una parte del cerebro, el hipotálamo, y son llamados los sensores térmicos centrales ó internos.

Mientras que la temperatura interna es de 37°C, la distribución de las temperaturas para distintas partes del cuerpo humano puede ser diferente (figura 7).

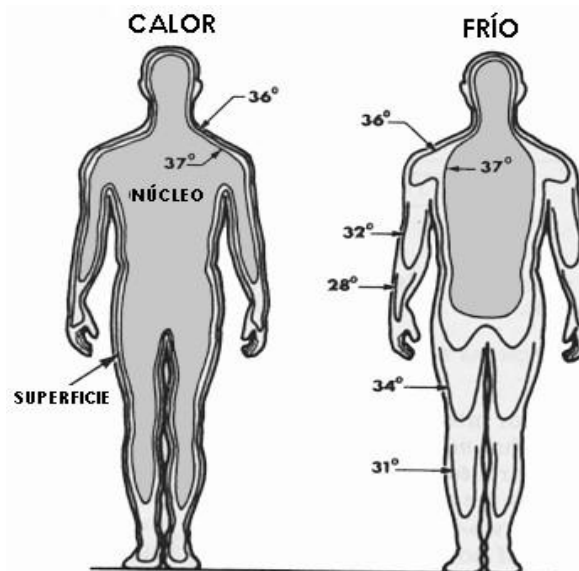


Figura. 7 Distribución de las temperaturas del cuerpo humano

Si la temperatura aumenta, inmediatamente los vasos sanguíneos se dilatan incrementándose el flujo de sangre a través de la piel, proceso conocido como *vasodilatación*, y a partir de este proceso inicia la sudoración. Con este mecanismo el organismo intenta disminuir la temperatura del cuerpo tomando energía de la piel para evaporar el líquido de sudoración. El caso contrario es cuando baja la temperatura del cuerpo; esto significa que los vasos sanguíneos se contraen con el objeto de disminuir el flujo de sangre por la piel, proceso que se le conoce como *vasoconstricción*. Adicionalmente a este proceso, pueden

suscitarse estímulos musculares causando en algunos casos temblores en los mismos (figura 8, adaptada de Kvisgaard, 2000).

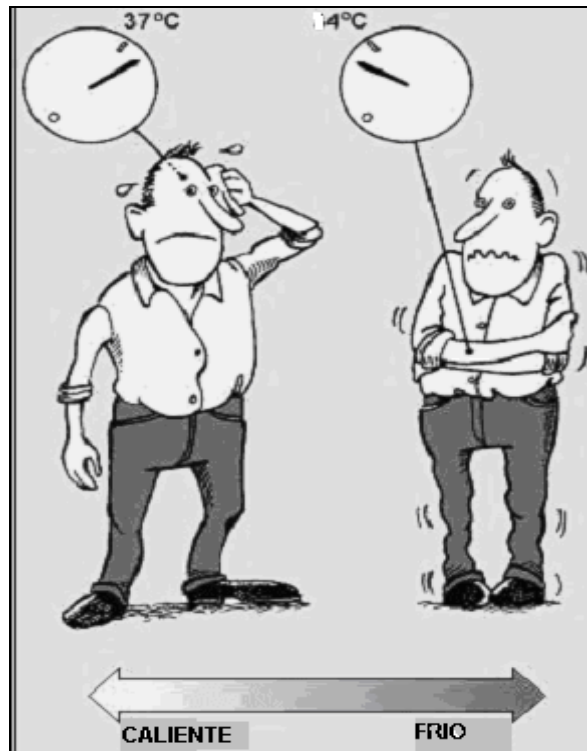


Figura. 8 Mecanismos termorregulatorios del cuerpo humano

La exposición a altas temperaturas puede provocar deshidratación, insolación, agotamiento por calor y golpe de calor, especialmente cuando los altos valores de temperatura son combinados con alta humedad y actividad física intensa.

Una onda de calor puede afectar a cualquier ser humano, pero las características de las personas más vulnerables al calor extremo son:

- las personas mayores, especialmente los mayores de 75 años
- bebés y niños pequeños
- personas con una enfermedad crónica grave, sobre todo con problemas cardíacos o respiratorios
- personas que abusan del alcohol o las drogas.
- personas que son físicamente activos, por ejemplo, los trabajadores al aire libre o los que practican deportes.

Cuando hace mucho calor, el cuerpo solo se enfría mediante la transpiración y la irrigación de la piel. El corazón trabaja más, lo que le pone en peligro al igual que otros órganos vitales. Cuando llega la tarde, esto es que el sol se oculta, permite que el cuerpo no se agote. Lo importante de este proceso es que las temperaturas al descender, permiten que el cuerpo se recupere. Por ejemplo, en la onda de calor en Europa en el año 2003, fueron las temperaturas nocturnas las cuales no bajaron más allá de los 30 °C, lo que desencadenó la catástrofe y provocar miles de muertes.

Los principales riesgos asociados a una onda de calor son:

- Deshidratación
- Agotamiento por Calor
- Insolación
- Golpe de Calor

En los siguientes párrafos se describe cada una de estas afectaciones  
**Deshidratación:** se refiere a la falta de líquidos corporales para que el cuerpo lleve a cabo sus funciones a nivel óptimo. Esta afectación tiene consecuencias negativas en el organismo, tales como la circulación sanguínea, el estado mental, la orina, etc. La deshidratación se clasifica en leve, moderada o severa respecto a la base del porcentaje de líquido corporal que se ha perdido o que no se ha repuesto. La deshidratación severa es una situación de emergencia potencialmente mortal.

**Agotamiento por Calor:** se produce por la pérdida de líquidos y sales minerales por el profuso sudor, y si no se corrige, puede evolucionar hacia el golpe de calor. Es especialmente grave en los bebés, ancianos y personas enfermas. Se caracteriza por sensación de cansancio, flacidez y desmayo; con dolor de cabeza, náuseas y vómitos, pulso débil y rápido, respiración acelerada y piel fría, pálida y húmeda.

**Insolación:** Enfermedad causada por la exposición prolongada a temperaturas altas, ingestión limitada de líquidos o fallo de los mecanismos del cerebro regulador de la temperatura. Es más frecuente en las personas mayores.

**Golpe de calor** se produce por una larga exposición al calor, o por realizar ejercicio físico intenso o trabajar en ambiente caluroso y húmedo, de manera que el organismo pierde abundantes líquidos por el sudor. El paciente tiene aumento de la temperatura, hasta 40 °C, *piel seca, enrojecida y caliente*, con dolor de cabeza, náuseas, somnolencia y sed intensa. Puede llevar a un estado de confusión, convulsiones y pérdida de conciencia.

## **2.4 SISTEMAS DE ALERTA.**

El objetivo de los sistemas de alerta es permitir una respuesta adecuada de los servicios públicos, así como dar a conocer medidas preventivas mediante comunicados a la población (WHO, 2004). En realidad muy pocas ciudades cuentan con esos sistemas, y regularmente se proponen para emitir un aviso de alerta, cuando un umbral de temperatura y humedad es rebasado. Sin embargo, para que un sistema de alerta sea eficaz debería estar basado en los factores del impacto a la salud, los cuales pueden ser distintos en cada lugar. Es decir, es muy importante tener conocimiento epidemiológico adecuado en torno a la relación que guarda el binomio temperatura-salud y algunas otras características climáticas del área de estudio.

En el 2003 la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003) mostró la utilidad de los sistemas de alerta del calor (HHWS, por sus siglas en inglés) para las ciudades de Roma y Lisboa. Estas ciudades utilizan una aproximación sinóptica para identificar las masas de aire que se han asociado a efectos negativos sobre la mortalidad en esa población. En el 2007 el Programa de los usos y de servicios del clima del mundo de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés), con la ayuda de expertos de la Comisión de la WMO para la climatología y La Organización Mundial de la Salud, presentó un prototipo de un sistema de alarma desarrollado para ciudades europeas (Roma, Barcelona, París, Londres, Budapest) con el propósito de predicción y alerta para los residentes de las ciudades sobre las condiciones atmosféricas potencialmente opresivas por el calor.

En Estados Unidos, varias oficinas del Servicio Nacional del Tiempo (NWS, por sus siglas en inglés) han implementado un sistema de aviso para el calor. La mayoría de estos sistemas emiten avisos por calor excesivo basados en el

siguiente criterio: “que el índice de calor exceda de 40.5–43°C (dependiendo del clima local) por al menos dos días consecutivos (NWS, 2006)”..., Sin embargo hay varios problemas con esta guía. Primero, los umbrales para emitir avisos son arbitrarios; no ha habido estudios que sugieran que la salud humana se empieza a deteriorar por arriba de un índice de calor de 43°C. La otra cuestión es que los mismos umbrales se aplican para numerosas ciudades de Estados Unidos a pesar del hecho de que la respuesta humana a un índice de calor de 43°C podría ser muy diferente para lugares como Chicago y Atlanta (Kalkstein et al. 1996b). Tratando de corregir esas deficiencias, en el verano de 2002 se adoptó un nuevo sistema de alerta para la ciudad de Phoenix, AZ (Sheridan y Kalkstein, 2004). El sistema de alerta de Phoenix se basa en la ocurrencia conjunta de dos masas de aire cálidas que se han asociado con incremento en la mortalidad humana: una tropical húmeda, y otra continental seca; este sistema de alerta se basa en la respuesta que el ser humano tiene en su salud y no con umbrales arbitrarios del índice de calor (Kalkstein y Sheridan, 2007).

## **2.5 PREDICCIÓN DE ONDAS CÁLIDAS**

Beniston y Diaz (2004) muestran que un modelo meteorológico llamado HIRHAM4, operado por el Instituto Meteorológico Danés (DMI, por sus siglas en inglés), reproduce moderadamente bien el clima europeo de 1961-1990, particularmente los relacionados con los momentos estadísticos de la temperatura. Basado en esos resultados, y considerando un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero, realiza una simulación de las condiciones térmicas futuras para un punto cercano a la ciudad de Basel, Suiza, para fines del siglo XXI; los resultados indican que para el período 2071-2100 podría haber un incremento en la temperatura media de verano de hasta 5.2° C, respecto al período 1961-1990, lo que pondría a esta ciudad en situación de alerta pues rebasaría el criterio del percentil 90 como umbral crítico de temperatura máxima.

Kyselý et. al (2002) en la República Checa realizó un estudio para investigar la probabilidad de que se presenten las ondas de calor. Se evaluó la aplicación de dos métodos estadísticos para la estimación de probabilidad, el primero se

basa en los modelos estocásticos de series temporales de la temperatura diaria máxima (TMAX) de primer orden autorregresivo (AR (1)), el segundo consiste en la adaptación de la distribución de valores extremos de la muestra de los extremos de temperatura anual. Los principales resultados son los siguientes: (i) el modelo AR (1) es capaz de reproducir las principales características de las ondas de calor, aunque las temperaturas más altas de un día están sobreestimados por el modelo, (ii) el período de retorno de una onda de calor de al menos 34 días (como en 1994) se estimó por el modelo AR (1) a 700 años en el sur de Moravia, y este valor debe ser tratado como un límite superior debido a las deficiencias en simulación de variabilidad de la temperatura, inherente al modelo, (iii) las estimaciones que dependen de datos del modelo AR (1) simulados de un clima más cálido indican que un aumento relativamente pequeño en la temperatura media (de 3°C) daría lugar a importantes alteraciones en los periodos de retorno de eventos extremos de días tropicales, (iv) los valores de distribuciones extremas no deben aplicarse a las longitudes máximas anuales de las ondas de calor y períodos de días tropicales, pero pueden ser utilizados para estimar la recurrencia probabilidades de temperaturas extremas de un día, y (v) la onda de calor y, en particular el largo período de días consecutivos tropicales en 1994 probablemente fueron un evento más raro que las temperaturas récord en julio de 1983 superiores a 40 ° C.

En el verano de 2005, el Condado de Maricopa, Arizona experimentó un incremento del 182% de denuncias de muertes relacionadas con el calor en comparación con el período de 2000-2004. Examinaron las poblaciones en riesgo y el exceso de mortalidad. Se caracterizaron las muertes relacionadas con el calor utilizando análisis de series de tiempo descriptivo y multivariado de los datos de registro civil de junio a septiembre 2000-2005. Se evaluaron algunas relaciones para la mortalidad relacionada con el calor y se utilizó un índice de calor basado en relaciones lineales y cuadráticas.

En la ciudad de Phoenix, AZ (Kalkstein y Sheridan, 2007) utilizaron la temperatura diaria promedio, temperatura máxima y la humedad relativa media de junio a septiembre de 2000 - 2005. A partir de estos datos, se calculó una

medida de la temperatura aparente, llamado el índice de calor (HI), que permite saber que tan bien se sienten las personas en una escala adecuada de sensaciones, Para el análisis se utilizaron series de tiempo, análisis descriptivo y multivariado para caracterizar muertes asociadas con la exposición natural del calor excesivo. Para comparar la mortalidad de año con año, se utilizó la regresión de Poisson y el año, la edad y conteos de la población fueron incluidos como compensaciones. Con el fin de caracterizar la relación entre el calor, la exposición y la mortalidad estimada, así como explicar la naturaleza discreta de los datos de recuento, se realizó un análisis de series de tiempo, utilizando de nuevo la regresión de Poisson.

## **2.6 Métodos de inteligencia Artificial**

### **2.6.1 Redes Bayesianas**

Las redes bayesianas modelan un fenómeno mediante un conjunto de variables y las relaciones de dependencia entre ellas. Dado este modelo, se puede hacer inferencia bayesiana; es decir, estimar la probabilidad posterior de las variables no conocidas, en base a las variables conocidas. Una red bayesiana (RB) se compone de dos partes. Por su doble naturaleza, cualitativa y cuantitativa, permiten visualizar fácilmente las relaciones probabilistas entre variables de interés así como realizar inferencias como predicción, diagnóstico y toma de decisiones. También pueden dar información en cuanto a cómo se relacionan las variables del dominio o relaciones de causa-efecto. Al inicio estos modelos eran construidos manualmente basados en un conocimiento experto, pero al paso de los años se han desarrollado diversas técnicas para aprender a partir de datos (Sucar, INAOE, 2006)

Las redes bayesianas se basan en los fundamentos de la teoría de la probabilidad y permiten combinar el juicio del experto con las fuentes de datos disponibles, y realizar inferencia entre cualquier subconjunto de variables.

### **2.6.2 Aprendizaje de clasificadores bayesianos**

Un clasificador, en general, suministra una función que mapea (clasifica) un dato (instancia), especificado por una serie de características o atributos, en una o diferentes clases predefinidas. Los clasificadores bayesianos son ampliamente utilizados debido a que presentan ciertas ventajas:

1. Generalmente, son fáciles de construir y de entender.
2. Las inducciones de estos clasificadores son extremadamente rápidas, requiriendo sólo un paso para hacerlo.
3. Es muy robusto considerando atributos irrelevantes.
4. Toma evidencia de muchos atributos para realizar la predicción final.

Un clasificador bayesiano se puede ver como un caso especial de una red bayesiana en la cual hay una variable especial que es la clase y las demás variables son los atributos. La estructura de esta red depende del tipo de clasificador.

### 2.6.3 Clasificador basado en el algoritmo Naïve Bayes

Dado un ejemplo  $x$  representado por  $k$  valores el clasificador Naive Bayes se basa en encontrar la hipótesis más probable que describa a ese ejemplo. Si la descripción de ese ejemplo viene dada por los valores  $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ , la hipótesis más probable será aquella que cumpla:

$$v_{MAP} = \operatorname{argmax}_{v_j \in V} P(v_j | a_1, \dots, a_n)$$

es decir, la probabilidad de que conocidos los valores que describen a ese ejemplo, éste pertenezcan a la clase  $v_j$  (donde  $v_j$  es el valor de la función de clasificación  $f(x)$  en el conjunto finito  $V$ ). Por el teorema de Bayes:

$$v_{MAP} = \operatorname{argmax}_{v_j \in V} \frac{P(a_1, \dots, a_n | v_j) p(v_j)}{P(a_1, \dots, a_n)} = \operatorname{argmax}_{v_j \in V} P(a_1, \dots, a_n | v_j) p(v_j)$$

Podemos estimar  $P(v_j)$  contando las veces que aparece el ejemplo  $v_j$  en el conjunto de entrenamiento y dividiéndolo por el número total de ejemplos que forman este conjunto. Para estimar el término  $P(a_1, \dots, a_n | v_j)$ , es decir, las veces en que para cada categoría aparecen los valores del ejemplo  $x$ , se debe recorrer todo el conjunto de entrenamiento. Este cálculo resulta impracticable para un número suficientemente grande de ejemplos por lo que se hace necesario simplificar la expresión. Para ello se recurre a la hipótesis de independencia condicional con el objeto de poder factorizar la probabilidad. Esta hipótesis dice lo siguiente:

“Los valores  $a_j$  que describen un atributo de un ejemplo cualquiera  $x$  son independientes entre sí conocido el valor de la categoría a la que pertenecen. Así la probabilidad de observar la conjunción de atributos  $a_j$  dada una categoría a la que pertenecen es justamente el producto de las probabilidades de cada valor por separado.”

$$P(a_1, \dots, a_n | v_j) = \prod_i P(a_i | v_j)$$

Malagón, 2003

#### **2.6.4 Aprendizaje de redes bayesianas**

El aprendizaje, en general, de redes bayesianas consiste en inducir un modelo, estructura y parámetros asociados, a partir de datos. Este puede dividirse en dos etapas: a) el aprendizaje estructural, en el que se obtiene la estructura o topología de la red a partir de las bases de datos, es decir, las relaciones de dependencia e independencia entre las variables involucradas, y b) el aprendizaje paramétrico, en el que dada la estructura, se obtienen las probabilidades asociadas.

El requisito primordial para poder realizar la tarea de aprendizaje de redes Bayesianas a partir de datos es disponer de una amplia base de datos en las que esté detallado el valor de cada variable en cada uno de los casos.

En cuanto a estudios sobre las redes bayesianas se encuentra el de Cooper (1992), en el que se presenta un método bayesiano para la construcción de redes probabilístico de bases de datos. En particular, se centraron en la construcción de redes bayesianas de creencia. Las aplicaciones potenciales incluyen la prueba de hipótesis con ayuda de computadora, el descubrimiento científico automatizado, y la construcción de sistemas expertos probabilísticos. También ampliaron el método básico para manejar los datos faltantes y ocultó variables (latente). Realizaron la inferencia probabilística haciendo un promedio sobre las consecuencias de las redes de múltiples creencias. Se presentan los resultados de una evaluación preliminar de un algoritmo para la construcción de una red de la creencia de una base de datos de los casos. Otro artículo pero relacionado a la aplicación de las redes bayesianas en el área de la salud (2004) buscó ayudar a los médicos en la compleja tarea de razonamiento diagnóstico, una red bayesiana es a menudo equipada con un método de prueba de selección que sirve para indicar qué pruebas habían sido el mejor orden para disminuir la incertidumbre sobre el presente de la enfermedad en un paciente específico. Un método de prueba de selección general, emplea una medida de la teoría de la información para evaluar la incertidumbre diagnóstica. Esta medida se define en una distribución de probabilidad sobre una variable de la enfermedad y expresa la cantidad esperada de la información necesaria para establecer el valor de esta variable con certeza. Un ejemplo de medida de uso frecuente para este propósito es la entropía de Shannon. La medida puede extenderse a la información sobre los costos involucrados en la realización de una prueba específica y sobre los efectos secundarios que puede tener. Puesto que es computacionalmente difícil ver más allá de lo inmediato siguiente prueba de diagnóstico, selección de la prueba se realiza generalmente no miope, es decir, de una manera secuencial. El método entonces sugiere que una prueba se realiza y espera la entrada del usuario, después de tomar el resultado de la prueba en cuenta, el método sugiere una prueba posterior, y así sucesivamente.

Se desarrolla un sistema para el ajuste de parámetros de un algoritmo que resuelve un problema, teniendo en consideración las características relevantes de cada instancia del problema a resolver. El sistema utiliza redes bayesianas como formalismo para modelar, cualitativa y cuantitativamente, las relaciones

de dependencia entre los parámetros de interés y utiliza la metodología de los sistemas de razonamiento basado en casos para adquirir conocimiento del dominio del problema. El sistema desarrollado fue validado de manera exhaustiva mediante su aplicación al problema de configuración de los parámetros de un algoritmo genético que resuelve el problema de la selección de la solución deseada en resolución de restricciones geométricas. Los resultados experimentales confirman la eficiencia y eficacia del sistema propuesto.

Un trabajo importante fue el de Cofiño\*,2002. En este trabajo, presenta Bayesian Networks (BNS) en este contexto, el modelo de dependencias espaciales y temporales entre las diferentes estaciones usando un gráfico acíclico dirigido. Este gráfico se aprende de las bases de datos disponibles y posible la obtención de un modelo probabilístico de conformidad con toda la información disponible. Posteriormente, el modelo resultante se combina con las predicciones numéricas atmosféricas que se presentan como prueba para el modelo. Mecanismos eficaces de inferencia proporcionan las distribuciones condicionales de las variables que desee en el futuro deseado. Se ilustra la eficacia de la metodología propuesta por la obtención de pronósticos de precipitación de 100 estaciones en la cuenca del norte de la península Ibérica durante el invierno de 1999. Muestra cómo las técnicas analógicas son un caso especial de la metodología propuesta cuando no hay dependencias espaciales se consideran en el modelo.

### **2.6.5 Estimador de Hurst**

Para el análisis de series temporales la estimación de la auto-similitud de largo alcance o larga memoria en un proceso estocástico puede realizarse con el parámetro de Hurst. Los procesos estacionarios de larga memoria son los procesos auto-similares. Se trata de procesos particularmente atractivos ya que el grado de dependencia de larga memoria se determina por ese único parámetro.

Existe una gran cantidad de métodos para la estimación del parámetro de Hurst:

- a) Método de Varianzas Agregadas
- b) Rango reescalado
- c) Periodograma
- d) Estimador de Whittle.

Los tres primeros métodos realizan una estimación gráfica del parámetro de Hurst, mientras que el último lo hace en forma analítica. Por su sencillez y coste computacional, se ha elegido el Rango reescalado que consiste en lo siguiente:

### 2.6.5.1 Parámetro de Hurst:

Si se trata de un proceso auto-similar, el valor del parámetro de Hurst (H) deberá estar en el rango  $0.5 < H < 1$  y  $0 < H \leq 0.5$ . Cuanto más se acerque H al valor de 1, más alto es el grado de correlación entre muestras lejanas y por tanto habrá un mayor grado de auto-similitud de largo alcance. Cuanto más se acerque al valor de 0.5, más aumentará el grado de correlación entre muestras cercanas, caracterizando a un proceso de corto alcance o corta memoria. Un proceso exactamente auto-similar es no estacionario por definición.

### 2.6.5.2 Grafico R/S, Rango re-escalado:

Para un proceso estocástico  $x(t)$  definido en diferentes instantes  $t=0, 1, 2, \dots$ , etc., el rango re-escalado de  $x(t)$  sobre un intervalo de tiempo N se define como la relación R/S de la siguiente forma:

$$\frac{R}{S} = \frac{\max_{1 < j < N} \left\{ \sum_{k=1}^j [x_k - \bar{x}] \right\} - \min_{1 < j < N} \left\{ \sum_{k=1}^j [x_k - \bar{x}] \right\}}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N [x_k - M(N)]^2}{N}}}$$

donde  $\bar{x}$  es la medida para el periodo N:  $\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^N x_j}{N}$ . El numerador de R/S es la medida del rango del proceso y el denominador es la desviación estándar de la

muestra. Para un proceso autosimilar la formula tiene el siguiente comportamiento para N grande:

$$R/S \approx \left(\frac{N}{2}\right)^H \text{ con } H > 0.5$$

$$\log(R/S) \approx H \log\left(\frac{N}{2}\right)$$

Algunos artículos sobre el tema es el realizado por Clegg,2005, en este trabajo se describe, en detalle, las técnicas para medir el parámetro de Hurst. Las medidas se dan en los datos artificiales, tanto en una forma cruda y corrompido de diversas formas para comprobar la robustez de las herramientas. Los resultados aquí están en dos secciones. En primer lugar, los resultados se dan para los datos simulados. En estos casos, la espera correcta "respuesta es conocida y por lo tanto se puede ver lo bien que los estimadores han realizado. Los datos se corrompen por la adición de ruido con la misma desviación estándar. En los resultados de la segunda sección se dan datos reales. Los datos York se analiza como una serie temporal de bytes por unidad de tiempo por dos unidades de tiempo diferentes. Se analiza tanto en términos de tiempos entre llegadas y en términos de bytes por unidad de tiempo. La conclusión más llamativa de este trabajo es que la medición del parámetro de Hurst, incluso en los datos artificiales es corrompida por el ruido. También Hernández y Torres en el 2008 hicieron un nuevo método para detectar cambios en el parámetro de Hurst para el tráfico de red auto-similar, la trama de transición a la varianza, se propone. Se trata de un método de estimación basada en el tiempo para evaluar si el parámetro de Hurst se mantiene constante durante un período de tiempo. Detecta los puntos de cambio en el parámetro de Hurst. Por lo que este método permite la modelización de series LRD con varios valores del parámetro de Hurst en lugar de sólo uno para toda la serie. Se ha comprobado que la parcela de transición varianza es un descriptor de gran para el análisis de tráfico auto-similar. Permite distinguir entre LAN y el tráfico WAN. El desarrollo de una nueva herramienta gráfica para analizar la serie dependiente de largo alcance que se propuso se ha implementado para analizar y sintetizar la serie dependiente de largo alcance. El Laboratorio de LRD incluye una

interfaz sencilla para generar fácilmente, analizar, visualizar y guardar serie dependiente de largo alcance.

Otro artículo que también utiliza el estimador de Hurst es el de Katsev, y L'Heureux en el 2003. Se muestra que varios métodos de análisis de series de tiempo que se utiliza a menudo para determinar exponente de Hurst en series de datos puede conducir a resultados erróneos cuando se aplican a series cortas de datos discretos. Se demuestra que las irregularidades de la serie, tales como saltos o picos (como a menudo se encuentran en los datos) puede dar lugar a falsos y por consiguiente a una determinación incorrecta del exponente de Hurst.

## Capítulo III

# METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el proceso mediante el cual se realizó este estudio, el cual puede definirse como observacional, descriptivo y de tipo longitudinal retrospectivo. Se manejaron dos bases de datos, una climática, y la otra relacionada con el sector salud. Las técnicas utilizadas para el procesamiento de datos fueron estadísticas y de inteligencia artificial.

### 3.1 Recopilación y Procesamiento de datos

#### 3.1.1 Base de Datos Climáticos

La Base Climática de Datos con información diaria en un largo período de tiempo, de 1950 al 2009, es la estación climática Mexicali que se encuentra en la zona urbana, tiene un periodo prácticamente sin interrupciones de registro de temperaturas. Se contó con el Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) en su tercera versión. Los datos de temperaturas diarias tanto máximas como mínimas se pasaron a un formato Excel, con la finalidad de lograr tener un mejor manejo de la información

Se realizó el análisis de calidad de la información que consistió en:

- Detección de errores en los datos, tal como verificación de que la temperatura mínima fuera inferior a la temperatura máxima, valores extremos incongruentes con los valores climatológicos normales y vacíos importantes de información.
- Producto de la detección anterior se tuvo que recurrir a la base de datos original, con la Comisión Nacional del Agua, para llenar una laguna de información de los años 1960 a 1968, y de 2003 a 2009.
- Se cambió el formato original de los datos ya que no se podía trabajar la información, sustituyendo la (,) por (.) para todos los datos.

#### 3.1.2 Base de datos de Salud

Los datos que se obtuvieron del sector salud fueron del Hospital general Mexicali y del Servicio Médico Forense (SEMEFO), por lo que se tiene información tanto de morbilidad como de mortalidad por exposición al calor.

Los datos de personas afectadas por calor que acudieron a Hospital General (Dr. Lomeli, información personal) fue proporcionada en formato Access para un periodo de cuatro años, 2006 al 2009. Los datos que contenía tal formato son:

1. Fecha de ingreso al hospital.
2. Fecha de egreso.
3. Diagnóstico probable
4. Diagnóstico confirmado
5. Diagnóstico final
6. Edad
7. Sexo
8. Ocupación
9. Dirección
10. Temperatura máxima
11. Temperatura mínima
12. Humedad Relativa
13. Lugar de procedencia
14. Síntomas
15. Enfermedades asociadas

La información de SEMEFO es del año 2006, que es el año con el mayor número de defunciones por golpe de calor, en la figura 9 se muestra un ejemplo del formato con el que se captura la información en SEMEFO.

Figura 9. Formato de SEMEFO defunciones por calor

Todos los datos proporcionados estaban en manuscrito por lo que se tuvo que pasar a formato Excel para completar la base de datos.

### 3.2 Análisis exploratorio de datos

El aspecto más importante de la estadística es la obtención de conclusiones basadas en los datos experimentales. Este proceso al cual se le conoce como

inferencia estadística se realiza en una muestra representativa de la población que se refiere a la colección de toda la posible información que caracteriza al fenómeno que se intenta conocer. En el caso bajo estudio se utilizará el enfoque clásico de la inferencia estadística la cual descansa en la evidencia muestral, y también se incorporará la inferencia bayesiana, que utiliza, además de la evidencia muestral, otro tipo de información aportada por el investigador del problema. Ambos procedimientos, clásico y bayesiano, descansan en la evaluación de la incertidumbre basadas en la probabilidad.

En el proceso del análisis exploratorio se obtendrán estadísticas descriptivas, que a pesar de ser sencillas desde el punto de vista matemático son muy valiosas como parte del proceso de exploración de la información; en este caso se realizó, con base en los percentiles 90 y 95, tanto con temperatura máxima, como temperatura mínima, un análisis estadístico exploratorio a escala temporal diaria, mensual y anual, que consistió en obtener mediante el software STATISTICA V6.0 lo siguiente:

- a) estadísticos de tendencia central: media aritmética, moda, mediana
- b) estadísticos de variabilidad: varianza, desviación estándar
- c) estadísticos de forma (sesgo y curtosis)
- d) histogramas de frecuencia
- e) percentiles 90 y 95
- f) gráficas de caja y ejes
- g) gráficas de dispersión

Los gráficos realizados se presentan a diferentes niveles temporales: diarios, mensuales y anuales. También se confeccionaron gráficas estacionales para el mismo período, de 1950 al 2009. Este tipo de gráficos son importantes ya que permite realizar una evaluación cualitativa del comportamiento de la serie de tiempo.

### **3.3 Propuesta Local de definición de Onda Cálida**

#### **3.3.1 Criterio Estadístico**

En los estudios revisados los criterios para decidir el inicio y fin de una onda cálida son muy variables en el sentido cuantitativo. Este problema, que ya se había expuesto anteriormente, es resuelto con la teoría de valores extremos. En vista de que en la ciudad de Mexicali, se presentan altos valores, tanto de temperatura mínima, como de temperatura máxima, se propuso realizar un análisis exploratorio a los extremos superior e inferior de la distribución estadística de esos valores de temperatura. De tal manera se realizó una propuesta de estimación de valores de los percentiles 90 y 95.

#### **3.3.2 Criterio de Salud Pública.**

Para poder definir una onda cálida tomando en cuenta el sector salud, se acudió al Hospital General de Mexicali, y en base a entrevista realizada (Dr. Lomelí, 2009), y procesamiento de información se propuso el criterio de valores umbrales de temperatura, tanto mínima, como máxima.

### **3.4 Métodos de Inteligencia Artificial**

#### **3.4.1 Redes Bayesianas**

Con la aplicación de esta técnica se obtuvieron las probabilidades de que las personas se vean afectadas por el calor. Para esto se propuso una clasificación de temperaturas máximas diarias del periodo 1950 al 2009 (ver tabla 5) de los meses considerados cálidos en Mexicali, Baja California: mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Para la un mejor manejo de los datos se utilizó Microsoft Excel.

Tabla 5 Clasificación de temperaturas máximas diarias

Temperatura Máxima	Discretización	Base
< 40°C	0	De acuerdo al personal de salud
≥40°C y < 42°C	1	De acuerdo al personal de salud
≥ 42°C	2	De acuerdo al personal de salud y estadísticamente

Esta clasificación se hizo con el fin de poder elaborar las reglas que se aplican a la red bayesiana y obtener las probabilidades correspondientes.

### 3.4.2 Estimador de Hurst

Este estimador se aplicó con el fin de conocer el valor de H de los datos y decidir sobre la Estocasticidad de la serie. Con el uso del programa Matlab se calculó el exponente de Hurst utilizando la técnica de análisis de rango rescalado (Rescaled Range Analysis, o R/S). Se utilizó la serie de temperaturas máximas y mínimas diarias de Mexicali B.C para el período 1950 al 2009. Una parte del código para estimar el parámetro de Hurst se presenta en la figura 10.

```

% Hurst parameter estimate
%
clear all
load datmin.dat;
load datmax.dat;
%
st1 = datmin(:)';           % Daily minimum temperatures
st2 = datmax(:)';         % Daily maximum temperatures
tday = (1:size(st1,2));   % days

subplot(2,1,1); plot(tday,st1);
axis([-inf +inf -inf +inf])
xlabel('Days','FontSize',16); ylabel('Minimum Temp(oC)','FontSize',16)
title('Daily minimum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on

subplot(2,1,2); plot(tday,st2);
axis([-inf +inf -inf +inf])
xlabel('Days','FontSize',16); ylabel('Maximum Temp(oC)','FontSize',16)
title('Daily maximum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on

H = rs(st1,1)
title('Daily minimum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on
H = rs(st2,1)
title('Daily maximum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on

```

Figura 10.- Parte del código para estimar el parámetro de Hurst en Matlab 2008.

## Capítulo IV

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Base de Datos

#### 4.1.1 Base de Datos Climática

El análisis de estadística descriptiva fue realizado tanto para temperaturas máximas como mínimas en el periodo de 1950 al 2009. En las figuras 11 y 12 se presenta para las temperaturas máximas el histograma de frecuencias, una gráfica de probabilidad normal, una gráfica de caja y ejes y los valores percentiles 5, 10, 90 y 95. Se observa que hay más de 5000 valores que están entre 40°C y 50°C, que los valores extremos no se ajustan a la distribución normal y que hay una variabilidad notable cuando se toman en cuenta los valores de todo el período anual. En el caso de los percentiles, el valor correspondiente al 90 (P90) es 42.8°C, mientras que el percentil 95 (P95) es de 44.1°C. La diferencia entre ambos percentiles es de 1.3°C, que aunque es un valor pequeño se podrá observar más adelante que de acuerdo a lo observado por el sector salud, y lo comparado con otros estudios, lo más adecuado es tomar al P90 como el criterio estadístico en la definición de onda cálida.

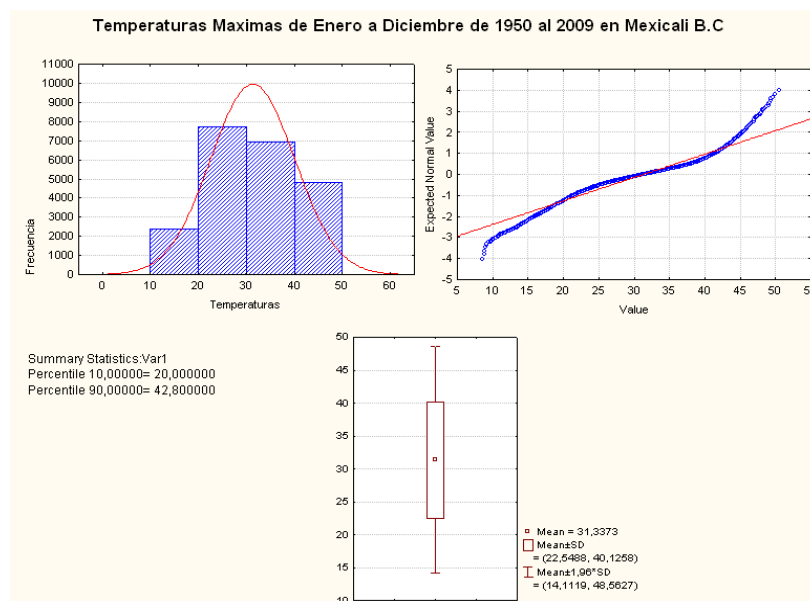


Figura 11.- Análisis gráfico-estadístico de Temperaturas Máximas de Enero a Diciembre de 1950 al 2009 en Mexicali B.C. (ver valores de percentil 90)

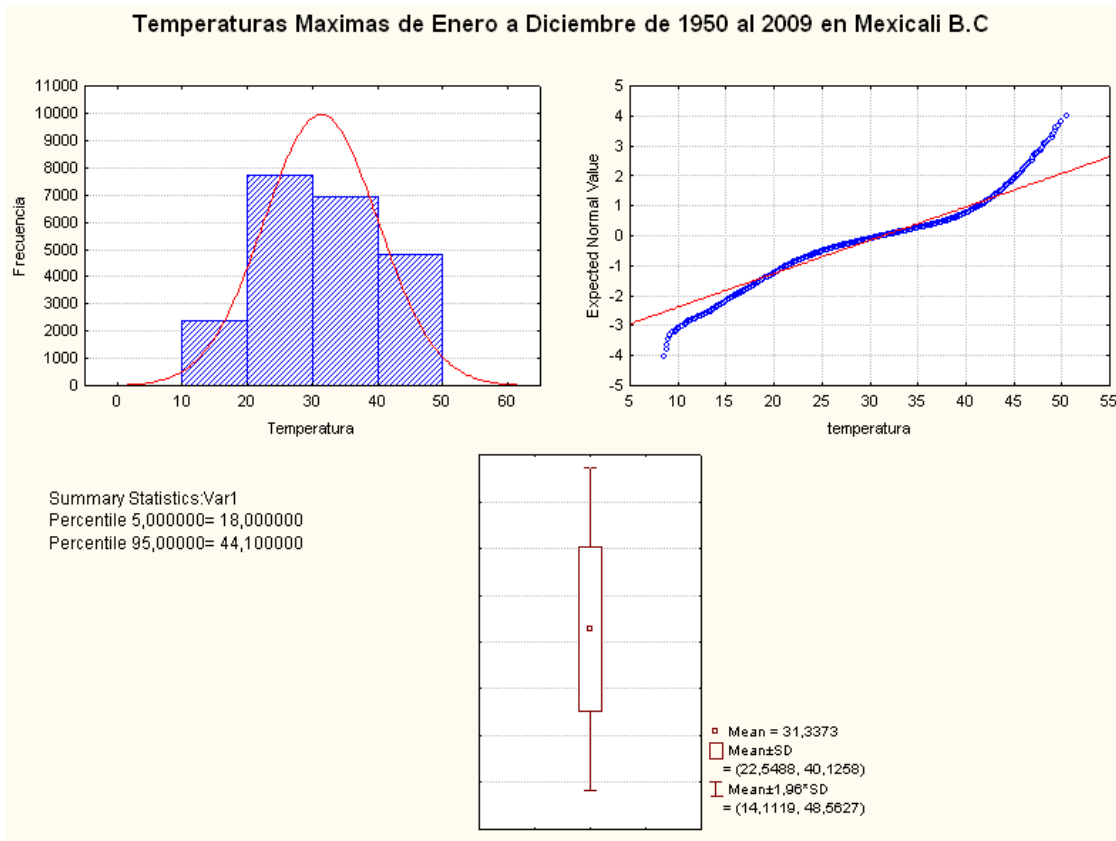


Figura 12.- Análisis gráfico-estadístico de Temperaturas Máximas de Enero a Diciembre de 1950 al 2009 en Mexicali B.C (ver valores de percentil 95)

## 4.2 Análisis Exploratorio de Datos Climáticos

### 4.2.1. Serie Anual de Temperatura

Con la finalidad de conocer el comportamiento de las temperaturas a lo largo del tiempo se realizó esta serie de tiempo con la herramienta NN (Neural Network) para el desarrollo y entrenamiento de redes neuronales bajo el ambiente de Matlab 2008 y ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems) la cual aplica de manera automática la técnica de “validación cruzada”, que se utiliza comúnmente en la serie de tiempo.

A continuación se muestra la serie realizada en Matlab 2008 en la figura 13, en la que se observa un comportamiento oscilatorio de las temperaturas.

En la figura 14 de la Serie de Tiempo se muestra ese aumento considerable a las temperaturas mínimas en la temporada de verano, y una temperatura máxima que permanece constante por encima de los 40 °C en verano.

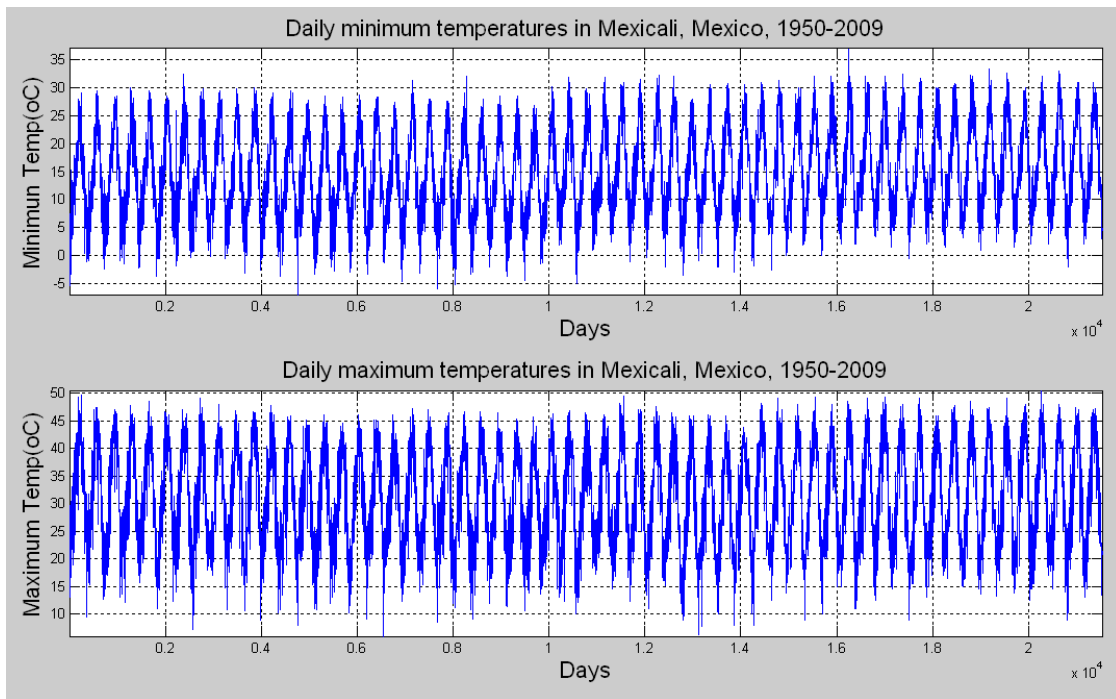
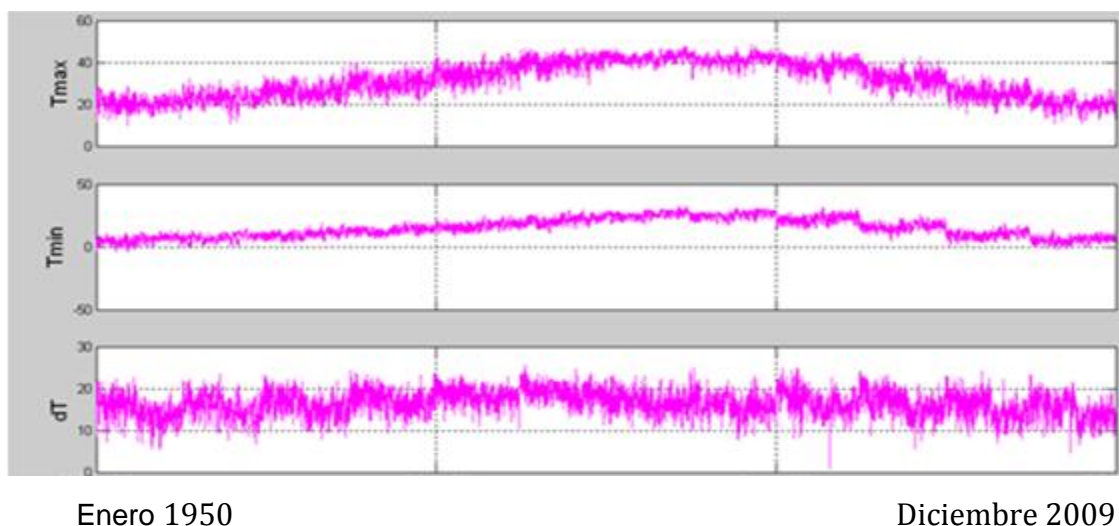


Figura 13.- Serie de Temperaturas maximas y minimas anuales de Mexicali B.C. para el periodo 1950 al 2009.



Enero 1950

Diciembre 2009

Figura 14.-. Serie de tiempo anual del periodo de 1950 al 2009 de temperaturas máximas y mínimas de Mexicali B.C.

#### 4.2.2. Serie Estacional de Temperatura

De los resultados obtenidos se muestran las graficas del análisis estacional, considerando temperaturas máximas promedio en cada mes. Podemos observar que en la estación invernal del año las temperaturas en general aumentan en los meses de enero y febrero y disminuyen en el mes de diciembre según lo esperado, con temperaturas máximas que oscilan de los 15 °C a los 25 °C.

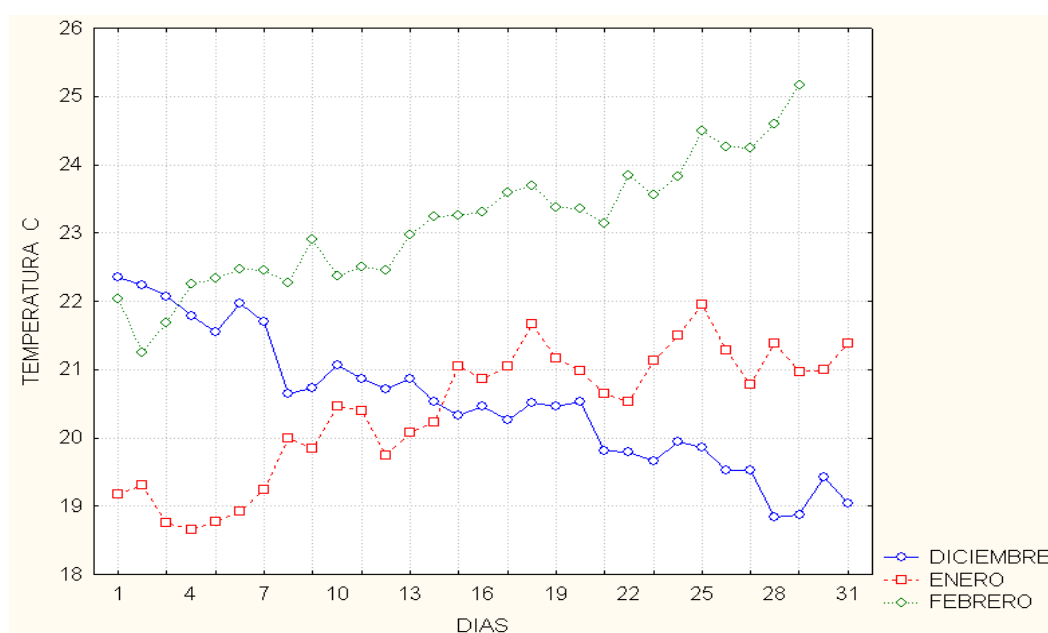


Figura 15.- Distribución de temperaturas máximas promedio para la estación de Invierno en Mexicali B.C de 1950 al 2009.

En la figura 16 se presenta la evolución estacional de la temperatura máxima en la primavera. En esta estación del año hay una continua ascendencia de los valores conforme se avanza en los meses, empezando en marzo con valores promedios de 23°C, y terminando en el mes de mayo con temperaturas máximas superiores a los 36 °C.

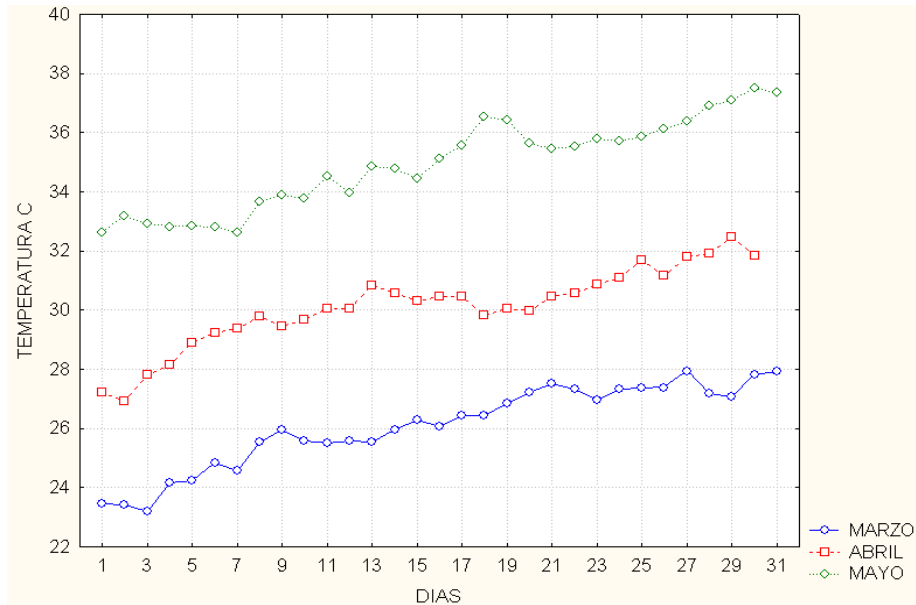


Figura 16.- Distribución de temperaturas máximas promedio para la estación de Primavera en Mexicali B.C de 1950 al 2009.

En la temporada estacional de verano en Mexicali se puede observar (figura 17) temperaturas máximas superiores a los 40 °C en los meses de julio y agosto. Es notable también el aumento sostenido que se presenta en el mes de junio desde el día 9 hasta el día 20, ya que a inicios de ese mes los valores empiezan con 38°C, y ya para la segunda decena de ese mes, los valores superan fácilmente los 40°C.

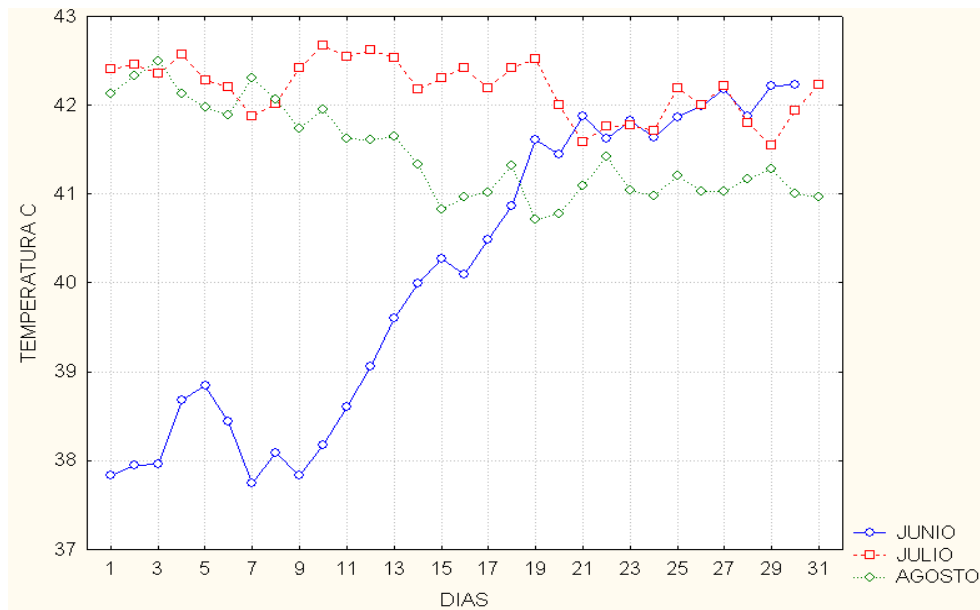


Figura 17.- Distribución de temperaturas máximas promedio para la estación de Verano en Mexicali B.C de 1950 al 2009.

En la figura 18 se aprecia que para la estación de otoño las temperaturas descienden de manera continua. Se inicia el mes de septiembre con valores superiores a los 40°C y se termina ese mes con valores de 37°C en promedio. Es en el mes de octubre cuando se presenta una disminución pronunciada, de tal manera que es hasta fines de ese mes cuando las temperaturas ya están por debajo de los 30°C.

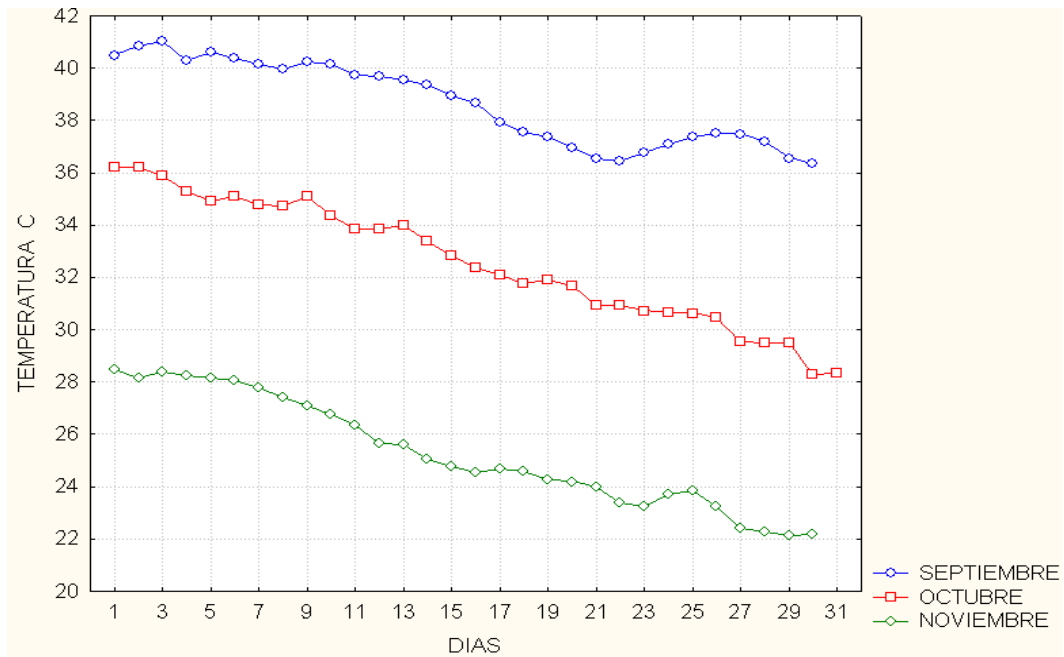


Figura 18.- Distribución de temperaturas máximas promedio para la estación de Otoño en Mexicali B.C de 1950 al 2008.

#### 4.2.3. Serie Mensual de Temperatura

En la figura 19 se muestran las temperaturas máximas y mínimas promedio del 1950 al 2009 de los cinco meses principales de esta tesis, que van de mayo a septiembre, además se observa el comportamiento de la mediana. Se puede comentar que durante esos cinco meses, el valor promedio mensual está por encima de los 34°C, y que se presenta una amplia variación en los meses de mayo, junio y septiembre. Lo definitivamente destacable son las altas temperaturas casi-permanentes en todos estos meses para la ciudad de Mexicali B.C.

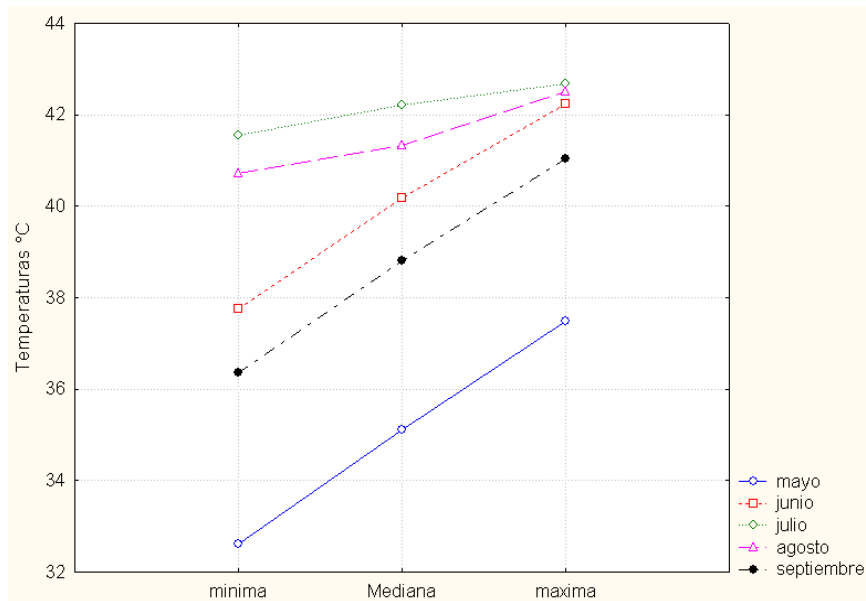


Figura 19.- Temperaturas Mínima, Mediana y Máxima de Mayo a Septiembre del periodo de 1950 al 2009 en Mexicali B.C.

Por otra parte, y de manera particular, en la figura 20 se puede apreciar lo que sucede en el mes de Mayo con las temperaturas máximas diarias de 1950 al 2009; ahí se observa cómo es que en los últimos años han aumentado las temperaturas máximas ligeramente lo que parece tener coincidencia con el cambio climático actual.

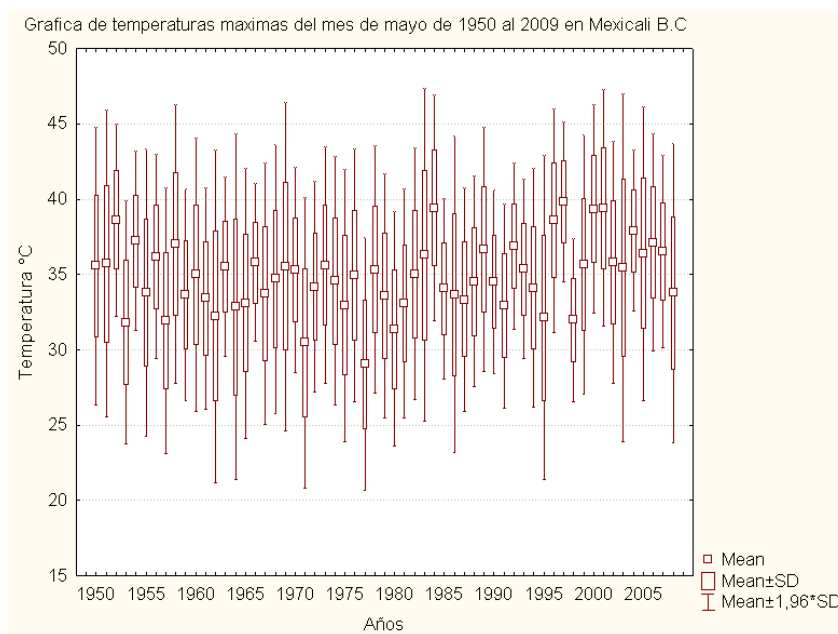


Figura 20 Grafica de temperaturas máximas del mes de mayo de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

En la figura 21 se tiene un concentrado de la frecuencia de temperaturas máximas diarias del periodo de 1950 al 2009 del mes de Mayo y se puede observar que las temperaturas no llegan a los 40 °C lo que nos dice que no se han presentado ondas cálidas en este mes bajo la definición ya dada.

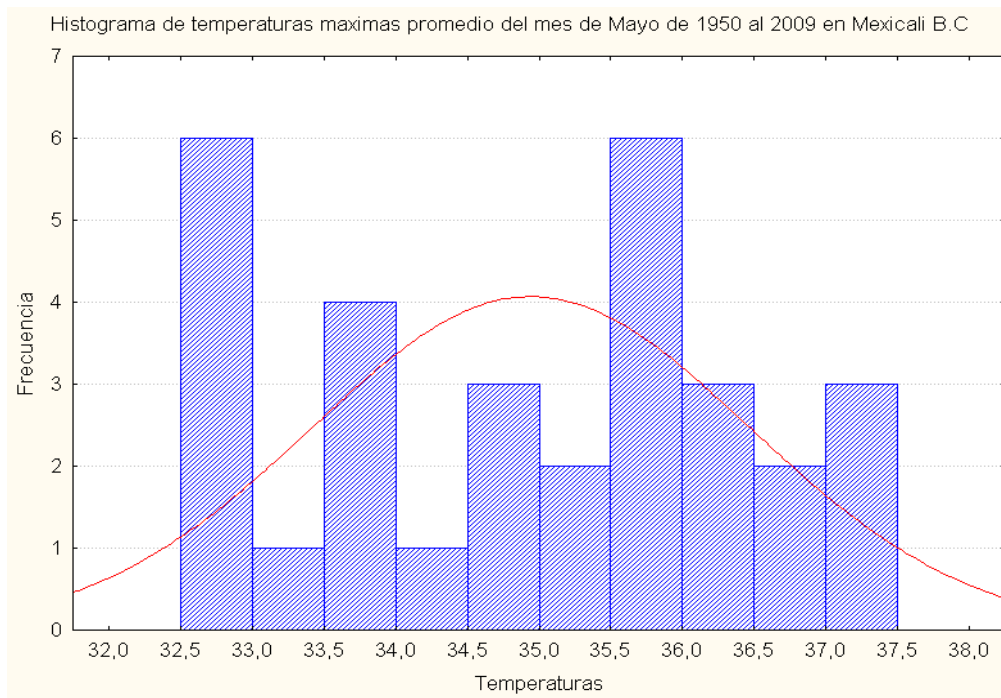


Fig. 21.-Histograma de temperaturas máximas promedio del mes de mayo de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

La figura 22 muestra una grafica de caja y ejes para el mes de junio con temperaturas máximas diarias para el periodo de 1950 al 2009 y hay algo muy particular de este mes que se puede apreciar gráficamente, y es la disminución en la variabilidad de la temperatura en los últimos años; la temperatura promedio oscila alrededor de los 40°C.

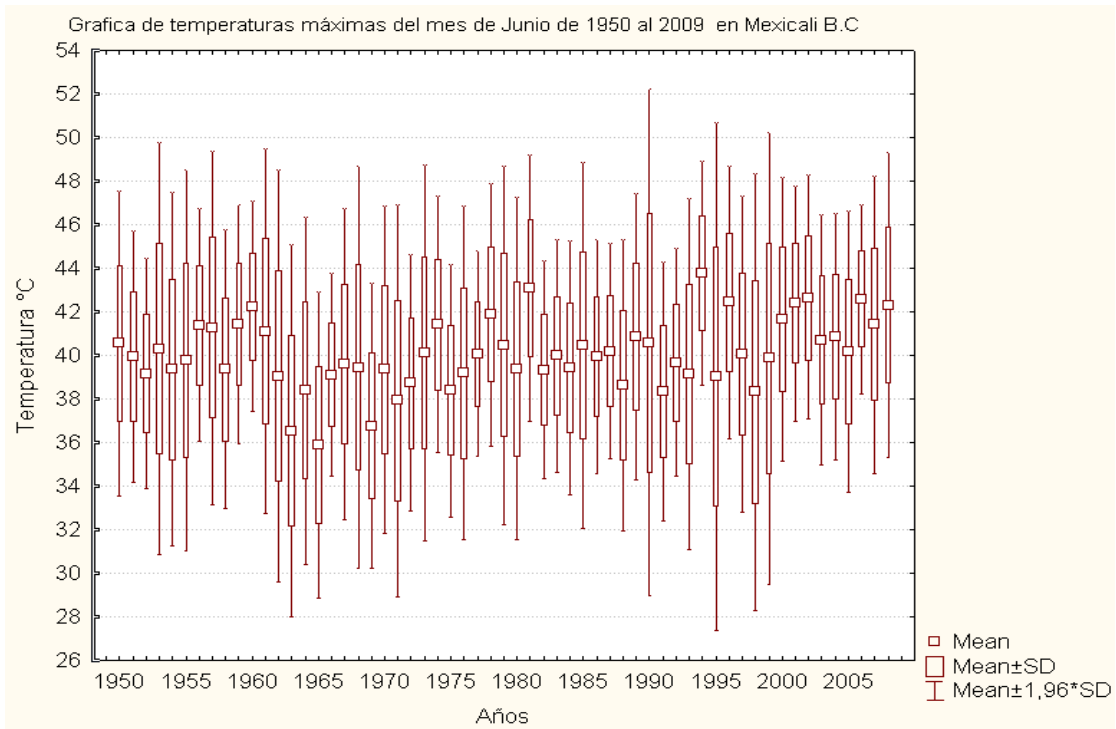


Figura 22.- Grafica de temperaturas máximas del mes de Junio de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

En la figura 23 se tiene un histograma del mes de junio y se aprecia claramente que la mayor frecuencia de temperatura máxima diaria está entre los 41 y 42 °C.

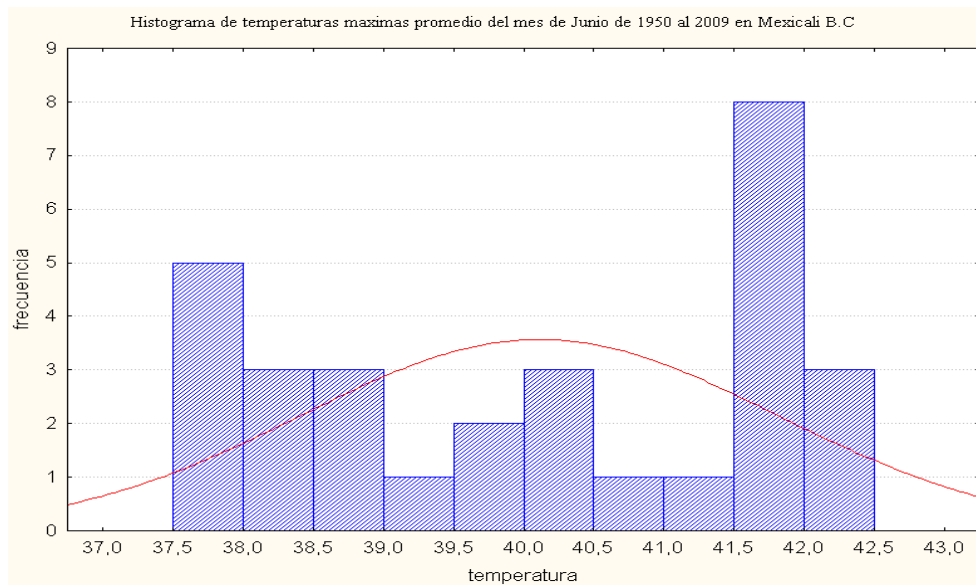


Fig. 23.-Histograma de temperaturas máximas promedio del mes de Junio de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

En la figura 24 observamos el mes de julio para el mismo periodo de 1950 al 2009 y notamos un comportamiento constante de la temperatura máxima alrededor de las 41 °C lo que podría indicar un alto índice de afectados por las altas temperaturas.

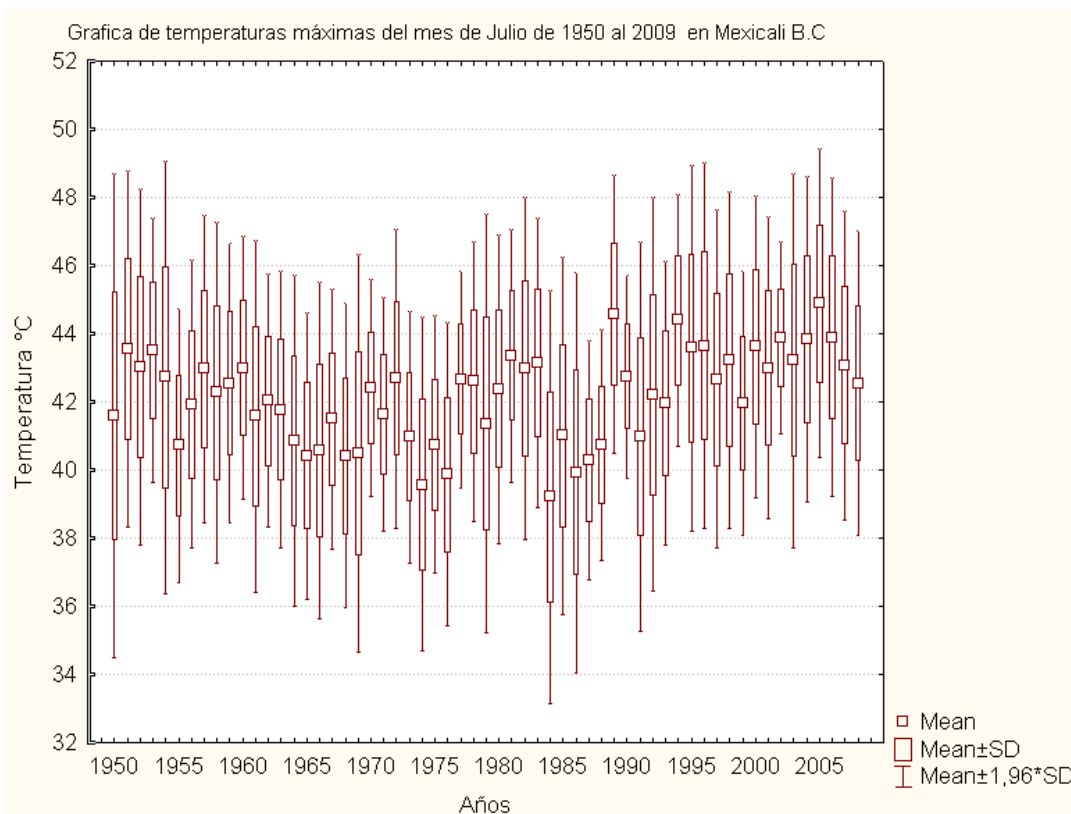


Figura 24.- Gráfica de temperaturas máximas del mes de Julio de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

Con la figura 25 podemos observar que este es el mes más cálido de la ciudad de Mexicali B.C y que las temperaturas máximas están alrededor de 42 °C; esto también podría ser un indicador de un alto índice de la afectación probable por exposición al calor.

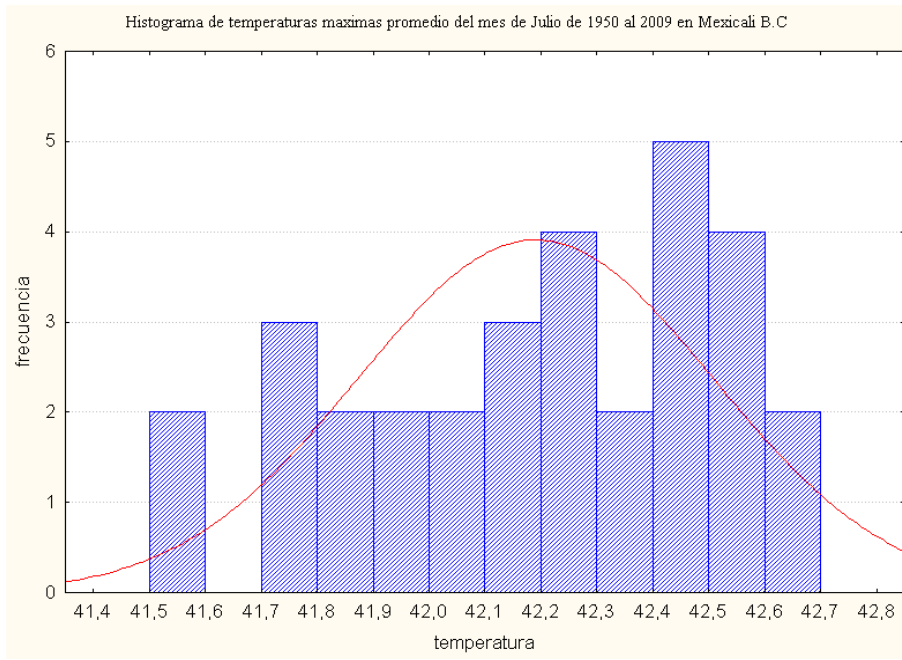


Fig. 25.-Histograma de temperaturas máximas promedio del mes de Julio de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

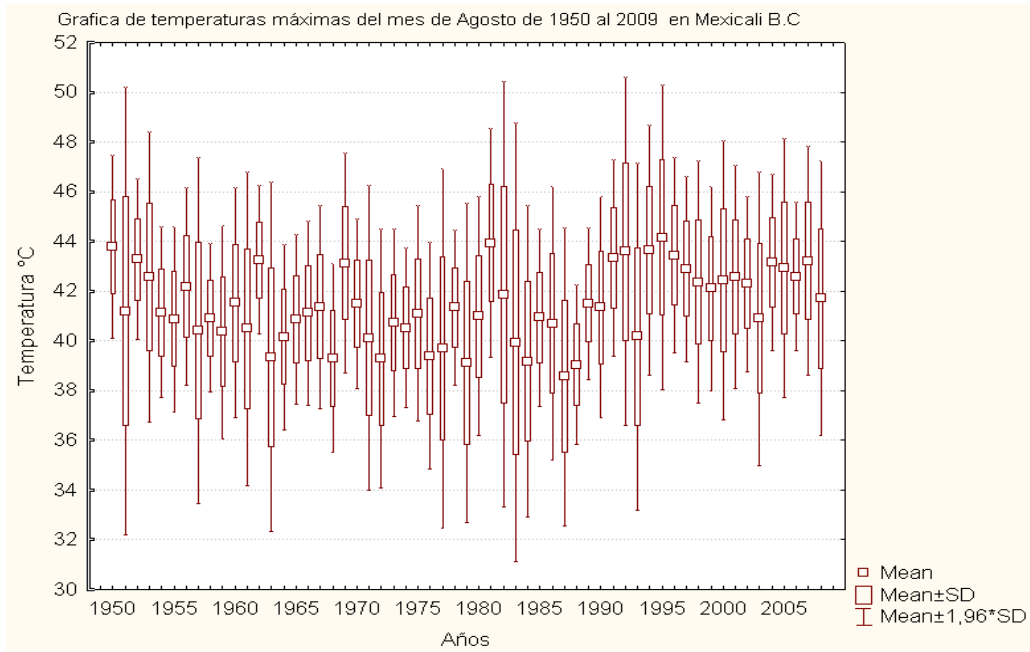


Figura 26.- Grafica de temperaturas máximas del mes de Agosto de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

En la figura 26 se observa que para este mes de Agosto las temperaturas máximas se mantienen por arriba de los 40°C

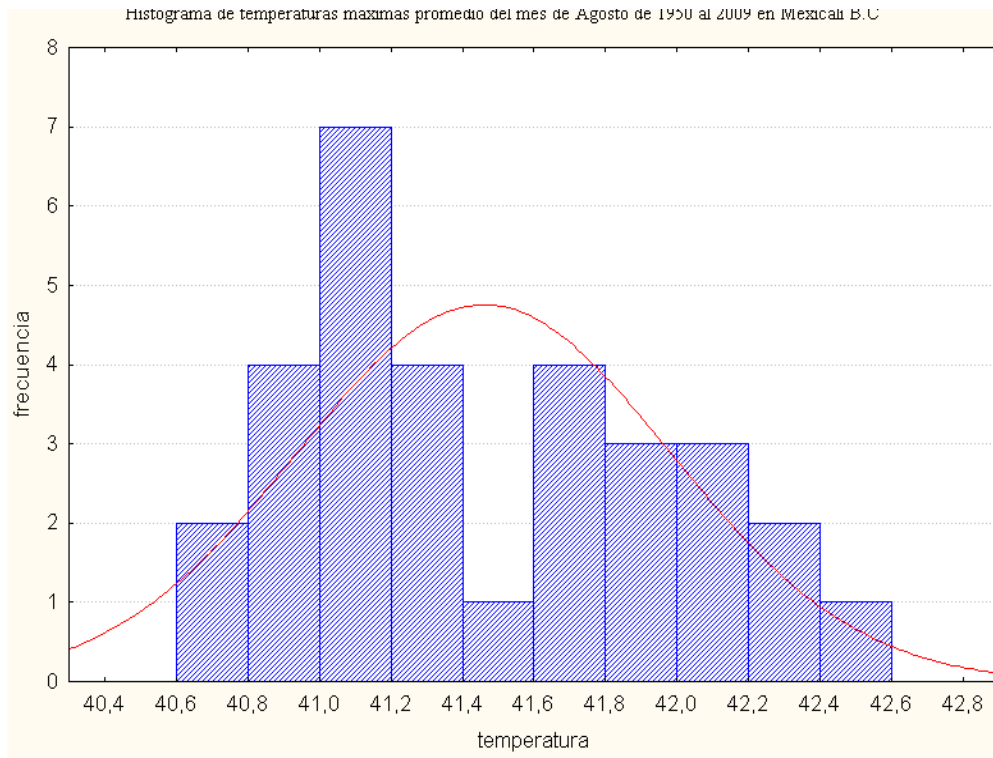


Fig. 27.-Histograma de temperaturas máximas promedio del mes de Agosto de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

En la figura 27 se tiene un histograma para el mes de agosto y notamos que las temperatura con mayor frecuencia presentada en este mes a través de los años está entre 41°C y 41.2°C.

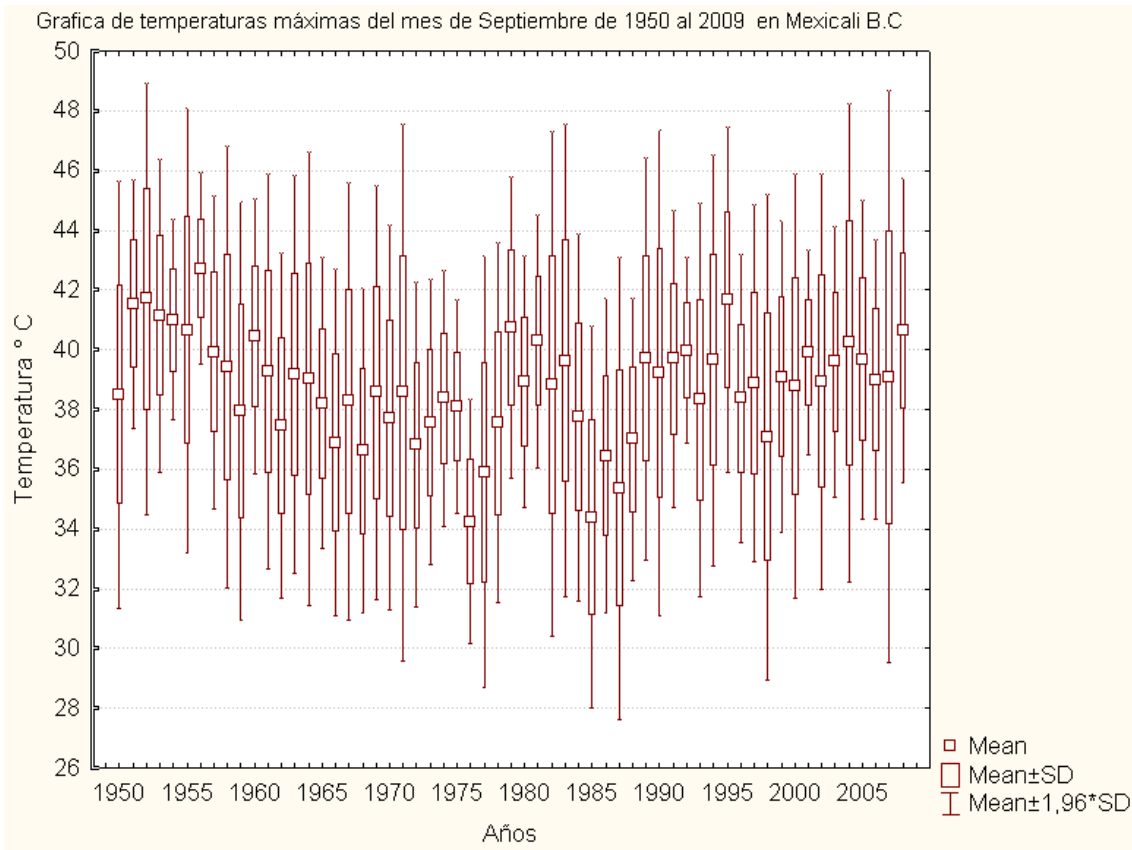


Figura 28.- Grafica de temperaturas máximas del mes de Septiembre de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

En la fig. 28 se muestra el mes de septiembre que es el último de los meses considerados como cálidos; existe un corto tiempo en el que se tienen temperaturas altas; en promedio a lo largo de los años se tiene una temperatura alrededor de los 39°C, la cual es aún también peligrosa para el cuerpo humano, sobre todo para los ancianos y niños pequeños..

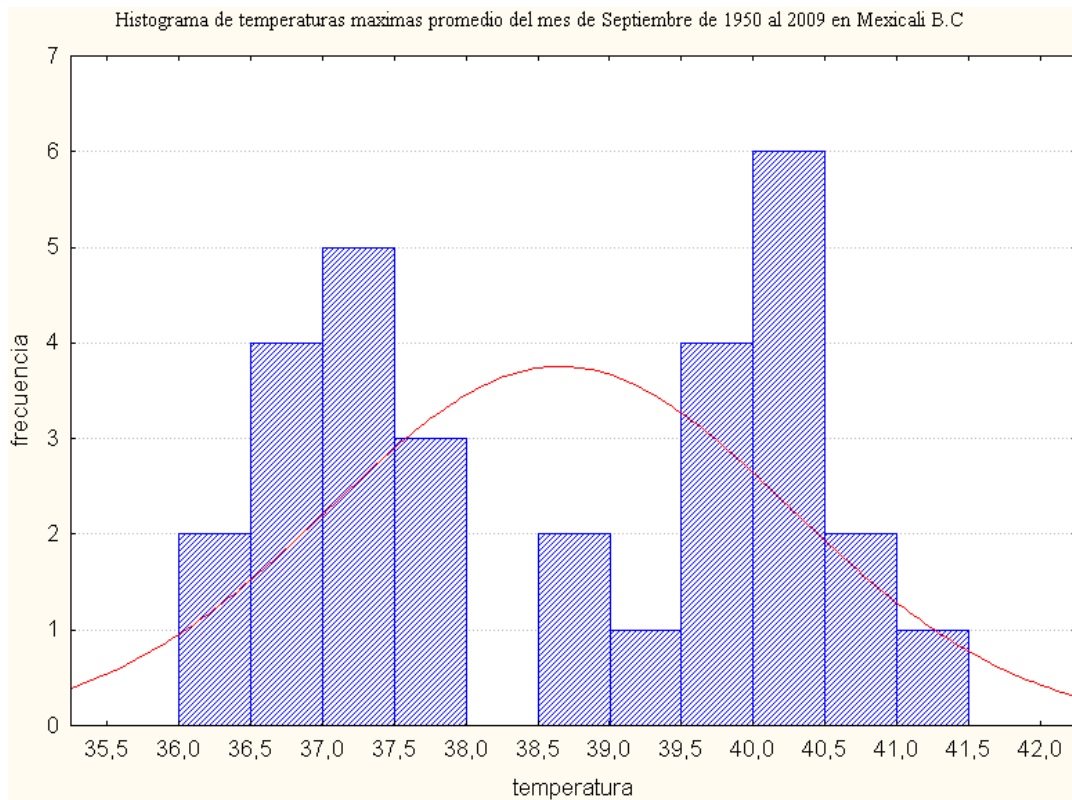


Fig. 29.-Histograma de temperaturas máximas promedio del mes de Septiembre de 1950 al 2009 en Mexicali B.C

Como resultados estadísticos descriptivos importantes son los siguientes:

Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Minimum	Maximum	Percentile 5,000000	Percentile 95,000000	Variance	Std.Dev.
31,33729	31,30000	25,00000	277	8,600000	50,50000	18,00000	44,10000	77,23699	8,788458

Figura 30.-Estadística descriptiva del periodo completo 1950 al 2009 de temperaturas máximas

En la figura 30 se observa la estadística descriptiva de 1950 al 2009 de temperaturas máximas para todos los meses, además de que se utiliza el percentil 95 y observamos una temperatura máxima promedio es de 50.5°C y una promedio de 31°C lo que nos muestra lo cálida que es la Ciudad de Mexicali B.C durante todo el año.

#### 4.3 Análisis Exploratorio del Sector Salud

### 4.3.1 Base de Datos del Sector Salud

Los datos que se obtuvieron del sector salud fueron del Hospital General Mexicali y del Servicio Médico Forense (SEMEFO); se tiene información de personas afectadas por calor y muertes por esta causa, mostrando así morbilidad y mortalidad por exposición al calor.

Los datos de personas afectadas por calor que acudieron al Hospital General fue proporcionada en formato Access para un período de cuatro años, 2006 al 2009 con datos, que ya anteriormente se comentaron, como: fecha de ingreso al hospital y fecha de salida, diagnóstico final, edad, sexo, ocupación, domicilio, entre otros. Un ejemplo de ese formato se puede ver en la figura 31.

IngresHosp	FechEgreso	FechNotEpi	FelniEstEpi	FinEstEpi	DxProbable	DxFinal	FechDxFin	Cama	Servj
12/06/2006	23/06/2006	16/2006 9:46:00	21/06/2006	16/2006 9:59:15	VIH/SIDA	Confirmado	21/06/2006	209	MeD In
09/06/2006	23/06/2006	16/2006 9:59:00	16/2006 9:59:15		Meningitis bac	Confirmado	23/06/2006		UCIN
24/06/2006	25/06/2006	i/2006 10:12:12	i/2006 10:13:00		VIH/SIDA	Probable	26/06/2006	8	Urg Adt
13/06/2006	13/06/2006	i/2006 10:19:15	13/06/2006		Sifilis Adquiric	Probable	19/06/2006		Consult
09/05/2006	26/05/2006	21/06/2006	10/05/2006		Tetanos	Probable	30/04/2006	219	MeD In
22/06/2006	30/06/2006	i/2006 10:41:15	i/2006 10:41:18		VIH/SIDA	Probable	22/06/2006	8	Urg Adt
22/06/2006	01/07/2006	22/06/2006	22/06/2006		TBP	Probable	08/05/2006	230	MeD In
08/06/2006	09/06/2006	i/2006 10:59:05	i/2006 11:00:00		Meningitis bac	Confirmado	14/06/2006		UCIN
29/05/2006	08/08/2006	i/2006 11:11:00	i/2006 11:11:05		VIH/SIDA	Confirmado	21/06/2006	235	MeD In
29/05/2006	i/2006 10:30:00	i/2006 11:19:00	29/05/2006	i/2006 10:30:00	TBP	Confirmado	21/06/2006	235	MeD In
13/06/2006	30/06/2006	25/06/2006	29/06/2006	06/03/2006	TB. Otras form	Confirmado	27/06/2006	210	MeD In
i/2006 11:31:00	05/07/2006	'/2006 11:32:00	'/2006 11:32:15		Golpe Calor	Confirmado	06/07/2006	211	MeD In
27/06/2006	27/06/2006	27/06/2006	27/06/2006		Brucelosis	Confirmado	27/06/2006		Consult
02/07/2006	06/07/2006	'/2006 11:59:00	'/2006 11:59:15		encefalitis	Confirmado	06/07/2006	214	MeD In
30/06/2006	30/06/2006	30/06/2006	30/06/2006		Mordedura Pe	Confirmado	30/06/2006		Urg Pec
01/06/2006	21/07/2006	30/07/2006	30/07/2006		TBP	Confirmado	28/06/2006	230	MeD In
30/06/2006	30/06/2006	30/06/2006	30/06/2006		TBP	Probable	30/06/2007		Urg Pec
04/07/2006	04/07/2006	04/07/2006	04/07/2006		Sifilis Adquiric	Probable	04/07/2006		Consult
18/06/2006	07/07/2006	19/06/2006	19/06/2006	07/07/2006	Sifilis Congeni	Confirmado	08/09/2006		UCIN
04/07/2006	13/07/2006	05/07/2006	05/07/2006	07/05/2006	VIH/SIDA	Confirmado	10/07/2006	227	MeD In
04/07/2006	15/07/2006	06/07/2006	15/07/2006		TBP	Confirmado	15/02/2006	227	MeD In
06/06/2006	03/08/2006	06/07/2006	06/06/2006	08/03/2006	TB meningea	Probable	06/06/2006	236	MeD In

Figura 31.- Base de datos del Hospital General Mexicali B.C.

La información concerniente a las afectaciones por el calor fue pasada a formato Excel para lograr un buen manejo de la información de manera electrónica y poder hacer un análisis de la misma (figura 32).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Ingreso		dxfinal	edad	sexo	temp min	temp maxima	hum min	hum max
2	03/05/2006	1	GOLPE DE CALOR	36	F	19,5	36,0	17,1	52,8
3	30/06/2006	3	GOLPE DE CALOR	59	M	28,5	43,0	15,4	54,4
4	30/06/2006		GOLPE DE CALOR	45	M				
5	30/06/2006		GOLPE DE CALOR	43	M				
6	05/07/2006	1	DESHIDRATACION MODERADA	78	M	28,0	42,0	22,0	61,1
7	07/07/2006	1	GOLPE DE CALOR	40	M	27,5	42,5	17,0	65,4
8	12/07/2006	4	GOLPE DE CALOR	36	M	29,0	45,4	19,0	64,1
9	12/07/2006		GOLPE DE CALOR	99	M				
10	12/07/2006		GOLPE DE CALOR	30	M				
11	12/07/2006		GOLPE DE CALOR	64	M				
12	13/07/2006	7	INSOLACION	45	M	30,5	45,7	16,1	66,6
13	13/07/2006		INSOLACION	52	M	30,5	45,7	16,1	66,6
14	13/07/2006		GOLPE DE CALOR	80	M				
15	13/07/2006		GOLPE DE CALOR	99	M				
16	13/07/2006		GOLPE DE CALOR	35	M				
17	13/07/2006		GOLPE DE CALOR	40	M				
18	13/07/2006		GOLPE DE CALOR	39	M				
19	14/07/2006	4	GOLPE DE CALOR	40	M	30,6	45,3	12,7	64,3
20	14/07/2006		GOLPE DE CALOR	38	M				
21	14/07/2006		DESHIDRATACION MODERADA	55	M				
22	14/07/2006		GOLPE DE CALOR	22	M				
23	15/07/2006	5	GOLPE DE CALOR	49	M	31,1	44,8	19,4	64,5
24	15/07/2006		GOLPE DE CALOR	34	M				

Figura 32.- Base de datos de Hospital General Mexicali en formato Excel

La información disponible de SEMEFO fue únicamente la del año 2006, y entre otras variables, se tiene la edad de la persona, sexo, ocupación, fecha de defunción y diagnóstico. Los datos fueron proporcionados de manera manuscrita por lo que, para poderla procesar y analizar se tuvo que pasar a formato Excel (figura 33).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	defuncion	T min	T max	H min	H max	dxfinal	edad	sexo
2	30/06/2006	28,5	43,0	15,4	54,4	GOLPE DE CALOR	59	M
3	05/07/2006	28,0	42,0	22,0	61,1	DESHIDRATACION MODERADA	78	M
4	07/07/2006	27,5	42,5	17,0	65,4	GOLPE DE CALOR	40	M
5	12/07/2006	29,0	45,4	19,0	64,1	GOLPE DE CALOR	36	M
6	12/07/2006	29,0	45,4	19,0	64,1	GOLPE DE CALOR	90	M
7	12/07/2006	29,0	45,4	19,0	64,1	GOLPE DE CALOR	30	M
8	13/07/2006	30,5	45,7	16,1	66,6	INSOLACION	45	M
9	13/07/2006	30,5	45,7	16,1	66,6	INSOLACION	52	M
10	13/07/2006	30,5	45,7	16,1	66,6	GOLPE DE CALOR	80	M
11	13/07/2006	30,5	45,7	16,1	66,6	GOLPE DE CALOR	88	M
12	14/07/2006	30,6	45,3	12,7	64,3	GOLPE DE CALOR	40	M
13	14/07/2006	30,6	45,3	12,7	64,3	GOLPE DE CALOR	40	M
14	14/07/2006	30,6	45,3	12,7	64,3	GOLPE DE CALOR	38	M
15	14/07/2006	30,6	45,3	12,7	64,3	DESHIDRATACION MODERADA	55	M
16	15/07/2006	31,1	44,8	19,4	64,5	GOLPE DE CALOR	49	M
17	15/07/2006	31,1	44,8	19,4	64,5	GOLPE DE CALOR	34	M
18	15/07/2006	31,1	44,8	19,4	64,5	GOLPE DE CALOR	69	M
19	15/07/2006	31,1	44,8	19,4	64,5	GOLPE DE CALOR	29	M

Figura 33.- Datos de SEMEFO del año 2006 en Mexicali B.C.

Para tener una base de datos más completa se consiguieron para el período 2006-2009 las temperaturas máximas y mínimas, así como la humedad máxima y mínima, esto con el fin de obtener un análisis más completo lo que permitiría definir una onda cálida para la ciudad de Mexicali B.C. considerando el factor humano. Esto se puede ver en la figura 34.

	A	B	C	D	E
1	fecha	T MIN	T MAX	H MIN	H MAX
2	01/01/2006	10,0	22,0	37,0	93,0
3	02/01/2006	10,0	21,5	45,0	98,0
4	03/01/2006	10,0	22,0	41,0	98,0
5	04/01/2006	7,0	23,5	29,0	60,0
6	05/01/2006	7,5	25,5	21,0	43,0
7	06/01/2006	10,0	26,5	20,0	37,0
8	07/01/2006	10,0	19,0	15,0	40,0
9	08/01/2006	6,5	25,0	19,0	54,0
10	09/01/2006	11,0	23,0	12,7	51,0
11	10/01/2006	7,0	22,0	12,7	40,0
12	11/01/2006	5,0	23,0	10,7	39,9
13	12/01/2006	6,0	23,5	14,0	57,1
14	13/01/2006	7,0	23,5	15,4	54,6
15	14/01/2006	9,5	23,8	21,5	60,1
16	15/01/2006	10,0	20,0	24,7	53,5
17	16/01/2006	9,0	17,8	11,2	40,6
18	17/01/2006	4,0	21,8	10,0	42,6
19	18/01/2006	7,0	23,8	17,7	47,5
20	19/01/2006	7,5	19,4	16,2	54,1
21	20/01/2006	5,5	19,1	18,9	46,0
22	21/01/2006	4,5	19,3	20,0	35,0
23	22/01/2006	5,0	20,0	16,0	31,0
24	23/01/2006	8,0	22,0	18,0	45,0
25	24/01/2006	7,5	24,0	15,0	40,0
26	25/01/2006	8,0	23,0	12,7	55,6
27	26/01/2006	6,0	22,0	26,2	92,0

Figura 34.- Datos de temperatura y humedad relativa en Mexicali B.C 2006 al 2009

#### 4.3.2. Afectaciones por el Calor

En la tabla 6 se presentan el número de afectaciones por el calor en la ciudad de Mexicali, B.C., teniendo como caso muestra a las personas que acudieron (o los llevaron) al Hospital General en el período de 2006 al 2009. Las afectaciones están divididas en: Golpe de Calor, Agotamiento por Calor, Insolación, Deshidratación Moderada y Deshidratación Severa.

Tabla 6.-Morbilidad y Mortalidad por calor en Mexicali B.C., del 2006 al 2009 de acuerdo a Hospital General

Afectación	No. Casos personas afectadas por calor	No. Casos de Muertes por calor	Edad
Golpe de Calor	83	39	20-98
Agotamiento por Calor	36	2	35-50
Insolación	5	5	34-54
Deshidratación Moderado	7	3	54-78
Deshidratación Severa	7	2	50-89
Total	138	51	

De la tabla 6 se observa que el Golpe de Calor es lo que afecta más a la población, del total de personas que acudieron (138), 83 llegaron por esa causa, de las cuales 39 fallecieron. Las edades en las que más se presentan los efectos por el calor son entre los 30 y 55 años, esto es, que la población más afectada son los adultos jóvenes. Parece ser que una de las principales causas es el alcohol, drogas y el ejercicio al aire libre con exposición al calor. El 98% de los afectados por esta causa eran residentes de Mexicali B.C y el resto de fuera del municipio.

En la tabla 7 se puede apreciar que los datos climáticos varían para cada caso, en particular las temperaturas mínimas y humedad mínima para cada caso, esto no quiere decir que para que se presente un caso o una defunción depende únicamente de esto. Lo que se pudo observar en la base de datos es que se presentaban más casos de personas afectadas y muertes cuando la temperatura se mantenía por más de dos días consecutivos por encima de los 43 °C incrementando el número de casos al continuar el tercer día con la misma temperatura.

Tabla 7.-Casos de personas afectadas por Golpe de calor de 2006 al 2009

<b>AFECTADOS POR GOLPE DE CALOR 2006-2009</b>			
<b>TEMPERATURA MÍNIMA °C</b>	<b>TEMPERATURA MÁXIMA °C</b>	<b>HUMEDAD MÍNIMA %</b>	<b>HUMEDAD MÁXIMA %</b>
28 -30	42- 48	15 - 19	64 – 71
30-44		17- 65	
<b>MUERTES POR GOLPE DE CALOR 2006-2009</b>			
30 - 31	42- 48	19 - 21	64 – 76
30 -44		20 - 66	

En cuanto al sexo y ocupación de las personas afectadas el 99% son del sexo masculino y de diversas ocupaciones como carpinteros, mecánicos, albañiles, meseros y amas de casa, entre otros. Esto nos indica que el denominado Golpe de Calor se puede presentar mayormente en trabajos que se desempeñan al aire libre.

En la tabla 8 se muestran las personas afectadas y muertas de agotamiento por calor, cabe mencionar que en este caso solo se presentaron dos muertes por esta causa y fueron a inicios de la temporada de verano, así como que el primer caso de un hombre de 30 años no era originario de Mexicali por lo que no estaba aclimatado a dichas temperaturas, y el segundo caso de un hombre de 40 años si era originario de Mexicali pero se encontraba alcoholizado lo que provocó que se le atendiera demasiado tarde. En los casos de los afectados por esta causa casi en su totalidad eran de Mexicali B. C, y con trabajos al aire libre o en lugares cerrados lo que facilita que se dé el Agotamiento por calor.

Tabla 8.- Casos de Agotamiento por calor del 2006 al 2009.

<b>AFECTADOS DE AGOTAMIENTO POR CALOR 2006-2009</b>			
<b>TEMPERATURA MÍNIMA °C</b>	<b>TEMPERATURA MÁXIMA °C</b>	<b>HUMEDAD MÍNIMA %</b>	<b>HUMEDAD MÁXIMA %</b>
28 -31	41- 46	15 - 30	55 – 78
29 -44		20 – 60	
<b>MUERTES DE AGOTAMIENTO POR CALOR 2006-2009</b>			
23- 29	41- 47	5 – 16	26 - 55
25 -44		10 - 50	

Las personas afectadas por deshidratación moderada (tabla 9) eran originarias de Mexicali, pero las fallecidas eran de edad superior a los 54 años, así como las altas temperaturas esos días sobrepasaban los 43 °C.

Tabla 9.- Casos de Deshidratación Moderada del 2006 al 2009

<b>AFECTADOS POR DESHIDRATACIÓN MODERADA 2006-2009</b>			
TEMPERATURA MÍNIMA °C	TEMPERATURA MÁXIMA °C	HUMEDAD MÍNIMA %	HUMEDAD MÁXIMA %
19 -28	33- 46	17 - 22	30 - 68
25-40		20 – 55	
<b>MUERTES POR DESHIDRATACIÓN MODERADA 2006-2009</b>			
22 -31	42- 46	13 - 26	44 - 65
29-43		22 – 60	

La tabla 10 muestra los casos más severos de deshidratación, las muertes fueron hombres mayores de 54 años y con temperaturas máximas superior a los 42 °C.

Tabla 10.- Casos por Deshidratación Severa del 2006 al 2009

<b>AFECTADOS POR DESHIDRATACIÓN SEVERA 2006-2009</b>			
TEMPERATURA MÍNIMA °C	TEMPERATURA MÁXIMA °C	HUMEDAD MÍNIMA %	HUMEDAD MÁXIMA %
20 -28	38- 48	8 - 28	53 - 86
28 -42		20 - 70	
<b>MUERTES POR DESHIDRATACIÓN SEVERA 2006-2009</b>			
24- 29	43 - 46	14 – 27	44 – 55
27 – 44		17 – 52	

Los casos de insolación (tabla 11) se presentaron cuando las temperaturas mínimas estaban por encima de los 30 °C con máximas superiores a los 45 °C y con personas afectadas con un rango de edades muy variables, así como todas las personas afectadas eran originarios de Mexicali. En los casos de defunciones las temperaturas superaron los 43°C.

Tabla 11.- Casos por Insolación del 2006 al 2009

<b>AFFECTADOS POR INSOLACIÓN 2006-2009</b>			
<b>TEMPERATURA MÍNIMA °C</b>	<b>TEMPERATURA MÁXIMA °C</b>	<b>HUMEDAD MÍNIMA %</b>	<b>HUMEDAD MÁXIMA %</b>
30-33	45- 48	13 - 17	32 - 66
31 -46		15 – 60	
<b>MUERTES POR INSOLACIÓN 2006-2009</b>			
23- 29	43- 46	13 - 26	43 – 51
27 -44		20 - 51	

Con el fin de obtener probabilidades para la red bayesiana se hicieron las siguientes gráficas relacionadas al área de la salud.

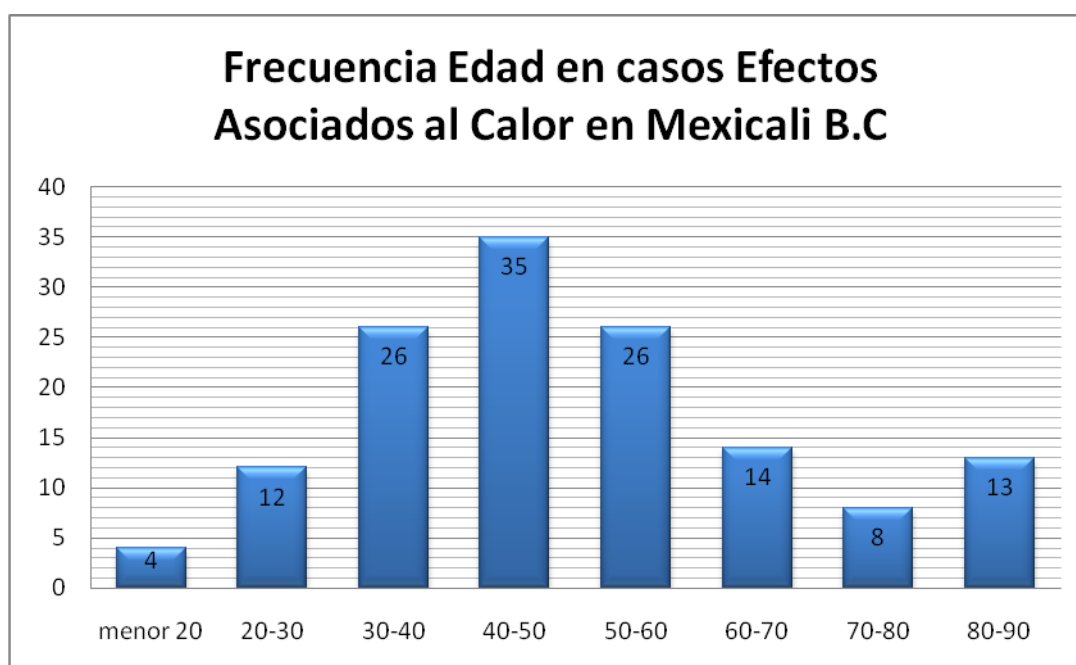


Figura 35.- Grafica de frecuencia de Edad de personas afectadas por calor del periodo de 2006 al 2009 del Hospital General Mexicali.

En la figura 35 se observa claramente que el mayor número de personas afectadas por calor son los Adultos Jóvenes en la ciudad de Mexicali .

### Clasificación de la variable Ocupación

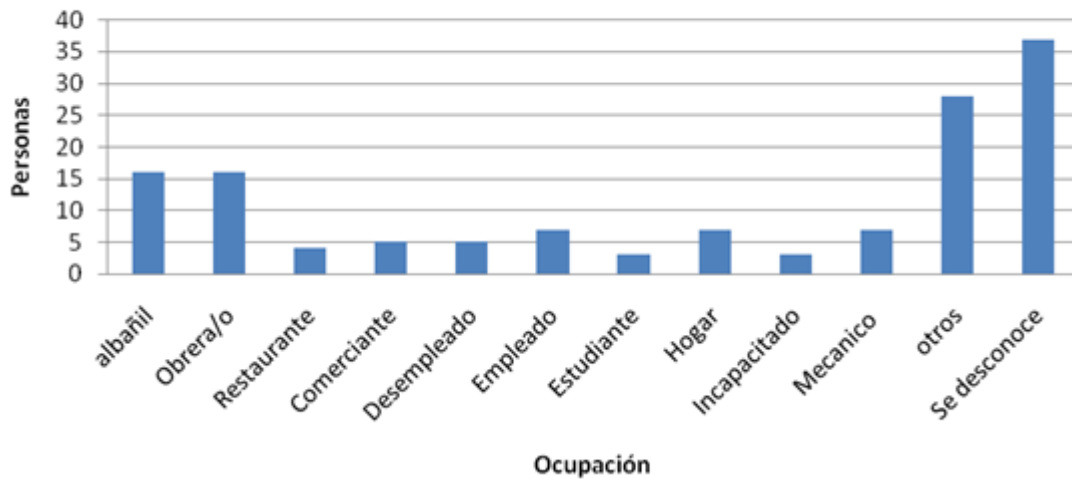


Figura 36.- Grafica clasificación para las ocupaciones más frecuentes en las personas afectadas por calor de 2006 al 2009 del Hospital General Mexicali

En la figura 36 se observa la clasificación de la ocupación mas frecuente de las personas afectadas por calor y notamos que el 37% se desconoce pero el resto es muy variable, se dejó de esa manera para obtener resultados mas asociados a la realidad.

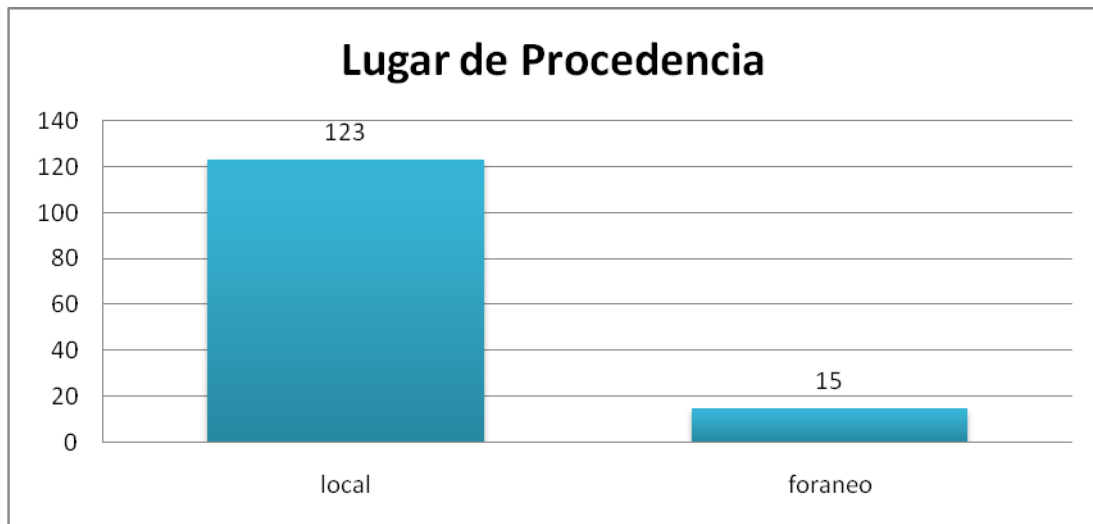


Fig 37- Histograma de datos lugar de procedencia de personas afectadas por calor de 2006 al 2009 en Hospital General Mexicali

La figura 37 muestra que el 89% de las personas que acudieron al Hospital General Mexicali fueron residentes de Mexicali B.C.

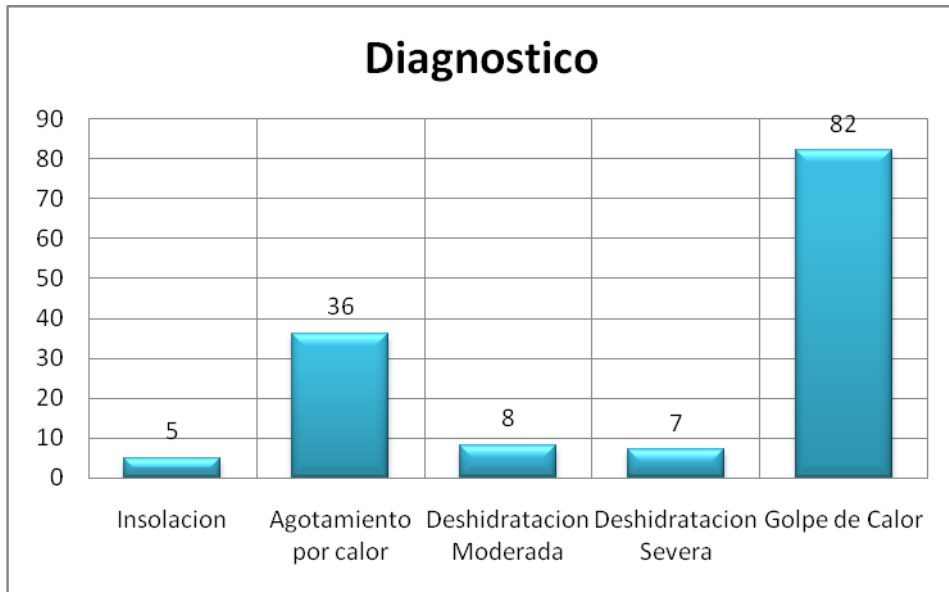


Figura 38.- Histograma de diagnostico de personas afectadas por calor de 2006 al 2009 en Hospital General Mexicali.

La figura 38 muestra el mayor índice de afectación en la temporada de verano para la ciudad de Mexicali que es el denominado Golpe de Calor.

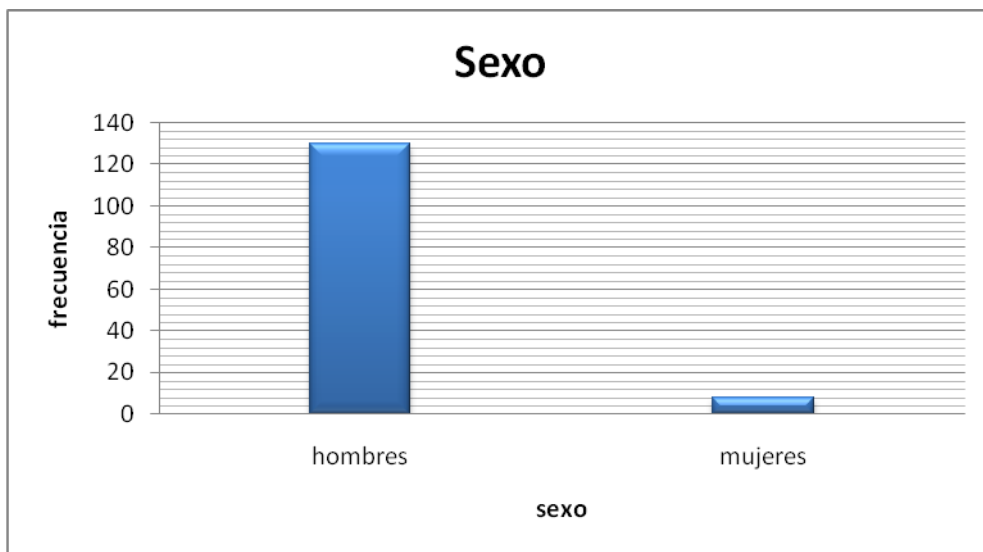


Figura 39.- Histograma del Sexo de las personas afectadas por calor del periodo de 2006 al 2009 del Hospital General Mexicali.

En esta figura 39 se muestra gráficamente que los hombres son las personas que se ven más afectadas por el calor con un 95% de los casos

#### 4.4. Propuesta de Definición Local de Onda Cálida

Con base a lo presentado en las secciones anteriores se puede definir una onda cálida como aquel período de tiempo en que, al menos durante dos días consecutivos la temperatura máxima es mayor o igual a 42°C, y la temperatura mínima es mayor o igual a 29°C.

Tomando en cuenta la definición anterior se pudo obtener los siguientes resultados en cuanto a la cantidad de Ondas Cálidas que se han presentado en la ciudad de Mexicali B.C para el periodo de 1950 al 2009. En la figura 40 se aprecia la cantidad de ondas cálidas para los meses considerados de alto índice de afectaciones a la salud por la exposición al calor. Se observa que el mes que más ondas cálidas tuvo fue el de agosto, con un total de 43, para el periodo de 1950 al 2009; en segundo lugar el mes de julio con 38 ondas cálidas; en el mismo periodo el mes de mayo no presentó ondas cálidas. Esto no quiere decir que por no presentarse ondas cálidas no haya afectados en distintos grados de impacto por las altas temperaturas.

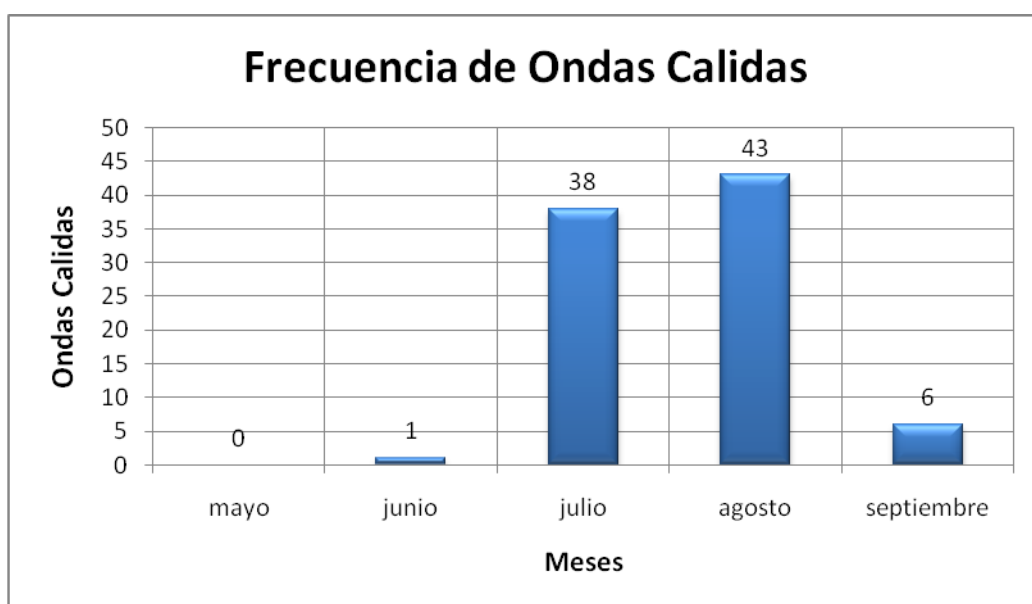


Figura 40 Frecuencia de ondas de calor en Mexicali B.C de 1950 al 2009.

En la figura 41 se muestra a detalle la intensidad de las ondas cálidas para el mes de julio, se puede notar que hubo una onda cálida de 12 días la cual se presentó en el año 2009.

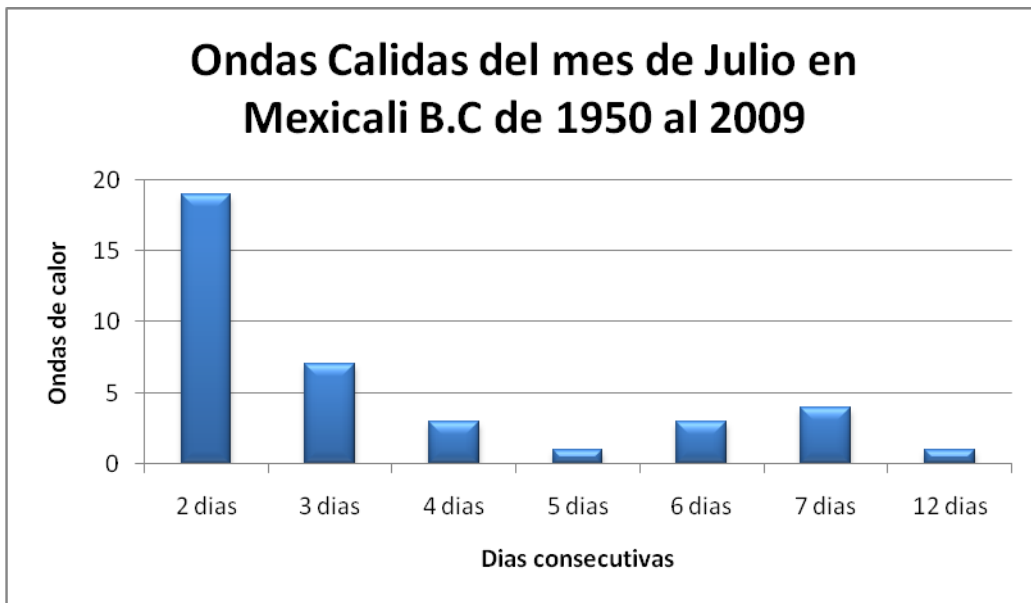


Figura 41 Ondas Cálidas del mes Julio en Mexicali B.C de 1950 al 2009.

En el mes de agosto (figura 42) fue donde se presentaron más ondas cálidas y con mayor frecuencia.

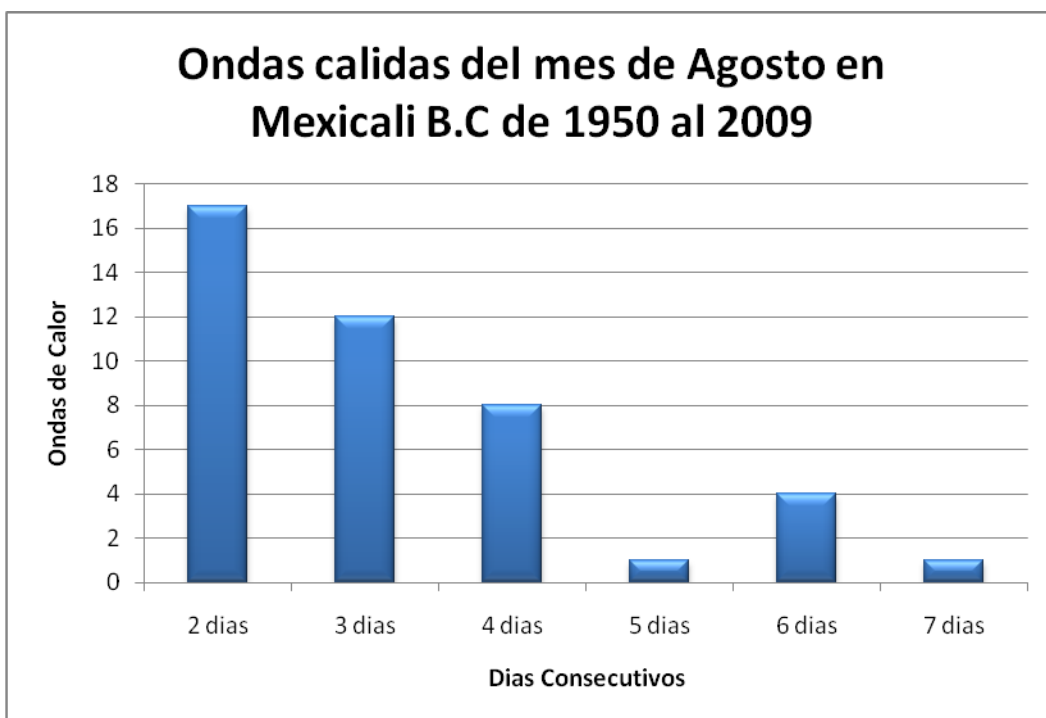


Figura 42 Ondas Cálidas del mes Agosto en Mexicali B.C de 1950 al 2009.

En el mes de septiembre (figura 43) se observan muy pocas ondas cálidas.

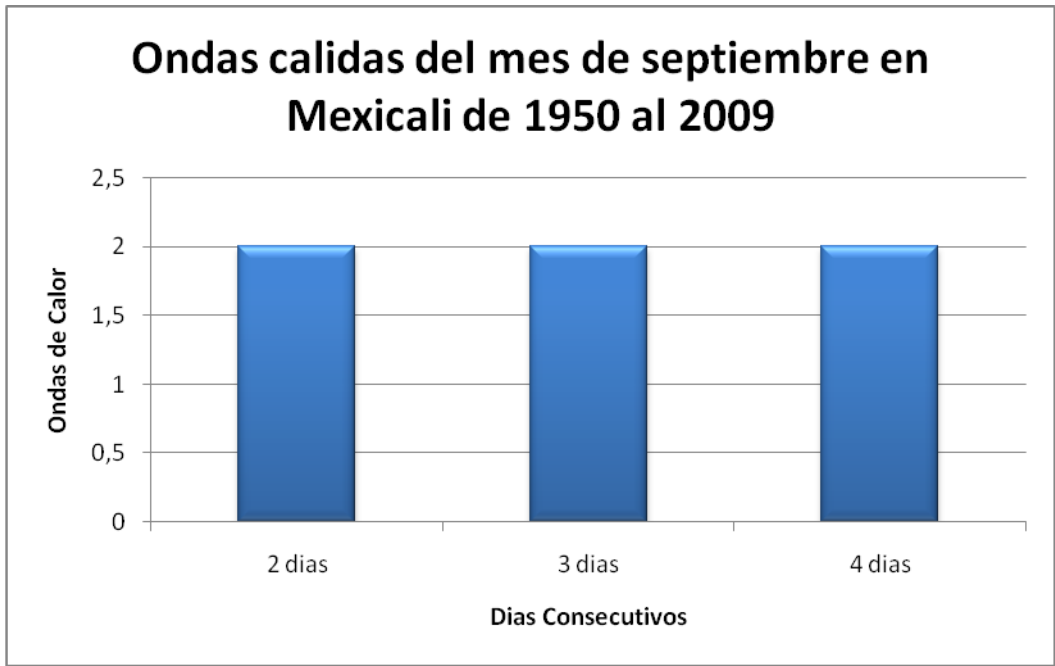


Figura 43 Ondas Cálidas del mes Agosto en Mexicali B.C de 1950 al 2009.

Podemos observar que en total fueron 88 ondas cálidas durante el periodo de 1950 al 2009. De estas ondas cálidas destaca una en julio que duró 12 días consecutivos pero en su mayoría fueron de dos a tres días consecutivos. Los meses de Julio y Agosto fueron en los que se presentaron la mayor parte de las ondas de calor, en el mes de Julio 38 ondas de calor y en Agosto 43 observando así los dos meses de mayor riesgo para la población afectada

**4.5 Estocasticidad de la Serie de Temperatura**

El propósito de estimar el parámetro de Hurst es con el fin de conocer el comportamiento de los datos y además observar si la serie es predecible a corto, mediano y largo plazo esto se obtiene con el valor de H y aplicando el valor del parámetro de Hurst (H) deberá estar en el rango  $0.5 < H < 1$  y  $0 < H \leq 0.5$ . Cuanto más se acerque H al valor de 1, más alto es el grado de correlación entre muestras lejanas y por tanto habrá un mayor grado de auto-similitud de largo alcance. Cuanto más se acerque al valor de 0.5, más aumentará el grado de correlación entre muestras cercanas, caracterizando a un proceso de corto alcance o corta memoria.

Para estimar el parámetro de Hurst se utilizó el siguiente código en Matlab 2008 (figura 44)

```
% Hurst parameter estimate
%
clear all
load datmin.dat;
load datmax.dat;
%
st1 = datmin(:)';      % Daily minimum temperatures
st2 = datmax(:)';      % Daily maximum temperatures
tday = (1:size(st1,2)); % days

subplot(2,1,1); plot(tday,st1);
axis([-inf +inf -inf +inf])
xlabel('Days','FontSize',16); ylabel('Minimum Temp(oC)','FontSize',16)
title('Daily minimum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on

subplot(2,1,2); plot(tday,st2);
axis([-inf +inf -inf +inf])
xlabel('Days','FontSize',16); ylabel('Maximum Temp(oC)','FontSize',16)
title('Daily maximum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on

H = rs(st1,1)
title('Daily minimum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on
H = rs(st2,1)
title('Daily maximum temperatures in Mexicali, Mexico, 1950-2009','FontSize',16);
grid on
```

Figura 44 Código de estimador de Hurst

“El análisis R/S consiste en escoger un cierto número de escalas, obtener la media del vector, calcular las diferencias de cada valor con respecto a la media y hacer una suma acumulativa de ellas. El rango es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de esta suma. Al dividir entre la desviación standard se obtiene R/S la cual, según Hurst, es proporcional a  $ct^H$ , donde “c” es una constante (0.5) y “t” es la escala en cuestión. Así que al graficar  $\log(R/S)$  vs “t”, la pendiente de la recta es “H”(www.geociencias.unam.mx).”

A continuación se muestra parte del código en Matlab para obtener el parámetro de Hurst mediante el uso del análisis de R/S (fig. 45)

```

if nargin == 1
    isplot = 0;
end

N = length(sequence);
dlarge = floor(N/5);
dsmall = max(10, log10(N)^2);
D = floor(logspace(log10(dsmall), log10(dlarge), 50));
D = unique(D);
n = length(D);
x = zeros(1, n);
y = zeros(1, n);

R = cell(1, n);
S = cell(1, n);
for i = 1:n
    d = D(i);
    m = floor(N/d);
    R(i) = zeros(1, m);
    S(i) = zeros(1, m);
    matrix_sequence = reshape(sequence(1:d*m), d, m);

    Z1 = cumsum(matrix_sequence);
    Z2 = cumsum(repmat(mean(matrix_sequence), d, 1));
    R(i) = (max(Z1-Z2)-min(Z1-Z2));
    S(i) = std(matrix_sequence);

    if min(R(i))==0 || min(S(i)) ==0
        continue;
    end
end

```

Figura 45.-Parte del código S/R para calcular el parámetro de Hurst

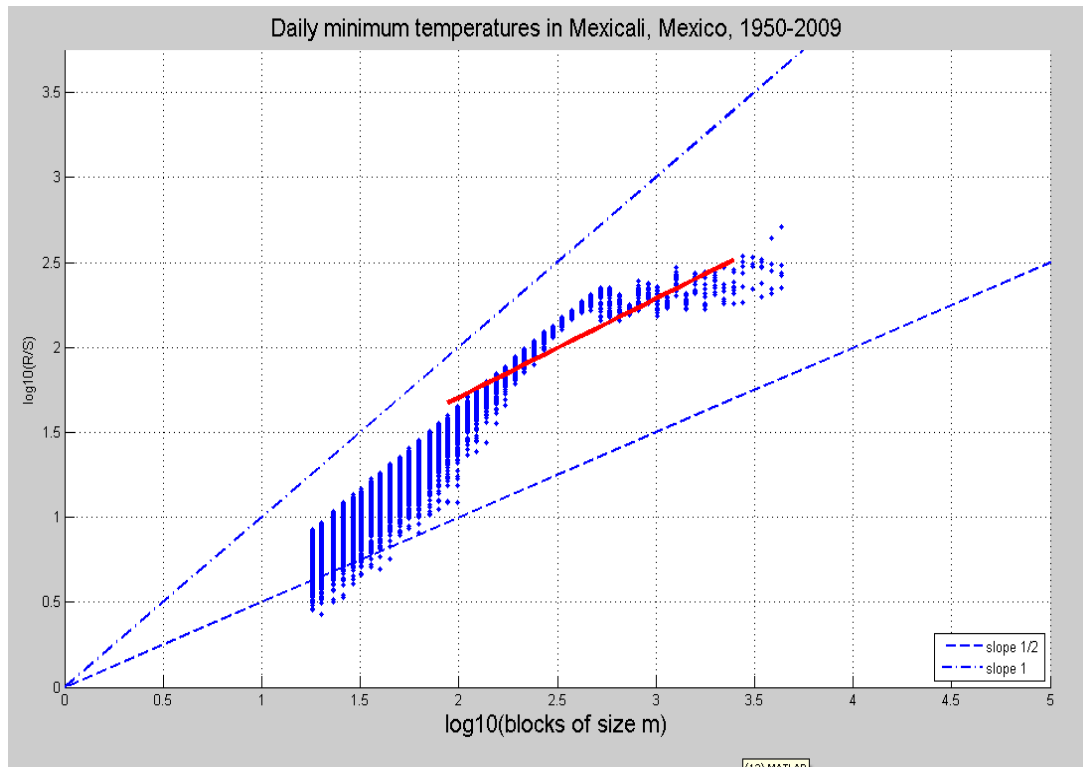


Figura 46.- Valor de H para temperaturas mínimas de Mexicali. B.C del periodo 1950 al 2009

En la figura 46 se observan los resultados el estimador de Hurst para las temperaturas mínimas para el periodo de 1950 al 2009, se puede mencionar que se observa un comportamiento bien definido donde se traza una línea roja, y que los datos caen dentro de los límites de confianza que son las dos líneas punteadas con un valor de  $H=0.5808$ .

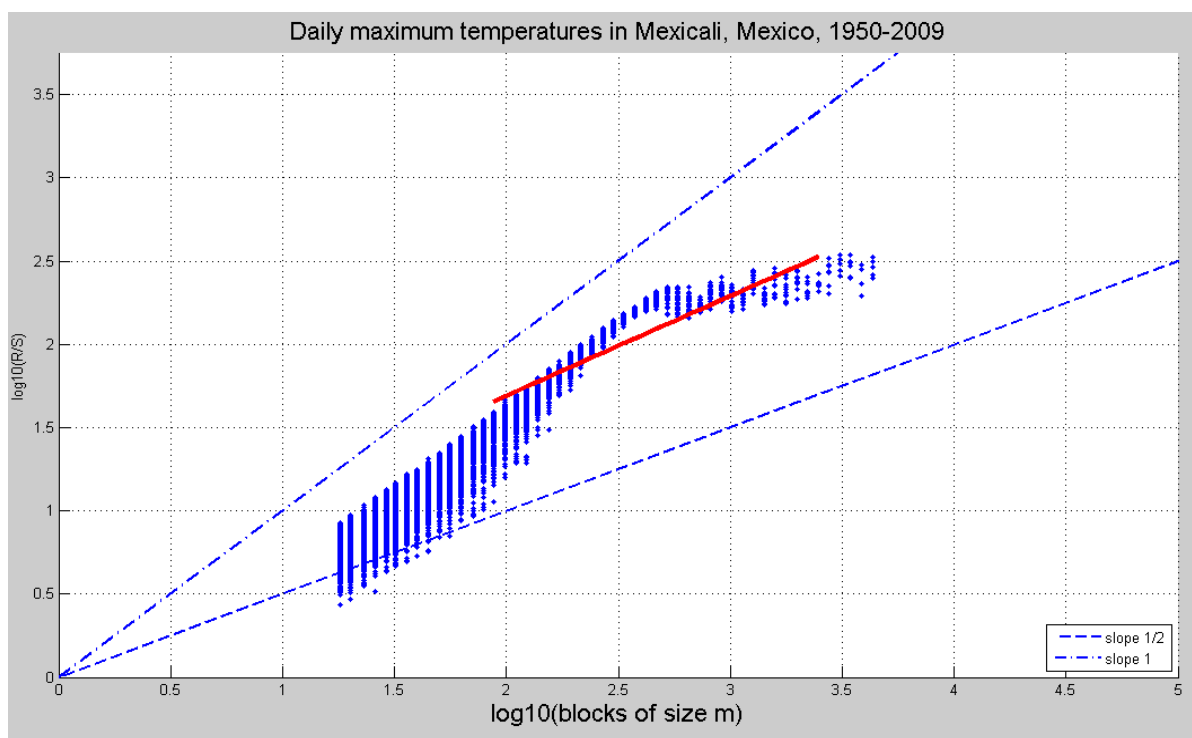


Figura 47.-Valor de H para temperaturas máximas de Mexicali. B.C del periodo 1950 al 2009

En la figura 47 el Parámetro de Hurst se obtuvo un valor de H de 0.5977 para la temperatura máxima, esto nos dice de acuerdo al teorema de Hurst es que nuestra serie es predecible a corto- mediano plazo ya que los datos se encuentran en las bandas de confianza.

#### 4.6 Red Bayesiana

Para obtener probabilidades primero se hizo la discretización de los datos de temperaturas máximas para los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre del periodo de 1950 al 2009, con lo que se obtuvo la figura 48, esto con el fin de clasificar los datos de temperatura y obtener una probabilidad; el valor 0 son los datos menores de 40°C , el valor 1 son iguales y mayores de 40°C pero menor de 42°C, y el valor 2 es para temperaturas mayores iguales a 42 °C estos rangos fueron considerados en base a los resultados obtenidos en la sección de salud, es decir, las personas afectadas por el calor.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1950,0		1951,0		1952,0		1953,0		1954,0	
49,6	2,0	38,7	0,0	46,7	2,0	37,3	0,0	39,9	0,0
44,2	2,0	39,6	0,0	46,7	2,0	40,0	1,0	41,8	1,0
44,4	2,0	41,3	1,0	46,7	2,0	39,4	0,0	41,5	1,0
43,9	2,0	40,7	1,0	46,0	2,0	40,8	1,0	41,7	1,0
40,8	1,0	40,2	1,0	46,1	2,0	41,1	1,0	42,2	2,0
33,4	0,0	40,8	1,0	46,0	2,0	43,8	2,0	40,0	1,0
38,5	0,0	41,0	1,0	46,0	2,0	44,0	2,0	42,0	2,0
39,8	0,0	41,0	1,0	45,1	2,0	44,3	2,0	41,8	1,0
38,8	0,0	42,7	2,0	44,0	2,0	43,3	2,0	43,2	2,0
38,3	0,0	44,4	2,0	42,7	2,0	43,7	2,0	42,8	2,0
38,0	0,0	43,0	2,0	32,7	0,0	45,5	2,0	42,5	2,0
38,1	0,0	42,8	2,0	34,0	0,0	43,3	2,0	41,6	1,0
38,1	0,0	44,2	2,0	37,9	0,0	44,0	2,0	41,0	1,0
38,3	0,0	44,6	2,0	40,5	1,0	44,8	2,0	42,8	2,0
36,1	0,0	45,0	2,0	43,8	2,0	43,3	2,0	41,8	1,0
34,6	0,0	41,7	1,0	43,7	2,0	42,7	2,0	40,7	1,0
35,3	0,0	44,0	2,0	41,0	1,0	41,5	1,0	39,4	0,0
34,3	0,0	44,3	2,0	40,0	1,0	39,0	0,0	40,0	1,0
35,0	0,0	43,4	2,0	38,5	0,0	40,5	1,0	40,5	1,0
36,9	0,0	42,2	2,0	37,1	0,0	41,3	1,0	43,9	2,0
33,7	0,0	42,0	2,0	38,0	0,0	40,5	1,0	44,0	2,0
35,0	0,0	42,0	2,0	39,5	0,0	39,7	0,0	37,5	0,0

Figura 48 Discretización de temperaturas máximas de Mexicali BC

Para los datos del Sector salud de obtuvieron de una muestra de 138 personas afectadas por las altas temperaturas en Mexicali B.C que acudieron a Hospital General Mexicali.

En las tablas 12, 13, 14, 15 y 16 se muestran tanto los valores absolutos, como las probabilidades obtenidas, así como el número de casos que se consideraron para realizar los cálculos. En esas tablas Des. M se refiere a deshidratación moderada, Des. S a deshidratación severa y Ago a Agotamiento.

**Tabla 12.- Datos de la variable Sexo**

Sexo	Golpe de Calor	Insolación	Des. M	Des. S	Ago.	Total
Hombre	80	5	7	5	34	131
Mujer	3	0	0	2	2	7
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>36</b>	<b>138</b>
<b>PROBABILIDADES</b>	<b>Golpe de Calor</b>	<b>Insolación</b>	<b>Des. M</b>	<b>Des. S</b>	<b>Ago.</b>	
Hombre	.99	1	1	.98	.99	
Mujer	.001	0	0	.02	.01	
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

**Tabla 13.- Datos de la Variable Lugar**

Lugar	Golpe de Calor	Insolación	Des. M	Des. S	Ago.	Total
Local	68	3	5	7	34	117
Foráneo	15	2	2	0	2	21
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>36</b>	<b>138</b>
<b>PROBABILIDADES</b>	<b>Golpe de Calor</b>	<b>Insolación</b>	<b>Des. M</b>	<b>Des. S</b>	<b>Ago.</b>	<b>Total</b>
Local	.96	.89	.93	1	.99	
Foráneo	.04	.11	.07	0	.01	
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

**Tabla 14.- Datos de la variable Edad**

Edad	Golpe de Calor	Insolación	Des. M	Des. S	Ago.	Total
Menos 20	0	0	0	1	3	4
20-30	7	1	0	0	4	12
30-40	18	1	2	0	5	26
40-50	27	1	1	1	4	34
50-60	15	2	2	1	6	26
60-70	7	0	0	0	7	14
70-80	3	0	1	1	3	8
80-90	6	0	1	3	4	14
<b>TOTAL</b>	<b>83</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>36</b>	<b>138</b>
<b>PROBABILIDADES</b>	<b>Golpe de Calor</b>	<b>Insolación</b>	<b>Des. M</b>	<b>Des. S</b>	<b>Ago.</b>	<b>Total</b>
Menos 20	0	0	0	.03	.004	
20-30	.04	.1	0	0	.02	
30-40	.22	.21	.32	0	.04	
40-50	.44	.27	.21	.30	.60	
50-60	.19	.42	.32	.23	.05	
60-70	.05	0	0	0	.03	
70-80	.02	0	.07	.07	.23	
80-90	.04	0	.37	.37	.02	
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

**Tabla 15.- Datos de la variable Ocupación**

Ocupacion	Golpe de Calor	Insolación	Des. M	Des. S	Ago.	Total
Albañil	8	0	1	1	6	16
Obrero	8	2	1	0	5	16
Restauranero	2	0	1	0	1	4
Comerciante	5	0	0	0	0	5
Desempleado	3	1	0	0	1	5
Empleado	4	0	0	0	3	7
Estudiante	0	0	0	0	3	3
Ama de casa	1	0	0	3	3	7
Incapacitado	2	0	0	0	1	3
Mecánico	3	0	0	0	4	7
Otros	19	2	2	3	2	28
Se desconoce	29	0	2	0	7	37
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>36</b>	<b>138</b>
<b>PROBABILIDADES</b>	<b>Golpe de Calor</b>	<b>Insolación</b>	<b>Des. M</b>	<b>Des. S</b>	<b>Ago.</b>	<b>Total</b>
Albañil	.07	0	.09	.13	.16	
Obrero	.07	.35	.09	0	.14	
Restauranero	.003	0	.02	0	.06	
Comerciante	.01	0	0	0	0	
Desempleado	.008	.05	0	0	.008	
Empleado	.01	0	0	0	.03	
Estudiante	0	0	0	0	.01	
Ama de casa	.003	0	0	.17	.03	
Incapacitado	.003	0	0	0	.005	
Mecánico	.01	0	0	0	.05	
Otros	.27	.60	.34	.70	.09	
Se desconoce	.54	0	.45	0	.41	
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

**Tabla 16.- Probabilidades de la variable Mes**

MES	MAYOR A 40°C	MENOR 40°C
MAYO	.15	.85
JUNIO	.56	.44
JULIO	.83	.17
AGOSTO	.75	.25
SEPTIEMBRE	.43	.57

En la figura 49 se propone el modelo de la red bayesiana. En la cual se observa la relación que existe entre dichas variables así como su clasificación.

## RED BAYESIANA

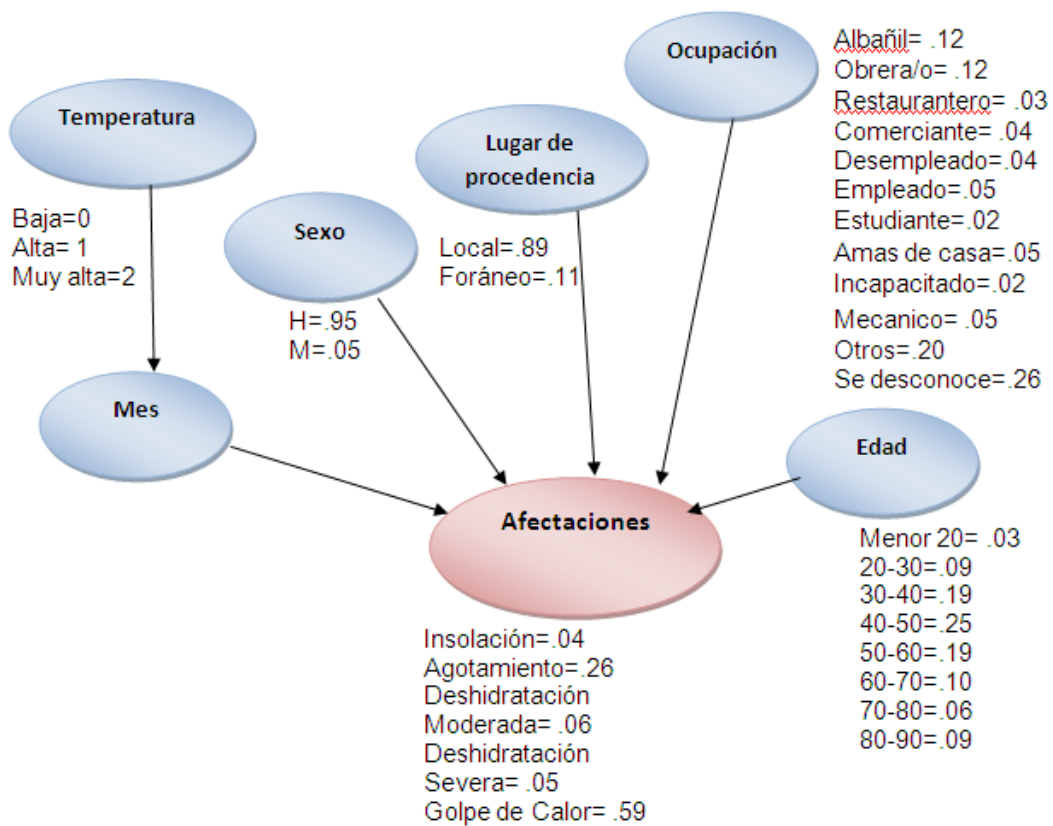


Figura 49.- Red Bayesiana

A continuación se muestra un ejemplo de interpretación que se obtuvo al calcular las probabilidades en la red bayesiana.

$P(\text{julio})|(\text{hombre})(\text{local})(\text{edad}30-40)(\text{albañil}) = .012$ ; Esto en palabras quiere decir que: en el mes de julio, una persona del sexo masculino, originario de Mexicali, que esté en un rango de edad entre 30 y 40 años, y que tenga de oficio la albañilería, tiene una probabilidad de 0.012 de ser afectado por el golpe de calor. En las tablas 17 a 21 se presentan las probabilidades condicionales de los meses de mayo a septiembre de que personas con diferentes características sean afectadas por el golpe de calor. La interpretación es la misma que al principio de este párrafo, que va variando conforme las características anotadas en paréntesis.

**Tabla 17.-Resultados de probabilidades condicionales de Golpe de Calor obtenidos con la Red Bayesiana para el mes de Mayo**

<b>P(mayo) (hombre)(local)(edad 30-40)(ocupación otro)=.0021</b>
<b>P(mayo) (hombre)(local)(edad 30-40)=.03136</b>
<b>P(mayo) (hombre)(local)(edad 40-50)=.0627</b>
<b>P(mayo) (hombre)(local)(edad 50-60)=.0270</b>
<b>P(mayo) (mujer)(local)(edad 30-40)=.00003</b>
<b>P(mayo) (mujer)(local)(edad 40-50)=.00006</b>
<b>P(mayo) (mujer)(local)(edad 50-60)=.00002</b>
<b>P(mayo) (hombre)(foraneo)(edad 30-40)=.0013</b>
<b>P(mayo) (hombre)(foraneo)(edad 40-50)=.0026</b>
<b>P(mayo) (hombre)(foraneo)(edad 50-60)=.0011</b>

**Tabla 18.- Resultados de probabilidades condicionales de Golpe de Calor obtenidos con la Red Bayesiana para el mes de Junio**

<b>P(junio) (hombre)(local)(edad 30-40)(ocupación Albañil)=.0081</b>
<b>P(junio) (hombre)(local)(edad 30-40)=.1170</b>
<b>P(junio) (hombre)(local)(edad 40-50)=.2341</b>
<b>P(junio) (hombre)(local)(edad 50-60)=.1011</b>
<b>P(junio) (mujer)(local)(edad 30-40)=.0001</b>
<b>P(junio) (mujer)(local)(edad 40-50)=.0002</b>
<b>P(junio) (mujer)(local)(edad 50-60)=.0001</b>
<b>P(junio) (hombre)(foraneo)(edad 30-40)=.0048</b>
<b>P(junio) (hombre)(foraneo)(edad 40-50)=.0097</b>
<b>P(junio) (hombre)(foraneo)(edad 50-60)=.0042</b>

**Tabla 19.- Resultados de probabilidades condicionales de Golpe de Calor obtenidos con la Red Bayesiana para el mes de Julio**

<b>P(julio) (hombre)(local)(edad 30-40)(ocupación Albañil)=.0121</b>
<b>P(julio) (hombre)(local)(edad 30-40)=.1735</b>
<b>P(julio) (hombre)(local)(edad 40-50)=.3470</b>
<b>P(julio) (hombre)(local)(edad 50-60)=.1498</b>
<b>P(julio) (mujer)(local)(edad 30-40)=.0001</b>
<b>P(julio) (mujer)(local)(edad 40-50)=.0003</b>
<b>P(julio) (mujer)(local)(edad 50-60)=.0001</b>
<b>P(julio) (hombre)(foraneo)(edad 30-40)=.0072</b>
<b>P(julio) (hombre)(foraneo)(edad 40-50)=.0144</b>
<b>P(julio) (hombre)(foraneo)(edad 50-60)=.0062</b>

**Tabla 20.- Resultados de probabilidades condicionales de Golpe de Calor obtenidos con la Red Bayesiana para el mes de Agosto**

<b>P(agosto) (hombre)(local)(edad 30-40)(ocupación albañil)=.0109</b>
<b>P(agosto) (hombre)(local)(edad 30-40)=.1568</b>
<b>P(agosto) (hombre)(local)(edad 40-50)=.3136</b>
<b>P(agosto) (hombre)(local)(edad 50-60)=.1354</b>
<b>P(agosto) (mujer)(local)(edad 30-40)=.0001</b>
<b>P(agosto) (mujer)(local)(edad 40-50)=.0003</b>
<b>P(agosto) (mujer)(local)(edad 50-60)=.0001</b>
<b>P(agosto) (hombre)(foraneo)(edad 30-40)=.0065</b>
<b>P(agosto) (hombre)(foraneo)(edad 40-50)=.0130</b>
<b>P(agosto) (hombre)(foraneo)(edad 50-60)=.0056</b>

**Tabla 21.- Resultados de probabilidades condicionales de Golpe de Calor obtenidos con la Red Bayesiana para el mes de Septiembre**

<b>P(septiembre) (hombre)(local)(edad 30-40)(ocupación Albañil)=.0062</b>
<b>P(septiembre) (hombre)(local)(edad 30-40)=.0899</b>
<b>P(septiembre) (hombre)(local)(edad 40-50)=.1798</b>
<b>P(septiembre) (hombre)(local)(edad 50-60)=.0776</b>
<b>P(septiembre) (mujer)(local)(edad 30-40)=.00009</b>
<b>P(septiembre) (mujer)(local)(edad 40-50)=.0001</b>
<b>P(septiembre) (mujer)(local)(edad 50-60)=.00007</b>
<b>P(septiembre) (hombre)(foraneo)(edad 30-40)=.0037</b>
<b>P(septiembre) (hombre)(foraneo)(edad 40-50)=.0074</b>
<b>P(septiembre) (hombre)(foraneo)(edad 50-60)=.0032</b>

De las tablas 17 a 21 se puede apreciar que el mes de Julio es el de mayor probabilidad de que una persona de sexo masculino padezca un Golpe de calor, seguido por el mes de Agosto: la red bayesiana solamente se aplicó para Golpe de Calor ya que se presenta con mayor frecuencia en la estación de verano, seguido por el Agotamiento por calor.

También se observó que al hacer la relación de todas las variables con ocupación se obtenía una probabilidad muy baja posiblemente por las múltiples ocupaciones que se consideraron, además de que se contaba con una muestra muy pequeña de datos del sector salud (138 casos) proporcionados por el Hospital General Mexicali de 2006 al 2009. También se notó que los hombres que radican en Mexicali con edad de entre 30 y 60 años son los más afectados independientemente de su ocupación.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El problema de las ondas cálidas, como se ha logrado ver, es multidisciplinario, y no fácil de cuantificar debido al gran número de variables involucradas. Como un ejemplo de la aplicación del área ambiental y su impacto en la sociedad, en esta tesis se estudió la asociación de las altas temperaturas y la salud humana. Con información climatológica, obtenida de la Comisión Nacional del Agua, y las afectaciones por el calor, del sector salud, se propuso la definición de una onda Cálida para la Ciudad de Mexicali B.C.; como criterio estadístico se consideró el percentil 95 (P95), de temperaturas máximas y temperaturas mínimas, y como criterio de salud se observó que ésta empieza a ser afectada cuando las temperaturas están muy cercanas a los 41°C. Con esta información y haciendo un análisis detallado del criterio del sector salud se definió una Onda Cálida cuando en 2 o más días consecutivos la temperatura máxima es  $\geq 42^{\circ}\text{C}$  y la temperatura mínima es  $\geq 29^{\circ}\text{C}$ .

Con la aplicación de ese criterio se obtuvieron, en el período de análisis de 1950 al 2009, el siguiente número de ondas cálidas. Para el mes de mayo 0, mes de junio 1, mes de julio 38, mes de agosto 43 y mes de septiembre 6. En total fueron 88 ondas cálidas en todo el periodo con una intensidad de 2 a 3 días consecutivos la mayor parte del tiempo y con una onda cálida muy severa en el mes de julio, del año 2009, de 12 días.

Con el análisis estadístico básico realizado a las temperaturas en los meses de mayo a septiembre se observó que los meses de julio y agosto son los más cálidos permaneciendo su temperatura máxima diaria por encima de los 40°C, alcanzando temperaturas de hasta 50°C lo que podría indicar un alto índice de afectados por las altas temperaturas.

Lo anterior se complementó con el análisis de las series temporales con lo que se verificó que las temperaturas mínimas, han mostrado una tendencia ascendente al paso de los años.

Se propusieron algunas herramientas para la simulación del comportamiento de las temperaturas; en particular se hizo la estimación de parámetro de Hurst

(H), y se obtuvo un valor H de 0.58 para ambas temperaturas mínima y un  $h=0.59$  para temperatura máxima lo que indica que esa variable, en ambos casos, son predecibles a corto-mediano plazo, este es un resultado muy importante ya que nos sugiere que su predicción es factible de obtener muy buenos resultados, esto es, con un nivel de confianza alto.

De los datos del sector salud se analizaron las siguientes variables: sexo, edad, lugar de procedencia, ocupación, temperaturas máximas y mínimas. Esto se realizó con la finalidad de conocer con más detalle algunas características de la población afectada por las altas temperaturas.

A esos datos de salud se les aplicó un análisis estadístico con el cual se tuvieron los principales resultados que a continuación se comentan: en cuanto a las variables edad y sexo se obtuvo que son las relacionadas con los impactos del calor en la salud, en este caso de estudio los hombres son los más afectados con un 95% y las edades con mayor impacto fueron los adultos jóvenes de 30 a 60 años, otra variable que destacó fue *Localidad* ya que se esperaba un resultado más bajo de incidencia pero por el contrario, el número más alto de afectados por calor fueron personas que radicaban en la ciudad de Mexicali B.C. con un 89% de afectados. La variable Ocupación nos mostró que los Albañiles y Obreros son los más afectados a la exposición de las altas temperaturas.

Con respecto a la aplicación de la red bayesiana se concluye que los hombres que radican en Mexicali con edad de entre 30 y 60 años son los más afectados independientemente de la ocupación con un 35% de probabilidad de que un hombre con estas características sea afectado por calor en el mes de julio.

Con base en los resultados se concluye que se tiene una mejor comprensión del problema de las ondas cálidas y su impacto en la salud en la ciudad de Mexicali, Baja California, México. El acercamiento con herramientas estadísticas tradicionales, el punto de vista bayesiano y su incorporación en áreas donde intervienen multiplicidad de variables, como son las ciencias atmosféricas y de salud, logró su cometido de aprehender a detalle la esencia del problema propuesto. Por otro lado, debido a la gran cantidad de información es necesario aplicar más herramientas de inteligencia artificial para

lograr el objetivo de una predicción ya que en esta ocasión sólo se logró aplicar una red bayesiana muy sencilla por la complejidad que existió al tratar de hacer una clasificación de las temperaturas bajo un criterio base que considerara el factor humano, pero a la vez solo considerar los valores extremos de temperatura con un percentil 95. Dado que es importante predecir una onda cálida se planea seguir trabajando en ello con el uso de herramientas como la lógica difusa y la aplicación de las redes neuronales para así lograr modelar diversos escenarios de la presencia de ondas cálidas y por consiguiente proponer un sistema de alerta de este evento extremo.

## **CAPÍTULO VI**

### **BIBLIOGRAFÍA**

Abaurrea J., Asin J., Cebrian A.C., Centelles A..(2007). Modeling and forecasting extreme hot events in the central Ebro valley, a continental-Mediterranean area. *Global and planetary change* 37, 47-58 pp.

Adam J. Kalkstein & Scott C. Sheridan (2007). The social impacts of the heat-health watch/warning system in Phoenix, Arizona: assessing the perceived risk and response of the public. *Int J Biometeorol.* 52:43–55 pp.

Agnieszka G.G. & Agnieszka S. (.2008). Artificial neural network models of relationships between *Alternaria* spores and meteorological factors in Szczecin (Poland), *Int J Biometeorol.* 52: 859–868 pp.

Agnieszka G.G. & Agnieszka S. (2009). Hourly predictive artificial neural network and multivariate regression tree models of *Alternaria* and *Cladosporium* spore concentrations in Szczecin (Poland), *Int J Biometeorol.* Vol. 63 (1): 93–9.

Bautista Thompson E., Guzmán Ramírez E., Figueroa Nazuno j, (2004). Predicción de Múltiples Puntos de Series de Tiempo Utilizando Support Vector Machines Forecasting of Multiple Points in Time Series with Support Vector Machines. *Computación y Sistemas.* Vol. 7 No. 3 pp. 148 - 155pp, Impreso en México.

Beniston M., Diaz H.2004. The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global and planetary change* 44, 73-81pp.

Cofiño A., Cano R, Sordo C. Gutiérrez J. (2002). “Bayesian Networks for Probabilistic Weather Prediction.” *ECAI. Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence*, IOS Press, 695 - 700 pp.

COOPER G., HERSKOVITS E.,1992. “A Bayesian Method for the Induction of Probabilistic Networks from Data.” *Kluwer Academic Publishers, Boston.* Manufactured in The Netherlands. *Machine Learning*, 9, 309-347pp..

Diaz J., (2004). Análisis de tendencias en olas de calor a partir de series largas de temperatura. Capítulo de libro *El Clima entre el Mar y la Montaña*, Publicación de la Asociación Española de Climatología, 200-208 pp.

Diaz J.. Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville(spain) from 1986-1997. . *Int Biometeorology*,46, 145-149pp.

García M.,2003.. Análisis y predicción de la serie de tiempo del precio externo del café colombiano utilizando redes neuronales artificiales. *Red de Revistas*

Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Universitas Scientiarum, Vol. 8, julio-diciembre, 45-50pp

García, C.O.R., Tejeda, M.A., Jáuregui, O.E., 2008. Downscaling estadístico aplicado a las ondas de calor en una ciudad árida del noroeste de México y estimación del efecto del cambio climático global. Capítulo de libro Cambio Climático Regional y sus Impactos, Publicación de la Asociación Española de Climatología, 531-542 pp.

García, C.O.R., Tejeda, M.A., Jáuregui, E., 2010. Heatwaves and heatdays in an arid city in the northwest of Mexico: current trends and in climate change scenarios. *International J. Biometeorol.*, 36-46 pp.

Haines A., Kovats R.S., Campbell Lendrumb D, Corvalan C., 2006. Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. *Public Health* vol 120, 585–596pp.

Jáuregui, E., 2006. Heat Waves in Northern Mexico. *Merhavim, Studies in the Geography of Israel and the Middle East*. Tel Aviv University. No. 6, pp. 370-382. Israel.

Jiménez Guerrero F., Gázquez Abad C., Sánchez Fernández.R., 2006. La capacidad predictiva en los métodos Box-Jenkins y Holt-winters: una aplicación al sector turístico. *Revista Europea de dirección y economía de la empresa*, vol. 15, num 3, 185-198pp.

Kalkstein L., Scott Greene J., 1997. An Evaluation Of Climate/Mortality Relationships In Large U.S. Cities And The Possible Impacts Of A Climate Change *Environmental Health Perspectives*. Volume 105, Number 1, January

Kalkstein LS and Sheridan SC (2007). The social impacts of the heat–health watch/warning system in Phoenix, Arizona: assessing the perceived risk and response of the public. *Int. J. Biometeorol* 52:43:55 pp.

Katavoutas G., Theoharatos G., Flocas H., Asimakopoulos.D., 2009. “Measuring the effects of heat wave episodes on the human body’s thermal balance”. *Int J Biometeorol* 53:177–187pp.

Katsev S., L’Heureux I., 2003. “Are Hurst exponents estimated from short or irregular time series meaningful?” *Ottawa-Carleton Institute for Physics, University of Ottawa*, March .

Kristie L. Ebi E. Gerald A. Meehl, 2007. Heatwaves & Global Climate Change .*The Heat Is On: Climate Change & Heatwaves In The Midwest*. National Center For Atmospheric Research

Kysel J., 2004. Mortality And Displaced Mortality During Heat Waves In The Czech Republic. *Int J Biometeorol* 49:91–97 pp.

Kysely J., Kalvova J., Kveton V., 2000. Heat Waves In The South Moravian Region During The Period 1961-1995. *Studia Geoph. Et Geod.* 44pp.

Kysely J., 2002. Probability Estimates Of Extreme Temperature Events: Stochastic Modelling Approach Vs. Extreme Value Distributions. 2002 *StudiaGeo s.r.o.*, Prague Institute of Atmospheric Physics, Acad. Sci. Czech Republic, Prague, Czech Republic

Ledesma Orozco S., Cerda Villafaña G., Aviña Cervantes G., Hernández Fusilier D., Torres Cisneros M., 2009. Analysis of LRD Series with Time-Varying Hurst Parameter ".Department of Electrical and Computer Engineering University of Guanajuato, .

Lucas PJ, van der Gaag LC, Abu-Hanna A. (2004), Artificial Intelligence in Medicine. "Bayesian networks in biomedicine and health-care", Elsevier. Vol. 30-3

Malagón Luque C., 2003. "Clasificadores bayesianos. El algoritmo Naïve Bayes". .

Meehl G, Arblaster J., Tebaldi C., 2007.. Contributions Of Natural And Anthropogenic Forcing To Changes In Temperature Extremes Over The United States. *Geophysical Research Letters*, Vol. 34, L19709.

Molinero L., 2004. Asociación de la sociedad española de Hipertensión. Análisis de series de tiempo.

Moreno A.R, 2006. Climate change and human health in Latin America: drivers, effects, and policies. *Reg Environ Change* 6: 157–164pp

National Weather Service (2006) Heat wave: a major summer killer [http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/heat\\_wave.shtml](http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/heat_wave.shtml).

Nicholls N., Skinner C., Loughnan M., Tapper N., 2008. A simple heat alert system for Melbourne, Australia. *Int J Biometeorol* 52:375–384pp.

R Sari Kovats, Kristie L Ebi, 2006. Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health*, Vol. 16, No. 6, 592–599pp.

Reyes Pavón J, 2008: Redes bayesianas para el ajuste de parámetros de algoritmos genéticos usados en problemas de satisfacción de restricciones geométricas. Resumen de Tesis ISSN: 1988-3064(on-line) .

Richard G. Clegg. 2005. "A Practical Guide to Measuring the Hurst Parameter". June 28,.

Sánchez P., Velásquez J., 2004.. Escuela de Sistemas. Modelado de Cambios de Nivel en Series de Tiempo No Lineales Usando Redes Neuronales Artificiales. Universidad Nacional De Colombia. Facultad de Minas

Sheridan, S., 2007. "A survey of public perception and response to heat warnings across four North American cities: an evaluation of municipal effectiveness". *Int J Biometeorol* 52:3–15pp.

Sheridan S., Kalkstein L., June 2004. *Progress In Heat Watch–Warning System Technology*. American Meteorological Society.

Sheridan S., Dolney T., 2003. Heat, Mortality, And Level Of Urbanization: Measuring Vulnerability Across Ohio, Usa. *Clim Res Vol. 24*: 255–265pp.

Sheridan SC, Kalkstein LS (2004) Progress in heat watch-warning system technology. *Bull Am Meteorol Soc* 85:1931–1941pp.

Sucar. L., "Redes Bayesianas". INAOE, 2006.

Suraje Dessai, 2002.. Heat stress and mortality in Lisbon Part I. model construction and validation. *Int J Biometeorol* 47:6–12pp.

Tan J., Zheng Y., Song G., Kalkstein LS, Kalkstein AJ, Tang X., 2007. Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003. *International Journal of Biometeorology* 51:193-200pp.

Tobías A., García de Olalla P , Linares C., Bleda M., Caylà J., Díaz J. 2009. Short-term effects of extreme hot summer temperatures on total daily mortality in Barcelona, Spain. *Int J Biometeorol*

Weisskopf Marc G, Henry A. Anderson, Seth Foldy, Lawrence P. Hanrahan, Kathleen Blair, Thomas J. Török, and Peter D. Rumm, 2002. Heat Wave Morbidity and Mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An Improved Response?. *Am J Public Health*. May; 92(5): 830–833pp.

WHO briefing note for the fifty-third session of the WHO Regional Committee for Europe (Vienna, Austria, 8–11 September 2003)

[www.scielo.isciii.es](http://www.scielo.isciii.es). Consultada el 1 marzo del 2011

[www.advancedtech.wordpress.com/2008/04/16/aprendizaje-en-redes-bayesianas/](http://www.advancedtech.wordpress.com/2008/04/16/aprendizaje-en-redes-bayesianas/). Consultada 8 mayo del 2011.

[www.enfervalencia.org/ei/antiores/articulos/articulos17.htm](http://www.enfervalencia.org/ei/antiores/articulos/articulos17.htm) , Carmona Simarro, J. V.\*; Villalba Lizandra, N.\* , \* D.E. SAMU de Sueca-Cullera, 1999, (Valencia). Enfermería Extrahospitalaria: Actuación En El Golpe De Calor. Samu De Sueca-Cullera. Consultada 8 de mayo del 2011.

[www.estadistica.mat.uson.mx](http://www.estadistica.mat.uson.mx). Consultada el 3 mayo del 2010

[www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org). Consultada el 3 de mayo 2009

[www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx) Consultada el 27 de agosto del 2009

[www.ine-semarnat.gob.mx](http://www.ine-semarnat.gob.mx). Consultada el 29 de abril 2009

[www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm-sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm-sp.pdf) Consultada el 6 de agosto del 2009

[www.maxsilva.bligoo.com/content/view/186499/Series-de-Tiempo.html](http://www.maxsilva.bligoo.com/content/view/186499/Series-de-Tiempo.html)

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx). Consultada el 20 de abril 2009

Yip F., Flanders D., Wolkin A., Engelthaler D., Humble W., Neri A., Lewis L., Backer L., Rubin C., 2008.. The impact of excess heat events in Maricopa County, Arizona: 2000–2005. Int J Biometeorol, Volume 52, pp 765-772

[www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/progHurstyD1108.pdf](http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/progHurstyD1108.pdf). Consultada el 30 de mayo 2011.