



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

RELACIÓN CLIMA-DENGUE EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

ADRIANA GUZMÁN CANCINO

ASESOR DE TESIS:

DR. VÍCTOR ORLANDO MAGAÑA RUEDA



Facultad de Filosofía
y Letras

MÉXICO, D.F.

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi asesor el Dr. Víctor Magaña Rueda, por haberme brindado su paciencia y apoyo incondicional para el desarrollo del presente trabajo.

A los sinodales, el Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez, la Mtra. Mary Frances Rodríguez Van Gort y el Dr. Rodolfo Acuña Soto, por sus aportes y el tiempo dedicado en la revisión de esta tesis. Especialmente a la Dra. Leticia Gómez Mendoza por su orientación y sus contribuciones de gran valor para la culminación de esta investigación.

Al Mtro. Luis Galván quien formó parte del grupo de trabajo para la elaboración de esta publicación.

A la COFEPRIS, especialmente a María de la Luz González por su apoyo y por facilitar la obtención de las bases de datos utilizadas, ya que sin ellas esta investigación no se hubiera podido realizar. A Diana Ortiz y Alberto Román quienes también formaron parte del proyecto.

Al Grupo de Clima y Sociedad del Instituto de Geografía 2014.

A la UNAM y al Colegio de Geografía.

A la memoria del Dr. Miguel Cortez Vázquez

ÍNDICE

Introducción.....	3
Objetivos	6
Hipótesis.....	6
Estructura de la tesis	7
Capítulo 1	9
Marco teórico.....	9
1.1 Clima y salud	9
1.2 ¿Qué es el dengue?	11
1.2.1 El vector	12
1.2.2 Transmisión	12
1.2.3 Sintomatología.....	13
1.2.4 Dengue hemorrágico.....	14
1.2.5 Breve historia del dengue en el mundo.....	14
1.3 Aedes aegypti, mosquito transmisor del dengue	17
1.3.1 Ciclo de vida del dengue.....	18
1.4 El caso de México.....	21
Capítulo 2.....	23
Datos y metodología.....	23
2.1 Datos de dengue	23
2.2 Datos climáticos.....	27
2.3 Tendencias y relaciones.....	27
2.3.1 Humedad y la Curva Clausius-Clapeyron	29
Capítulo 3.....	32
Resultados	32
3.1 Ciclo anual del clima en México.....	32
3.2 Ciclo anual del dengue	33
3.3 Variabilidad climática y dengue.....	38
3.4 Relación dengue-factores físicos (cercanía al mar, altitud, uso de suelo)	41
3.5 Tendencias clima-dengue en México	45

3.6 Estudios de caso	46
3.7 Proyecciones bajo cambio climático	61
Capítulo 4	65
Discusión y conclusiones.....	65
4.1 Discusión.....	65
4.2 Salud y gestión de riesgo	66
4.3 El valor de las acciones de prevención	68
4.3.1 Control larvario	68
4.3.2 Nebulización	70
4.3.3 Participación comunitaria.....	70
4.4 ¿Será suficiente? La necesidad de adaptación	72
4.4.1 Adaptación y prevención.....	72
4.5 Recomendaciones	73
4.6 Conclusiones	74
Referencias	77

Introducción

El clima juega un papel importante en la aparición de enfermedades virales (Kelly-Hope, 2008). Las variaciones de las condiciones climáticas no sólo determinan la distribución espacial de las enfermedades (Haines y Patz 2004; Patz *et al.*, 2005), sino que también son a menudo un factor determinante para que algunos brotes se vuelvan epidemias con tendencias a aumentar en el largo plazo (Burke *et al.*, 2001). Aunque el clima es el factor determinante para que se pueda desarrollar un posible brote, existen otros componentes como factores físicos (latitud, cercanía con cuerpos de agua) y factores sociales (cambio de uso de suelo, población, actividades económicas) que determinan la intensidad de las enfermedades virales así como también la vulnerabilidad de la población hacia éstas.

El dengue es la enfermedad viral más importante en el mundo y afecta a cientos de millones de personas cada año (OMS, 2009). Es transmitida por el mosquito *Aedes aegypti*, el cual se ha adaptado a vivir cerca de áreas habitadas por humanos (Thiri6n, 2003).

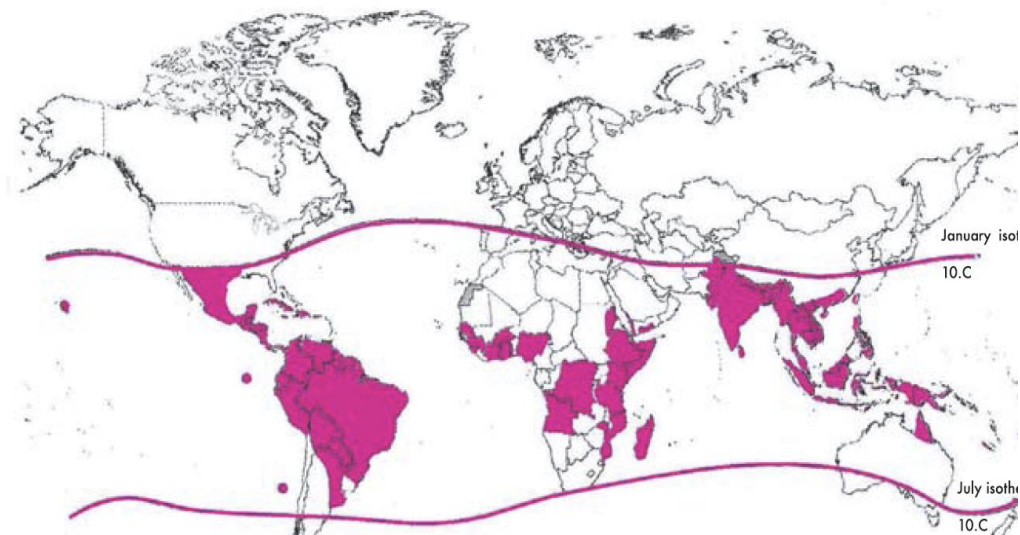


Figura 1.1. Las líneas del contorno de las isoterms de enero y julio indican los límites geográficos de los hemisferios norte y sur para la supervivencia durante todo el año del mosquito *Aedes aegypti*, principal vector de los virus del dengue. Fuente: OMS, 2009.

Diversos estudios muestran que el dengue se relaciona con condiciones de climas húmedos y cálidos (Kovats, 2000). Dado que la tendencia del clima en México se estima que es hacia mayor temperatura y humedad, el potencial de ocurrencia de epidemias de dengue aumenta a menos que se implementen acciones preventivas, tanto a nivel local como nacional.

El dengue es un asunto prioritario de salud pública, debido a los efectos sociales y económicos inmediatos que ocasiona, tanto a los grandes grupos de población expuesta, como para el sector salud, por el aumento en la demanda de consultas médicas y los costos de atención que conlleva a la prestación de los servicios (Salud, 2008). El escenario en el que se han desarrollado los brotes de dengue recientes en México, está modulado por condiciones físicas, sociales y económicas, que son diferentes a las existentes en décadas pasadas (Narro, *et al.*, 1995).

La condición de amenaza del clima (humedad y temperatura) por encima de valores umbral, así como una creciente vulnerabilidad de diversos grupos sociales y regiones, lleva a que el problema de prevención de dengue sea uno de gestión de riesgo. Estimar cuánto es mucho riesgo permitirá tomar decisiones de cuándo actuar de forma emergente, pero preventiva. Al mismo tiempo, las proyecciones de la condición clima y dengue futuras permitirán diseñar medidas estructurales de reducción de vulnerabilidad que eviten que el dengue se convierta en un grave problema de salud en México en las décadas por venir.

Definir la distribución geográfica de una enfermedad dentro de un país o región, es un paso fundamental para entender su epidemiología, ya que permite a los sistemas de salud identificar la ubicación del problema definiendo los grupos vulnerables o en situación de riesgo. También permite hacer comparaciones entre las enfermedades, sus tendencias temporales y su relación con factores climáticos (Kelly-Hope, 2008).

La geografía dedica sus esfuerzos a analizar las características de localización y distribución de las manifestaciones de los grupos humanos, de los elementos naturales, sus diferencias locales, su dinámica espacio-temporal y sus inter-relaciones e inter-actuaciones en la superficie terrestre o espacio. Los estudios desarrollados por la geografía deben responder a algunas de las preguntas que se asocian con las formas de vida y la estructura territorial en la que se encuentran, principalmente ¿dónde? y ¿cuándo? (González *et al*, 2007) Es decir, distingue aquellas variables que se encuentran ligadas íntima e inexorablemente al lugar en un tiempo determinado en que transcurren los hechos como la salud.

La contribución de la geografía en el ámbito de la salud es importante, por el aporte de numerosas técnicas y métodos para comprender las particularidades de distribución espacial de los estados de salud-enfermedad de un territorio o región determinada, "ver y oír" lo que sucede en salud en un radio de acción determinado, para tomar decisiones adecuadamente y mejorar las condiciones sanitarias de la población donde se requiera (Verhasselt, 1993; Iñiguez, 1998). Tomar en cuenta el valor de la cartografía y otras herramientas geográficas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) forma parte de las herramientas usuales de los Sistemas de Vigilancia en Salud en muchos países, tanto en su componente estratégico (a largo plazo), como en su componente táctico (a corto plazo), y participando en el desarrollo y efectividad de los servicios de salud, en el seguimiento, la recolección sistemática, el análisis e interpretación de datos sobre eventos de salud o condiciones relacionadas, para poder planificar, implementar y evaluarlos programas de salud pública, así como en la divulgación de datos e información para la promoción y la preservación de la salud.

La epidemiología no se limita al aspecto clínico de los problemas, requiere del apoyo de ciencias como la Geografía para asociar la información de diferentes fuentes y formatos a fin de conocer y analizar la manera de focalizar los servicios, adecuándolos a población específica que debe desarrollar su salud y, por tanto, elevar su calidad de vida (González *et al.*, 2007).

Los factores de riesgo y las enfermedades relacionadas a condiciones extremas del clima, figuran hoy entre las más importantes causas de la carga mundial de morbilidad por varios padecimientos. Una investigación que establezca las relaciones clima-salud resulta necesaria para poner en marcha una estrategia que permita al sector salud prepararse en tiempo y forma ante la variabilidad climática y un posible incremento de casos por efectos del cambio climático.

Objetivos

Identificar las relaciones existentes entre la variabilidad climática y la presencia del dengue en México para el periodo comprendido entre 1999 y 2009, considerando las condiciones geográficas regionales.

Los objetivos secundarios son los siguientes:

- a) Establecer las relaciones entre variaciones de temperatura, precipitación y humedad y brotes de dengue.
- b) Determinar el umbral climático a partir del cual se incrementan los casos de dengue.
- c) Identificar los desfases temporales de las condiciones climáticas y la presencia de dengue.
- d) Dar las bases para que por medio de variables climáticas se den alertas tempranas para prevenir los brotes de dengue.

Hipótesis

La importancia de estudiar los brotes de dengue y su relación con el clima en la actualidad, radica en que si bien las tendencias de la temperatura van a la alza y es uno de los factores que propician la aparición del *Aedes aegypti*, el contar con climas cálidos permite mayores niveles de humedad, lo que da como resultado condiciones favorables para que el mosquito transmisor del dengue se reproduzca y se desarrolle en zonas donde anteriormente no se había visto.

Estructura de la tesis

La tesis se divide en cuatro capítulos:

En el primer capítulo, se presenta una introducción sobre las relaciones del clima y la salud dentro del contexto geográfico, enfocándose en el dengue como una enfermedad de importancia en México por sus tendencias de aumento de brotes en los últimos años. Se hace énfasis en la estrecha relación que el vector tiene con las condiciones climáticas del país para dar paso a un estudio detallado a lo largo del presente trabajo.

En el segundo capítulo, se presentan los datos de dengue y clima que fueron utilizados para la realización del estudio. Se describe de qué manera estos datos fueron procesados con la ayuda de un sistema de información geográfica (SIG) utilizando diferentes métodos para llevar a cabo el análisis.

En el tercer capítulo, se presentan los resultados de la relación clima-dengue en México. Se muestran las tendencias que sigue el dengue según las condiciones climáticas, además de explicar la importancia de contar con productos climáticos que ayuden a comprender el comportamiento del vector influido por las distintas variables en diferentes estudios de caso.

En el cuarto capítulo, se presentan las conclusiones sobre el análisis de la relación clima-dengue en México, así como también se sugieren recomendaciones que pueden ser de gran ayuda para prevenir futuros brotes de dengue.

Capítulo 1

Marco teórico

1.1 Clima y salud

El clima puede repercutir en la salud a través de una serie de mecanismos, ya sea directamente a través de estrés por frío o calor o, más comúnmente, de forma indirecta a través de su impacto sobre la distribución espacial y temporal de las enfermedades infecciosas sensibles al clima (OMS, 2009). Estos padecimientos, son comúnmente transmitidos por vectores. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reconocido recientemente una serie de enfermedades infecciosas sensibles al clima, algunas de las cuales incluyen: el paludismo, el cólera y el dengue (Connor, 2008).

Las enfermedades parasitarias, bacterianas y virales se distribuyen de acuerdo a la localización geográfica, la estacionalidad, la variabilidad interanual o los cambios en el clima (OMS, 2009). Métodos de estudio van desde simples comparaciones de la estacionalidad, al análisis detallado de riesgos, modelos predictivos y sistemas de alerta temprana de epidemias. La malaria y el dengue, son las enfermedades más estudiadas en relación con el clima, seguida por la meningitis meningocócica, la esquistosomiasis, el rotavirus y la leishmaniasis (Kelly-Hope, 2008).

Las variaciones del clima no sólo determinan la distribución de las enfermedades, sino que también son a menudo un factor determinante para que algunos brotes se vuelvan epidemias con tendencias a aumentar en el largo plazo (Burke *et al.*, 2001). Se debe considerar de que a pesar de que existe una extensa bibliografía de algunas enfermedades, muy poco de investigación se ha hecho en los países

con el mayor número de muertes de niños menores de cinco años (Kelly-Hope, 2008).

Las enfermedades transmitidas por vectores (ETV) representan un importante problema de salud pública en México. Se estima que cerca de 60% del territorio nacional presenta condiciones que favorecen la transmisión de estas afecciones, en donde residen más de 50 millones de personas y se localiza la mayor parte de los centros agrícolas, ganaderos, industriales, pesqueros, petroleros y turísticos, de importancia para el país. Dentro de las ETV, la más importante en México es el dengue (Salud, 2008).

El dengue, dentro de las enfermedades virales transmitidas por vector, representa en la actualidad la mayor problemática de salud pública en el mundo (Narro y Gómez, 1995; Salud, 2008).

De las relaciones observadas sobre el efecto del clima en la salud humana, una línea prioritaria de investigación es aquella que analiza las pruebas científicas de asociaciones entre la variabilidad climática y la frecuencia de enfermedades infecciosas en el pasado reciente (OMS, 2003), para conocer las influencias que ejerce la variabilidad climática sobre las enfermedades infecciosas y las relaciones que existen entre éstas, es un primer paso en la consideración de las posibles consecuencias del cambio climático en la salud humana. La identificación de situaciones críticas de grupos y regiones vulnerables ayudará en el establecimiento de estrategias de acción y mitigación del daño (Kelly-Hope, 2008).

La importancia de las enfermedades infecciosas como un factor determinante y el resultado de la pobreza en los países en desarrollo es un argumento importante para la inversión internacional y nacional en el control de los patrones de transmisión de enfermedades infecciosas. Este argumento se ve reflejado en la declaración de las Naciones Unidas: Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (Sachs, 2004; Sachs y McArthur, 2005). Aunque la capacidad de infección y los

procesos de transmisión única para muchas enfermedades son complejos, diversos factores han sido identificados como causas directas del riesgo de enfermedad; entre ellos se encuentran los factores climáticos como la lluvia y la temperatura. El clima no sólo determina la distribución espacial y temporal de muchas enfermedades infecciosas (Burke *et al.*, 2001), es a menudo un factor determinante de la variabilidad interanual de algunas epidemias (Kovats *et al.*, 1999, 2003; OMS, 2004; Kuhn *et al.*, 2005), y de las tendencias de estas a largo plazo (Haines y Patz 2004; Patz *et al.*, 2005). Más específicamente, la información climática se puede utilizar para mejorar nuestra evaluación de intervenciones para enfermedades sensibles al clima y la salud humana (McMichael *et al.*, 2003, Hansen *et al.*, 2004, Connor *et al.*, 2006). Mientras que muchos otros factores sin duda, juegan un rol crítico en la propagación de la enfermedad (por ejemplo, el estado inmunológico, condiciones socioeconómicas, etc.) este trabajo se centra específicamente en cómo el clima está asociado con la incidencia de enfermedades en la población humana.

1.2 ¿Qué es el dengue?

El dengue es una enfermedad infecciosa producida por un virus de la familia *Flaviviridae*. Se le reconocen 4 serotipos: DEN-1, DEN-2, DEN-3, DEN-4. Los serotipos son un grupo de variaciones genéticas, todas pueden ser causantes de enfermedad en el humano. Es transmitida por mosquitos del género *Aedes*, y su principal vector es *Aedes aegypti*. Se conoce que otros representantes del género son capaces de transmitirla, como *Aedes albopictus*, de gran importancia en Asia y con un progresivo incremento en América (Lemus, 2009).

Para que exista la enfermedad deben existir tres componentes: humano, virus y mosquito vector, este último encargado de transmitir la afección de un hombre enfermo a un hombre sano (Thiri6n, 2003).

El dengue ocurre fundamentalmente en los países tropicales y subtropicales, pero con predominio urbano, donde el humano actúa como un gran modificador del entorno, generando condiciones propicias para los criaderos del mosquito (Rifakis, 2005).

1.2.1 El vector

En términos biológicos, un vector es un agente generalmente orgánico que sirve como medio de transmisión de un organismo a otro. La capacidad de volar es la principal característica vectorial debido a que le permite desplazarse en búsqueda de hospedero, localizar el área y la oportunidad adecuada para la obtención de la sangre y escapar de sus predadores (Speight *et al.*, 1999). La mayor parte de los vectores son mosquitos.

1.2.2 Transmisión

Resulta común confundir el dengue con otros padecimientos virales; su transmisión se presenta por carencias en la higiene doméstica, deficiencias en los servicios de distribución de agua entubada y recolección de basuras, al favorecer sitios de reproducción de los vectores (Salud, 2001).

El contagio del virus del dengue requiere de un vector y un hospedero. El mosquito hembra se infecta al picar a un humano en etapa de viremia (cuando el virus entra al torrente sanguíneo y logra tener acceso al resto del cuerpo), la cual dura de dos a siete días, en promedio cinco días. En el mosquito la replicación viral ocurre entre ocho a 12 días, después de los cuales puede infectar a otros

humanos al momento de alimentarse. La hembra permanece infectada de por vida (OMS, 2009).

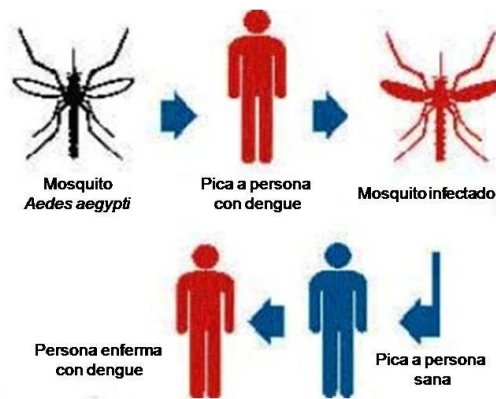


Figura 1.2. Forma de contagio del dengue a través del *Aedes aegypti* como vector transmisor.

En la saliva del vector se presentan los microorganismos que son propagados en el torrente sanguíneo del hospedero. Una vez que el individuo es picado por el mosquito pasa al estado de infectado. El individuo ingresa al estado infeccioso cuando se completa el periodo de incubación del virus dentro de él. Después de ser contagiado con uno de los serotipos del virus, la persona adquiere inmunidad permanente para este serotipo y temporal para los serotipos restantes (Focks *et al.*, 1995).

1.2.3 Sintomatología

Por sus manifestaciones clínicas, el dengue ha sido descrito popularmente como fiebre rompehuesos (Gómez, 1994). La infección con un serotipo del dengue puede en algunos casos, cursar en forma asintomática o bien manifestarse algunos días después de la picadura; se presentan después de un periodo de incubación de cuatro a siete días (mínimo tres, máximo 14) (OMS, 2009). Su principal sintomatología es parecida a la gripe: fiebre alta; dolor de cabeza, espalda y articulaciones; náuseas y vómito; malestar en los ojos y erupciones en

la piel. Generalmente, la enfermedad es más leve en niños menores, que en los infantes mayores y adultos (OMS, 1998).

1.2.4 Dengue hemorrágico

El dengue hemorrágico se presenta cuando hay una segunda infección con otra cepa del virus, de tal manera que cuando alguien presenta otro contagio es más probable que desarrolle dicho mal (Russell, 2009).

Este tipo de dengue es más grave y afecta principalmente a niños y adultos jóvenes; los síntomas incluyen una repentina aparición de fiebre y manifestaciones hemorrágicas que resultan en la pérdida importante de líquido y puede llevar a un shock (OMS, 1998). Aproximadamente el 5% de casos de dengue hemorrágico son mortales (Gubler, *et al.*1995). Actualmente no existe una vacuna para este padecimiento; el único método de controlar o prevenir el dengue y el dengue hemorrágico es la lucha contra los mosquitos vectores (OMS, 1998).

1.2.5 Breve historia del dengue en el mundo

Las primeras epidemias de dengue ocurrieron en 1779-1780 en Asia, África y América del Norte; la aparición casi simultánea de brotes en tres continentes indica que el virus del dengue y el mosquito vector han tenido una distribución en los trópicos alrededor del mundo durante más de 200 años (Gluber, 1995).

En el continente americano el aumento en el reporte de casos coincidió con la intensificación del comercio entre los puertos de la región del Caribe y el sur de los Estados Unidos con el resto del mundo, principalmente para el transporte de personas de origen africano comercializados como esclavos (CDC, 2005). El

origen del nombre que recibe la enfermedad se remonta al año 1823, época en la cual individuos procedentes de África Occidental introdujeron en América los términos *dinga* o *dyenga*, ambos derivados de la expresión swahili *ki-denga pepo* que designaba un ataque repentino parecido a un calambre o estremecimiento provocado por un espíritu malo (Gluber, 2006).

Con dichos términos se nombró una epidemia de la enfermedad ocurrida en esta región del continente africano. Una vez en América, en castellano se hizo referencia a ésta como dengue. Dado estos antecedentes se piensa que la enfermedad es de origen africano (Gluber, 2006).



Figura 1.3. Distribución global del mosquito *Aedes aegypti*. Fuente: Gluber 2001.

Pese a que el dengue era considerado una enfermedad benigna no fatal, grandes epidemias azotaron el Caribe y el Sur de los Estados Unidos en 1827-1828; 1850-1851; 1879-1880 (OPS, 1997), se reportan epidemias en Texas en 1885-1886, en Cuba en 1897 y en el Caribe en 1922. En 1934, Martinica, Guadalupe y Cuba reportan brotes (Salud, 1993). De 1941 a 1946 se afectó el litoral de Texas, Cuba, Puerto Rico, Bermuda, México, Panamá y Venezuela. En Brasil se registran epidemias en 1846-1848; 1851-1853; 1916; 1923 y hasta 1982 (Valdez, 2008).

El *Aedes aegypti* fue eliminado en casi la totalidad del continente americano, gracias a la campaña de erradicación emprendida por la Organización

Panamericana de la Salud (OPS) en Centro y Sur América en los años cincuenta y sesenta (OPS 1995). Lamentablemente, la falta de continuidad de políticas de erradicación en el continente a partir de los años 70 favorecieron nuevamente la reinfestación por *Aedes aegypti* (Maguiña, 2005).

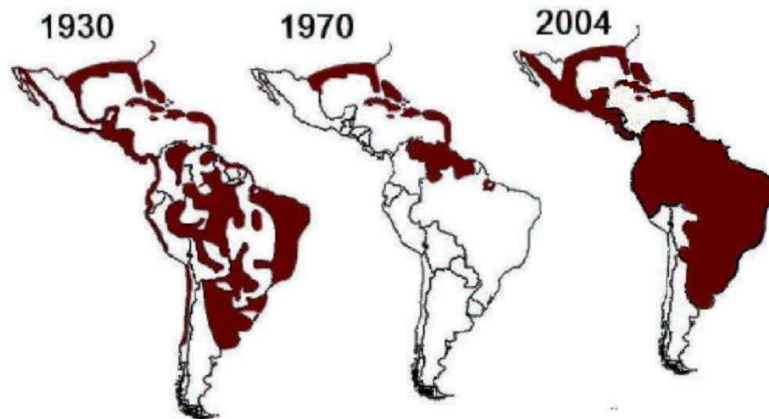


Figura 1.4. Distribución del *Aedes aegypti* en Latinoamérica de 1930 a 2004 Fuente: Gluber, 1995.

La historia reciente del dengue en México se inicia en 1966-1967 con la reintroducción del vector que favorece la circulación del DEN-1 a finales de la década de los setenta, su pico de actividad había sido en 1980, desde entonces la incidencia mostraba un descenso continuo e irregular. El serotipo DEN-1 muy probablemente ha estado presente en todas las regiones del país en donde ha ocurrido este padecimiento. En 1983 son identificados los serotipos DEN-2 y DEN-4. La dispersión geográfica del vector ha aumentado el número de localidades con transmisión; actualmente 29 estados han reportado ocurrencia de casos (Thrión, 2003). El reporte del primer caso de dengue hemorrágico en México ocurrió en un brote causado por DEN-4 en el estado de Yucatán en 1984 (Salud, 2001).

1.3 *Aedes aegypti*, mosquito transmisor del dengue

Aedes aegypti es un mosquito de hábitos diurnos y domésticos (Lemus, 2009), ya que está estrechamente relacionado con el humano. Se encuentra en áreas urbanas, suburbanas y ha colonizado sustancialmente el medio rural. Los recipientes artificiales como jarrones, floreros, tambos, pilas, tanques, cubetas, son los lugares más comunes para su cría, así como también aquéllos que tienen la capacidad de retener agua de lluvia principalmente, como llantas, envases desechados y canales de techo, entre otros, además los de tipo natural como conchas de moluscos, cáscaras de frutos, huecos en los árboles, axilas de plantas y otras cavidades naturales y en prácticamente cualquier objeto que retenga agua (Thrion, 2003).

Vive principalmente en regiones tropicales, limitado entre los 35° de latitud norte y los 35° de latitud sur, es decir, en una franja geográfica que garantice un invierno no menor de 10 °C (Lemus, 2009). En estos ambientes, las variables climáticas tales como temperatura, humedad y precipitación influyen en el desarrollo de mosquitos y su supervivencia. La temperatura afecta la tasa de desarrollo en las diferentes etapas de vida del mosquito (Hopp, 2003). La resistencia que presenta a los insecticidas constituye un problema para su erradicación (Lemus, 2009).

En México, *Aedes aegypti* se encuentra distribuido a lo largo del territorio; otra especie transmisora del dengue *Aedes albopictus* solo se ha encontrado en Nuevo León, Coahuila y Chiapas (Casas, *et al.*, 2003; Orta, *et al.*, 2005).

1.3.1 Ciclo de vida del dengue

La ovipostura (depósito de los huevecillos) es principalmente vespertina, los huevos son puestos uno a uno y quedan adheridos en las paredes del receptáculo al ras del agua. Para lograr su desarrollo necesita de dos a tres días con mucha humedad. Las primeras 48 horas de esta etapa es un período crítico donde la temperatura y la humedad son cruciales para su supervivencia; desarrollada completamente la larva dentro del huevo es capaz de resistir sequía y bajas temperaturas, sobrevive por períodos de varios meses hasta poco más de un año. Bajo estas condiciones, la larva permanece en estado de diapausa hasta tener contacto con el agua de nuevo, al disminuir el suministro de oxígeno atmosférico se activa y emerge del cascarón. Su vida acuática se inicia con el primero de cuatro estadios larvales, cada uno es de mayor talla que el anterior (Colvard, 1978).

Normalmente el desarrollo larval dura de cinco a siete días, termina cuando la larva en el cuarto estadio se desarrolla y alcanza la forma de pupa. Por lo general este estadio dura 48 horas o un poco más. El adulto, al emerger de la pupa es un mosquito oscuro, con manchas características de color blanco plateado y bandas blancas en las patas. Los machos se diferencian de las hembras por ser más pequeños y por tener antenas más plumosas. Hembra y macho beben néctar u otros carbohidratos de cualquier fuente accesible, sólo la hembra se alimenta de sangre, que le es necesaria para aumentar la viabilidad de los huevos (Thrion, 2003).

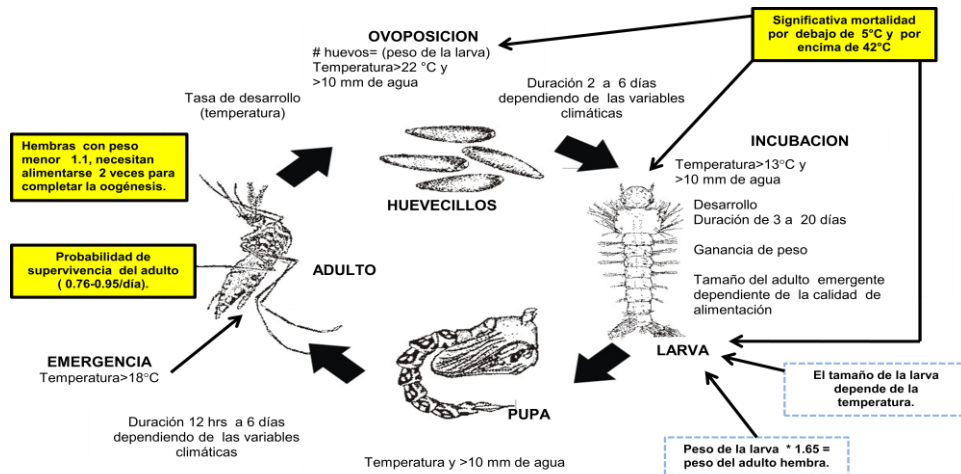


Figura 1.5. Ciclo de vida del mosquito *Aedes aegypti* Elaboró: Grea Moreno, a partir de datos de Focks *et al.*, 1995.

Una vez inseminada la hembra no necesita volver a copular y podrá producir varias veces huevos fértiles si se alimenta con sangre antes de cada ovipostura. Las hembras son atraídas por los humanos aunque se alimentan de otros animales vertebrados; los machos llegan a presentar un comportamiento similar sin tener la capacidad de picar ni de alimentarse de sangre. La cantidad de huevos que producen las hembras por cada ovipostura está directamente en relación con el volumen de sangre que ingirieron. Regularmente 72 horas o menos son necesarias para que los ovocitos (óvulos del mosquito hembra) estén listos para fecundarse, la hembra preñada busca un sitio con agua en donde poner los huevos. La precipitación afecta la densidad de la población adulta de hembras mosquito, ya que un aumento en la cantidad de lluvia resulta en un incremento en la cantidad de criaderos disponibles, provocando una mayor cantidad en el número de mosquitos (Fernández *et al.*, 2005).

Para los mosquitos *Aedes aegypti* las temperaturas elevadas y la humedad en el aire tiene gran efecto sobre su resistencia, así como la evaporación, el tiempo de exposición y la superficie corporal; en un ambiente seco, la exposición a 38 °C o más suele ser letal en unos cuantos minutos, de la misma forma mueren pronto al estar expuestos a rangos muy próximos o debajo del punto de fusión del agua

(Wigglesworth, 1972). Entonces, su longevidad depende de la temperatura, humedad y disponibilidad de alimento. En las regiones templadas, los factores que limitan la distribución y densidad de las poblaciones de mosquitos son, además de la temperatura, la frecuencia de las lluvias y la duración y severidad del invierno. (Thrion, 2003).

Las altas temperaturas aumentan el contacto y la tasa de mordedura del mosquito de varias maneras; en primer lugar, en temperaturas más cálidas de las larvas de los mosquitos *Aedes aegypti* son de menor tamaño, que resulta en adultos de menor tamaño que debe alimentar más a menudo para desarrollar sus huevos; además, los mosquitos adultos digieren la sangre más rápidamente a temperaturas más altas y, por lo tanto, necesitan alimentarse de mayor cantidad de sangre (Brunkard, 2007).

La transmisión del virus del dengue es sensitiva a los parámetros de la lluvia y de la temperatura por varias razones: los cambios en la temperatura afectan la transmisión de la enfermedad y su potencialidad epidémica por medio de la alteración de la tasa de reproducción del vector, su tasa de picadura y la incubación extrínseca del virus (Maciel de Freitas *et al.*, 2007). También la temperatura afecta el rango de la distribución geográfica del vector incrementando o decreciendo la interacción entre vector-virus- hospedero, afectando a su vez la susceptibilidad del hospedero. (Rowley y Graham, 1968).

Muchas de las fuerzas que han contribuido a la aparición de nuevas enfermedades y a la emergencia de las ya conocidas son producto de las actividades humanas (Gratz, 1999). Entre las consecuencias del cambio climático se ha puesto en especial énfasis en los posibles efectos en la salud humana (Haines *et al.*, 2000; Epstein, 2000).

1.4 El caso de México

El dengue se presenta en zonas costeras por su alta humedad y temperatura, pero en las décadas recientes la temperatura y la humedad específica muestran una tendencia al aumento en relación con el cambio climático, haciendo que haya una mayor presencia de brotes de la enfermedad incluso en zonas más continentales del país. (Riojas *et al.*, 2006). Las campañas de prevención se vuelven una necesidad ante el pronóstico de condiciones de lluvias intensas y calor.

El caso del dengue en México es de particular interés ya que el número de casos a nivel nacional ha aumentado en casi un orden de magnitud al pasar de menos de mil en el año 2000, a más de diez mil hacia el 2010 (Salud, 2012). Dicho incremento está en buena medida relacionado con cambios en el clima. El aumento de casi 1°C en la mayor parte del territorio durante los últimos cincuenta años, ha llevado a incrementos en la humedad específica en el aire que favorecen la propagación del mosquito *Aedes aegypti*. El dengue tiende a aparecer en zonas cercanas al nivel del mar, donde la temperatura y la humedad son altas, y en época de lluvias, pues con precipitaciones intensas, se acumula agua superficial en exceso y la humedad del suelo aumenta anómalamente, generando lugares propicios para que el mosquito del dengue deposite sus huevos. La alta humedad atmosférica reduce la evaporación incluso en sitios con alta temperatura y facilita el desarrollo del vector del dengue.

La variabilidad del clima influye en la distribución espacial de los casos de dengue. Durante veranos El Niño, el occidente-centro del país parece más afectado, mientras que en años La Niña, el centro-sur del país registra el mayor número de casos. De continuar las tendencias de calentamiento global, se espera que en México el número de casos pueda duplicarse o triplicarse en los próximos veinte o treinta años, si no se implementan acciones de adaptación. En el peor de los escenarios, el número de afectados podría aumentar hasta en un orden de

magnitud con respecto a lo actual si las condiciones de vulnerabilidad no se reducen significativamente.

Capítulo 2

Datos y metodología

2.1 Datos de dengue

Para identificar aquellos problemas que demandan una atención inmediata y anticipar los que empiezan a vislumbrarse como los retos de atención para el futuro, es necesario ubicar la importancia de una enfermedad en el contexto de prioridades en salud pública; para ello, se requiere de información y datos de calidad. Para documentar los casos de dengue es necesario contar con una base de datos histórica confiable. La información proporcionada por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) sobre casos de dengue en el periodo 1999-2009 se presenta a nivel municipal y con una resolución temporal de semanas.

Dado que las bases de datos de reportes de casos de enfermedades creada por COFEPRIS corresponde a valores por municipio, se realizó una interpolación espacial en puntos de malla comparables con la resolución espacial de datos climáticos. Esta base de datos permitió un manejo más práctico para la visualización y cálculo de estadísticas de la distribución de la enfermedad. Una primera aproximación es una resolución espacial de 10 km X 10 km, para cada pixel sobre el territorio mexicano. Esta resolución puede ser adecuada para utilizarse con los datos meteorológicos tomados del *North American Regional Reanalysis* de la NOAA (30 km x 30 km).

El compendio de datos proporcionados por COFEPRIS se obtuvo en formato de tablas a nivel municipal. Por medio de un sistema de información geográfica (SIG, ArcGis 9.2), las tablas municipales se convirtieron en mapas de puntos de malla

basados en los centroides de la división política municipal, con referencia en la cartografía que proporciona el INEGI de 2005. Un centroide representa el centro geométrico de un polígono irregular (figura 2.1).

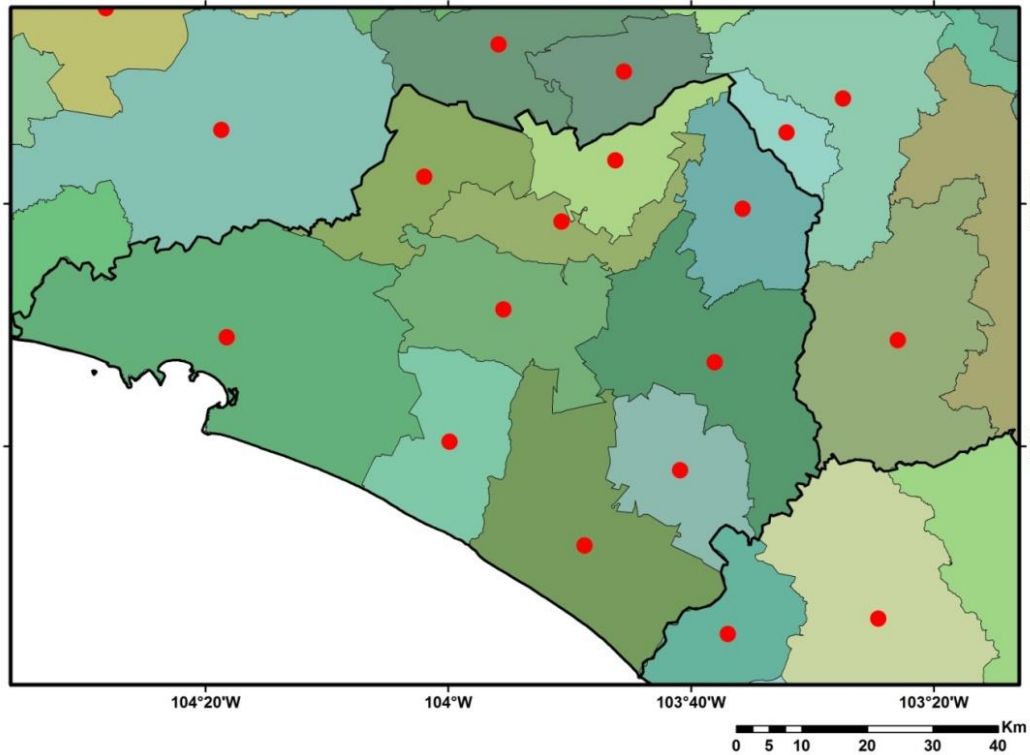


Figura 2.1. Ejemplo de los centroides (puntos) calculados para los municipios (polígonos) de la región de Colima.

La disponibilidad de datos se hizo en un arreglo regular de puntos por que facilita el manejo y el cálculo de estadísticas así como el despliegue de la información. Posteriormente los mapas municipales de centroides que almacenan los datos de dengue a nivel municipal (centroides basados en los polígonos municipales), son la base para la interpolación entre municipios y generar así mapas raster (mallas).

Las interpolaciones se generaron con el método de Kriging para, así, obtener mapas raster con una resolución espacial de 10 km x 10 km y una resolución

temporal de semanas (figura 2.2). El método de interpolación Kriging es un método geoestadístico, el cual está basado en modelos estadísticos que incluyen, por ejemplo, la autocorrelación (relación estadística entre los valores medidos). Debido a esto, no sólo esta técnica posee la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que, además, provee algunas herramientas para medir la certeza o precisión de estas predicciones.

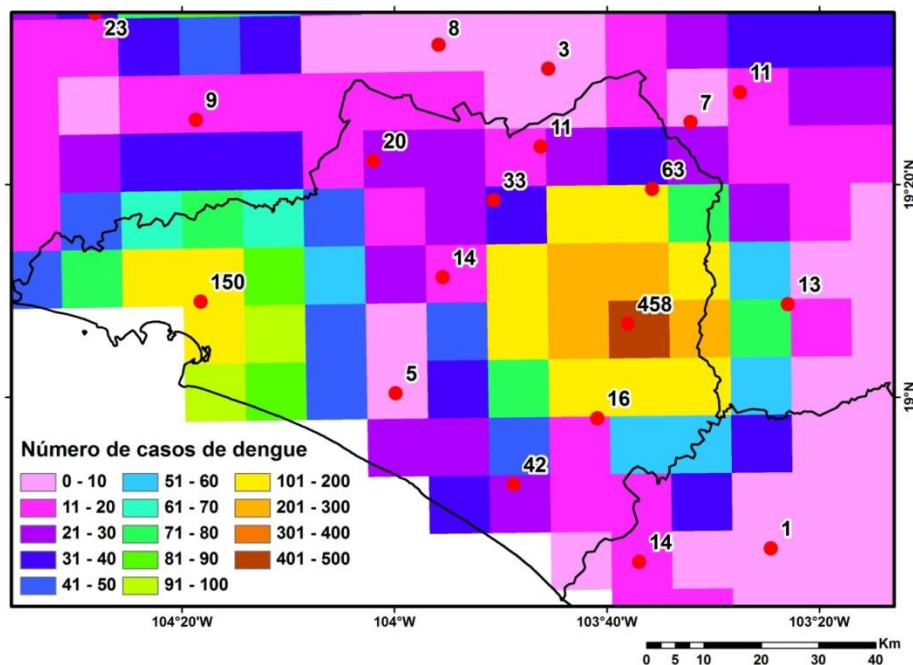


Figura 2.2. Comparación entre la distribución de los centroides municipales con valor (puntos) y el resultado de la interpolación con el método de Kriging (raster).

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z . A diferencia de otros métodos de interpolación, utilizar la herramienta Kriging en forma efectiva implicó la investigación del comportamiento espacial de los datos (de dengue), tratando de mantener una relación coherente con la configuración de los límites municipales. Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la

variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación.

Por último, los rasters interpolados fueron procesados para visualizar únicamente los valores de pixel que corresponden a la zona continental del territorio nacional con una herramienta de extracción de píxeles por área dentro de las herramientas que proporciona el ArcGis 9.2 (Extract by mask) la cual extrae las celdas de un raster que corresponde a las áreas definidas por una máscara (límite continental del territorio nacional).

Por cada año del periodo de estudio (1999-2009) se generó un mapa de dengue por semana, con los cuales se pudo identificar la relación espacio-temporal de los datos de dengue y cotejarlos de forma directa con los datos climáticos.

Las interrelaciones entre las condiciones climáticas y su efecto en la salud humana, especialmente en las que favorecen la presencia de dengue, son complejas, pero este tipo de relaciones que, generalmente para poder ser analizados, se encuentran en distintos formatos y escalas pueden ser integrados en un mismo sistema de procesamiento y despliegue de datos (SIG) de manera práctica; con esto es posible generar información clara para la identificación y presentación de las relaciones clima-dengue.

2.2 Datos climáticos

La información climática se obtuvo de los datos que distribuye la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA por siglas en inglés) por medio del Reanálisis Regional de América del Norte (NARR por sus siglas en inglés); esta base de datos concentra información meteorológica proporcionada por medio de datos de satélites meteorológicos, datos observados, radares, radio sondeos, entre otros; éstos se integran mediante asimilaciones con modelos físicos en mallas regulares, los datos se encuentran en tres resoluciones temporales: horas, días, meses. Las bases de datos NARR tienen una alta resolución espacial y temporal, además de contener datos de todos los elementos del sistema climático (Mesinger *et al.*, 2006).

Entre las variables que se pueden obtener están: temperatura del aire, presión de superficie, flujo de humedad, precipitación total acumulada, componentes de viento, etc. Los datos disponibles datan de 1979 hasta el presente, actualizados con un retraso de meses. Los archivos de salida son NetCDF (Network Common Data Form) y son compatibles con sistemas de información geográfica. Para este estudio fueron utilizadas las siguientes variables: temperatura, precipitación y humedad específica, con las cuales se generaron mapas de climatologías y mapas de anomalías para cada una de las variables. Posteriormente, estos mapas climáticos sirvieron de apoyo para generar las relaciones clima-dengue con los que se pudo conocer la espacialidad de la enfermedad en diferentes temporadas.

2.3 Tendencias y relaciones

Para generar las relaciones por medio de series de tiempo de la humedad específica y dengue se utilizó la base de datos del National Centers for

Environmental Prediction (NCEP por sus siglas en inglés) proporcionada por el NOAA. El reanálisis de NCEP/DOE AMIP es una versión mejorada del reanálisis NCEP/NCAR actualizada cada 6 horas con datos disponibles de 1979 al presente, que fija el proceso conocido errores en el reanálisis NCEP-NCAR (R-1) que, utiliza un modelo de pronóstico mejorado y asimilación del sistema de datos (Kanamitsu, *et al.*, 2002). Se utilizaron las variables humedad específica y temperatura de esta base datos por ser sencilla y fácil de comparar con los datos de dengue; de esta manera el análisis de las tendencias clima-dengue generaron información confiable que pudo compararse con los con los demás productos obtenidos.

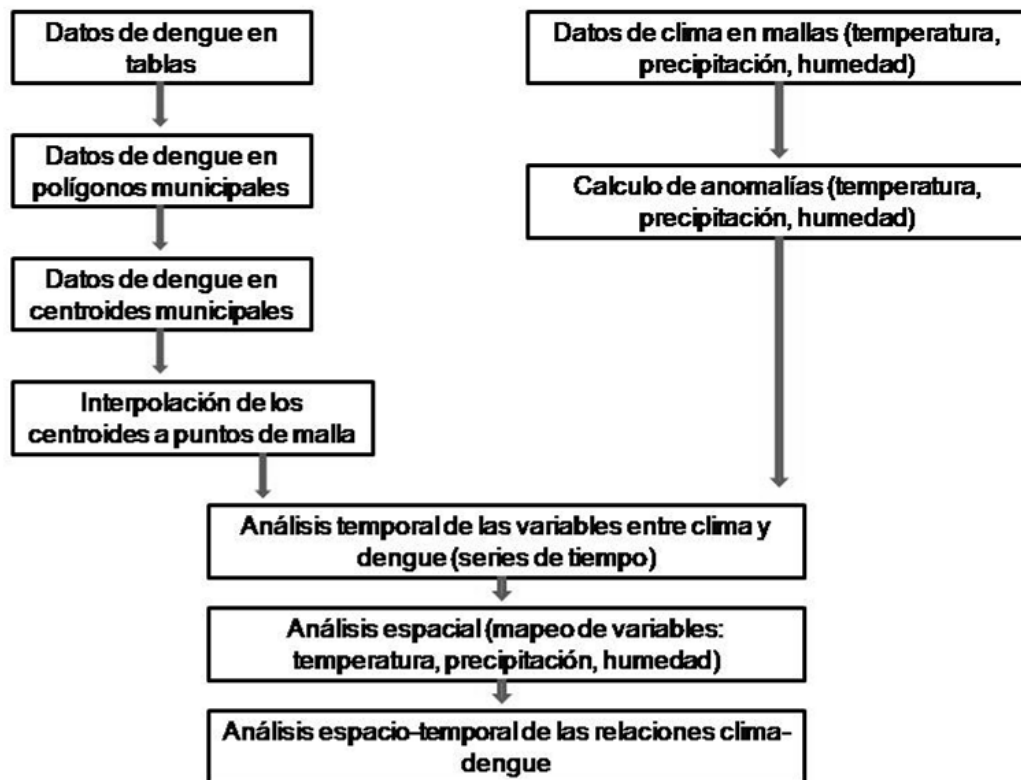


Figura 2.3. Diagrama de flujo de la metodología

2.3.1 Humedad y la Curva Clausius-Clapeyron

La capacidad de la atmósfera para recibir vapor de agua se relaciona con los conceptos de humedad absoluta, que corresponde a la cantidad de agua presente en el aire por unidad de masa de aire seco, y la humedad relativa, que es la razón entre la humedad absoluta y la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen, que se mide en porcentaje y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%. Cuando la humedad alcanza el valor del 100%, se dice que el aire está saturado, y el exceso de vapor se condensa para convertirse en niebla o nubes (Meruane y Garreaud, 2006).

Bajo las relaciones que identifican la ecuación de Clausius-Clapeyron (figura 2.4) se espera que una atmósfera más cálida tenga una mayor capacidad de contener vapor de agua sin pasar por estado líquido por lo que esta relación se presenta de forma exponencial, a lo que se le conoce como la curva de equilibrio líquido-vapor. Con base en las tendencias de cambio climático, las cuales indican un aumento de la temperatura del aire de forma constante durante las últimas décadas, es de esperarse que la cantidad de vapor de agua en la atmósfera sea mayor.

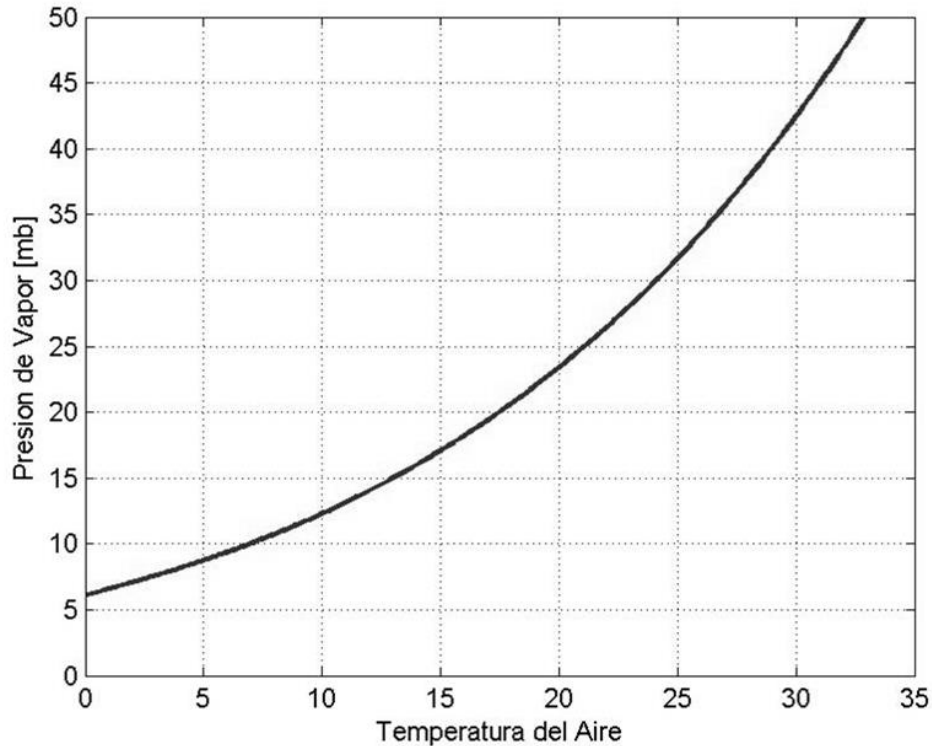


Figura 2.4. Curva de Clausius-Clapeyron. Fuente: Meruane y Garreaud, 2006.

El uso de la ecuación Clausius-Clapeyron en el presente estudio, ayudó a representar y comprender de manera clara la relación entre un ambiente más cálido y húmedo con la aparición del mosquito portador de dengue en diferentes regiones del país donde estas condiciones climáticas se presentan. Para ello se elaboraron gráficas con datos de temperatura y humedad específica con las cuales se pudieron conocer los valores umbrales que son propicios para *Aedes aegypti*.

En México pasa exactamente lo que indica la ecuación Clausius-Clapeyron, es decir, a mayor temperatura la atmosfera tendrá más capacidad de captar humedad (cuadro superior derecho de la figura 2.5), mientras que a menor temperatura la atmosfera tendrá menor capacidad para captar humedad (cuadrante inferior izquierdo de la figura 2.5).

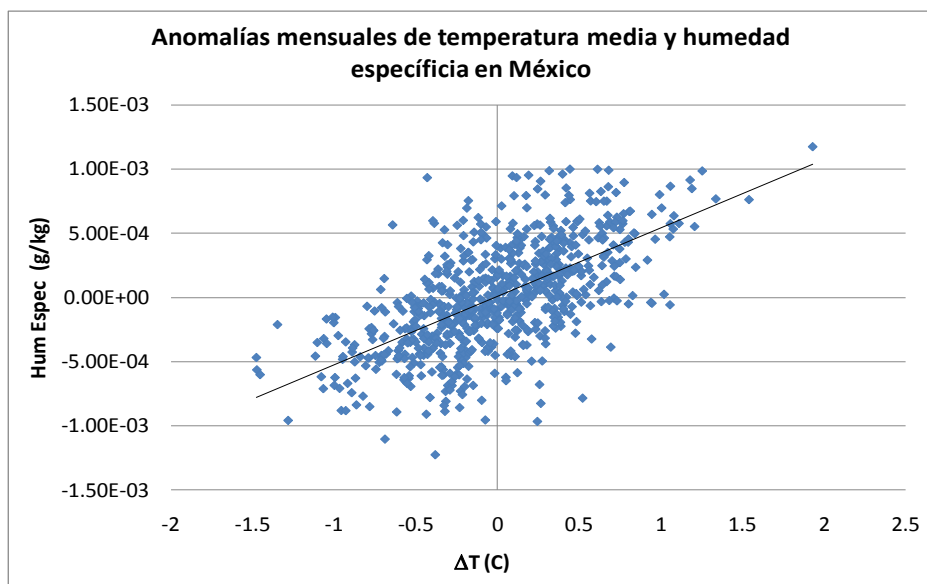


Figura 2.5. Anomalías mensuales de temperatura media y humedad específica en México. Elaboración propia a partir de datos de NOAA/NCEP 2010.

Capítulo 3

Resultados

3.1 Ciclo anual del clima en México

Por extenderse desde regiones tropicales hasta latitudes medias, y debido a lo complejo de su topografía, México tiene una gran variedad de climas, que van desde los cálidos con temperaturas medias anuales mayores a 32°C, hasta los fríos con temperaturas menores a 10°C. Sin embargo, las temperaturas medias de superficie varían en el 93% del territorio nacional entre 10°C y 26°C (INEGI, 1999). Este porcentaje comprende climas cálidos-subhúmedos en 23% del territorio nacional; secos en el 28%, muy secos en el 21% y templados-subhúmedos en el 21% (Magaña, 1999).

El clima de la República Mexicana presenta dos estaciones bien diferenciadas, una cálida y húmeda, denominada verano, de mayo a octubre y otra fría y seca, denominada invierno, de noviembre a abril (Vázquez, 2007). Aunque llueve en invierno, las lluvias más intensas ocurren en verano, y de forma general se puede decir que la temporada de lluvias en México comienza entre mayo y julio terminando entre septiembre y octubre. Por otra parte, el invierno se caracteriza por condiciones secas en la mayor parte del territorio, excepto en el noroeste y en la vertiente del Golfo de México. Por el hecho de presentarse lluvias durante el verano en la mayor parte del país y condiciones mayormente secas durante el invierno, se dice que México tiene un clima monzónico (Magaña, 1999).

Como parte del ciclo anual de las lluvias de verano, en la región centro-sur de México y hasta Centroamérica aparecen dos máximos en la precipitación de verano, uno en junio y otro en septiembre, existe un mínimo relativo entre julio y agosto conocido como sequía intraestival o canícula (Magaña, 1999). Durante julio y agosto, tal mínimo de precipitación corresponde a una menor cantidad de nubes

convectivas profundas, lo que permite la mayor incidencia de radiación solar y, por lo tanto, una mayor temperatura de superficie que se asocia con el calor de la canícula. Tal característica del ciclo anual parece ocurrir sólo en la región del Pacífico mexicano, donde se forma una alberca de agua caliente que favorece la formación de nubes profundas. Esta alberca de agua caliente juega un papel fundamental en la dinámica del clima de México (Magaña, 1999).

3.2 Ciclo anual del dengue

La combinación de altas temperaturas y las constantes precipitaciones durante la mitad cálida del año produce mayor cantidad de humedad en la atmosfera, como ya se ha mencionado con anterioridad, estas condiciones de temperaturas cálidas y alta humedad propician un ambiente adecuado para la reproducción del mosquito *Aedes aegypti*, su propagación y su influencia en la salud humana. Es la temporada de lluvia cuando ocurren los casos de dengue con mayor frecuencia (figura 3.3 y 3.6). Por un lado, la temperatura media es elevada ($> 24^{\circ}\text{C}$) (figura 3.1 y 3.4) y, por otro, la humedad específica ($> 0.012 \text{ kg/kg}$) se incrementa (figura 3.2 y 3.5). En el altiplano mexicano y en el norte del país, las temperaturas son elevadas en verano, pero la humedad es baja por lo que no se presentan casos de dengue.

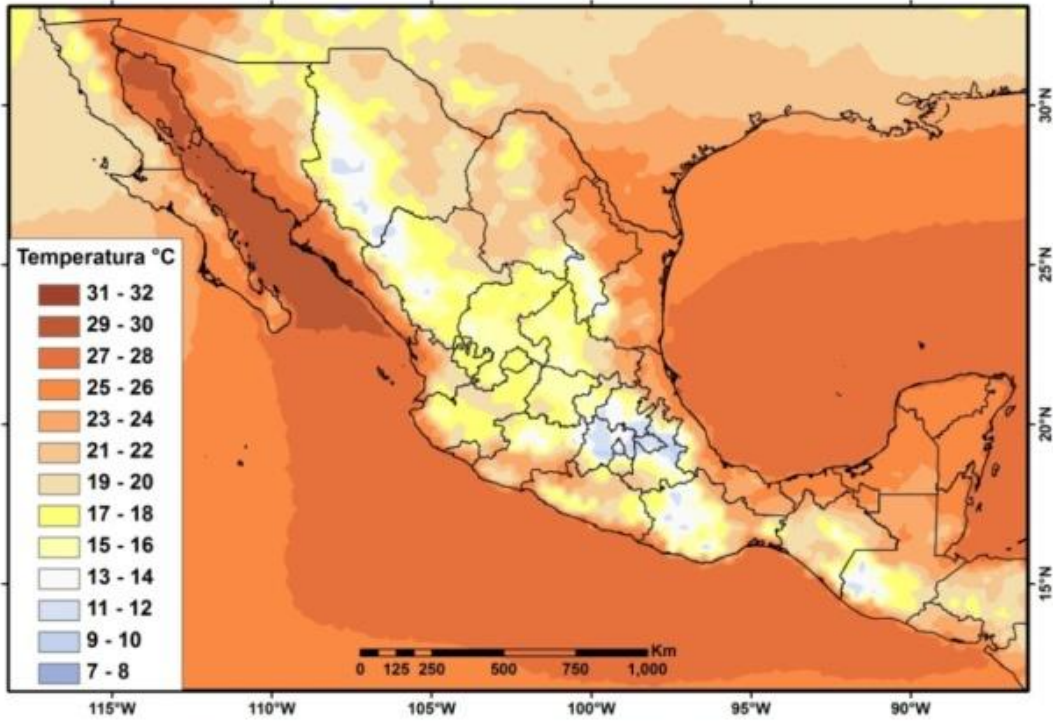


Figura 3.1. Climatología de temperatura del mes de septiembre. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

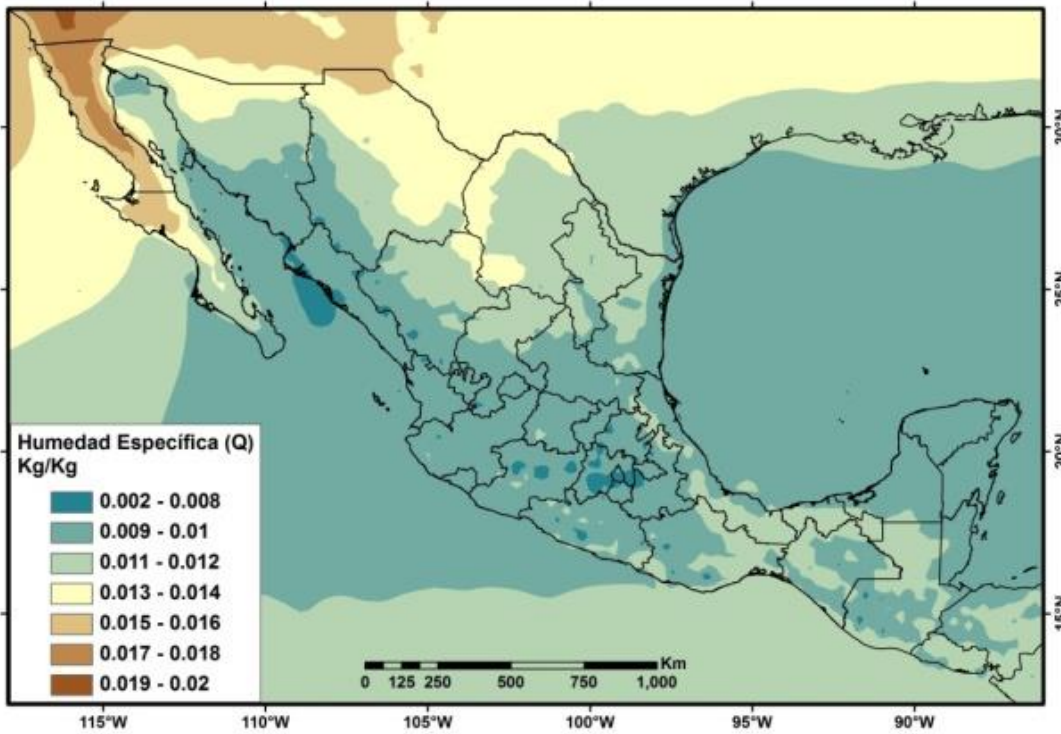


Figura.3.2. Climatología de la humedad específica del mes de septiembre. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

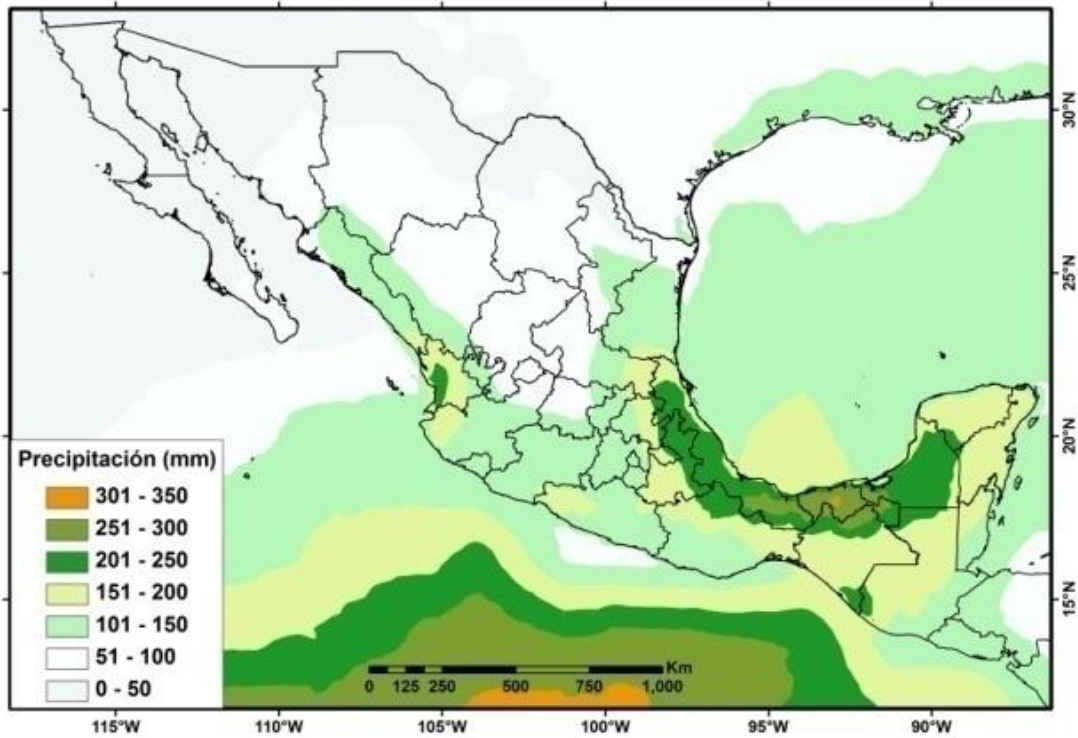


Figura 3.3 Climatología de precipitación del mes de septiembre. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

Basado en que las semanas de mayor presencia de dengue en México se presentan de la semana 35 a 40, que corresponden a los meses de septiembre y octubre, coincide con los meses más lluviosos. La presencia de mayor precipitación en este periodo concuerda con la época de verano donde se presentan las temperaturas más cálidas en el país.

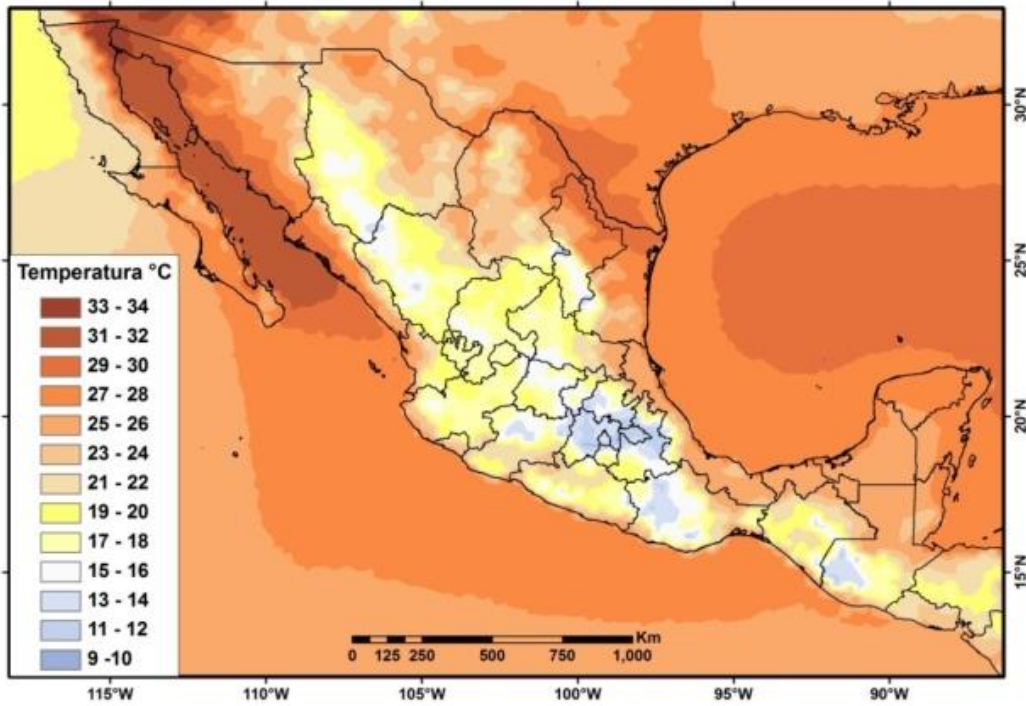


Figura 3.4. Climatología de temperatura del mes de octubre. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

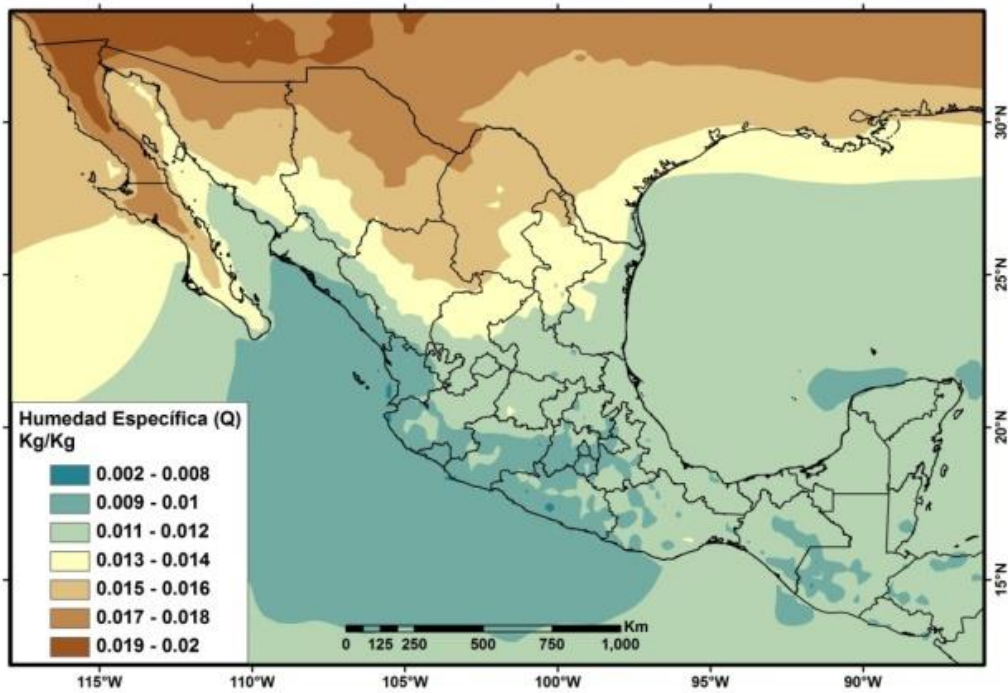


Figura 3.5. Climatología de la humedad específica del mes de octubre. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

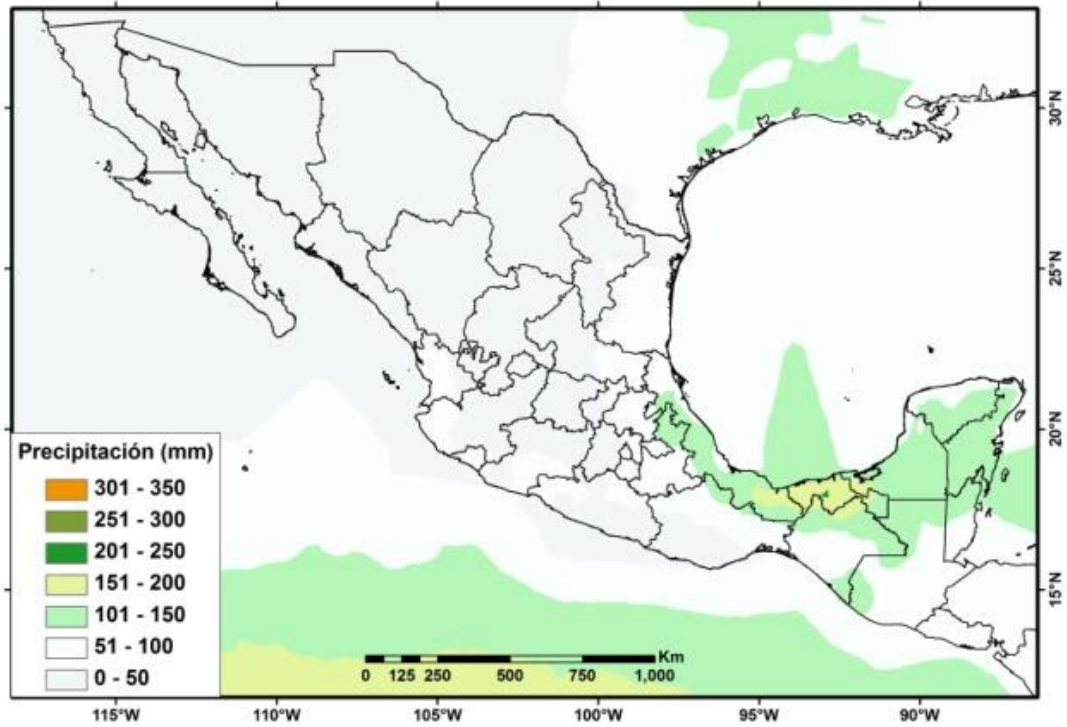


Figura 3.6. Climatología de precipitación del octubre. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

Durante el periodo de estudio, el caso extremo en el que se registró mayor número de brotes de dengue fue en el año 2009, siendo un evento extraordinario pues este año registró 18,000 casos siendo un record histórico (COFEPRIS, 2010). En el periodo de 2000-2009, analizado por semanas, se identifica que el ciclo anual del dengue inicia el aumento de brotes alrededor de la semana 26 (finales de junio) y disminuye cerca de la semana 50 (principios de diciembre) (figura 3.7)

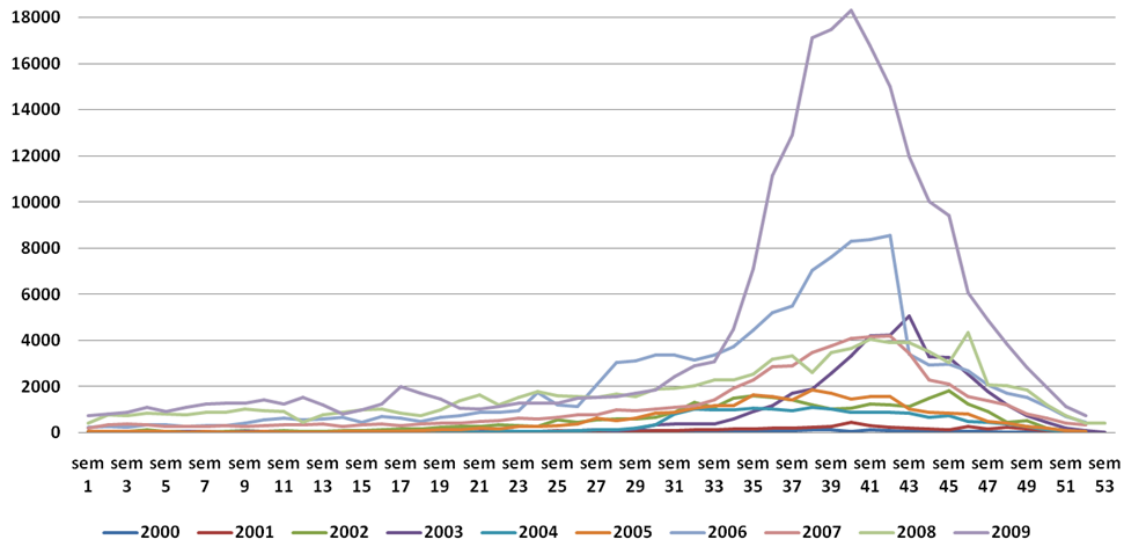


Figura 3.7. Número de casos semanales de dengue en México entre el 2000 y el 2009 Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2010.

3.3 Variabilidad climática y dengue

La serie de casos de dengue a nivel nacional presenta fluctuaciones interanuales que pueden analizarse en términos de la variabilidad climática. El proceso más importante de variabilidad interanual del clima que afecta a México es El Niño-Oscilación del sur (ENOS). La comparación entre el índice ENOS y el número de casos reportados de dengue, sugiere que los episodios El Niño tienden a favorecer un incremento en los casos y se manifiesta en una línea de tendencia positiva. Por otro lado, los eventos La Niña tienden a producir una ligera reducción en el número de casos.

Para entender el comportamiento de los brotes de dengue en la serie de tiempo y si estos estaban relacionados con el ENOS se comparó con el índice de este fenómeno de la región 3.4 (figura 3.8), para un periodo de 10 años de 2000 a 2010 (figura 3.9).

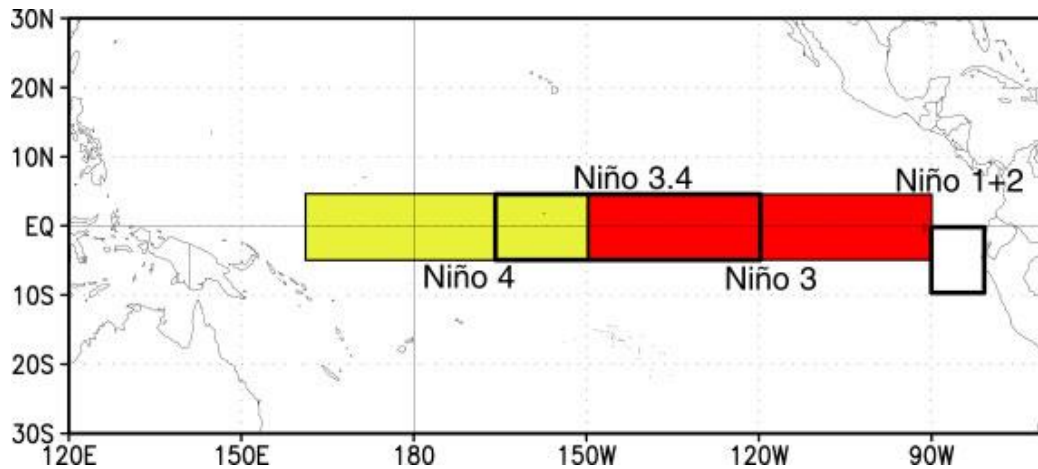


Figura 3.8. Regiones de El Niño. Fuente: NOAA, 2005.

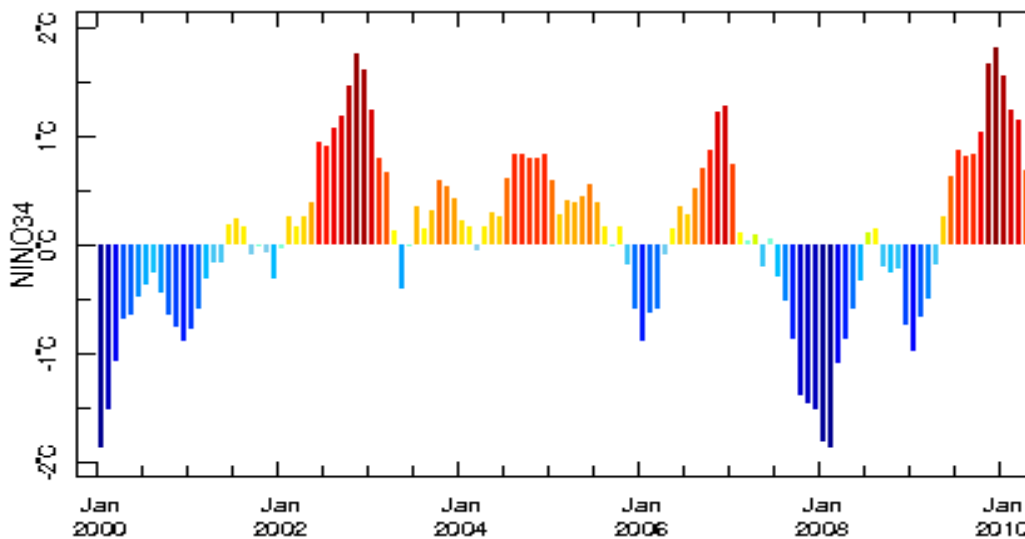


Figura 3.9. Serie de tiempo del fenómeno ENOS 2000-2010 Fuente: NOAA 2010.

La respuesta de las lluvias a los eventos La Niña parecen casi opuestas a las observadas durante El Niño; aunque los patrones de anomalías no son inversos, debe recordarse que además de El Niño, existen factores que influyen en las lluvias de verano en México como la temperatura de la superficie del mar tanto en el Pacífico mexicano (Magaña, 1999), como en el Caribe (Enfield y Mayer, 1997), la circulación media y la humedad en el suelo. Los veranos de El Niño son más secos y cálidos que los veranos de La Niña y se debe tomar en cuenta como factor esencial para las lluvias de verano la actividad de huracanes (Jáuregui, 1989). La disminución de las lluvias en México durante años El Niño,

principalmente en la región del noreste, está asociada con el decremento en el número de huracanes en el Caribe y Golfo de México (De María, 1994).

La tendencia a un mayor número de casos (figura 3.10) parece estar relacionada con el proceso de calentamiento del planeta, debido a que a una mayor temperatura en la atmosfera está asociada con una mayor contención de humedad; se ha mencionado que el vector del dengue se encuentra en condiciones más favorables proliferando en una atmosfera más húmeda, por lo cual se puede dar una relación directa entre la mayor presencia del dengue en los próximos años y debido al proceso de calentamiento global, seguir aumentando en el futuro.

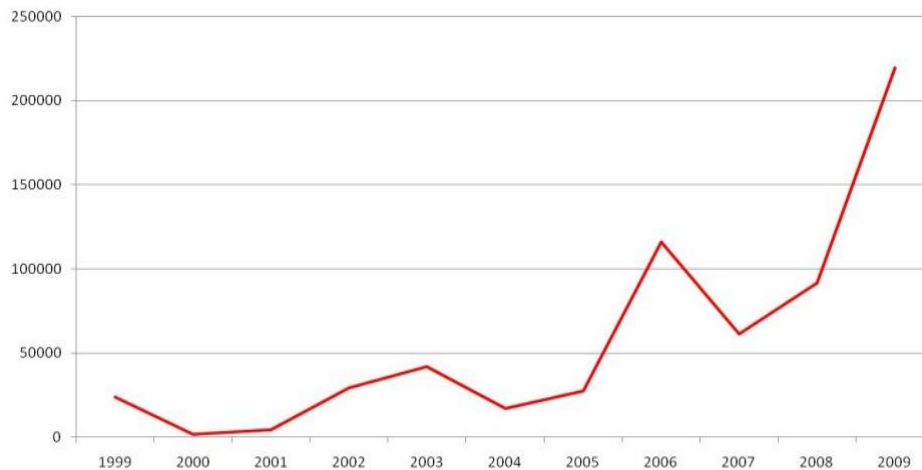


Figura. 3.10. Número total de casos de dengue clásico entre 1999 y 2009. Elaboración propia a partir de datos COFEPRIS 2010.

La mayor vulnerabilidad de las regiones afectadas por el dengue en relación con el ENOS puede que sea lo que haga cambiar el número de casos a nivel nacional. En todo caso, la variabilidad interanual parece determinar la cantidad y distribución de casos de dengue en el país.

3.4 Relación dengue-factores físicos (cercanía al mar, altitud, uso de suelo)

México está expuesto a una gran variedad de sistemas meteorológicos; la interacción de estos sistemas y las características fisiográficas de la república mexicana (configuración orográfica y uso de suelo) (Vázquez, 2007), determinan enormemente la aparición y distribución del mosquito transmisor del dengue.

Por la cercanía de los océanos a México se propicia una mayor entrada de humedad proveniente del Pacífico y el Atlántico, favoreciendo la presencia del dengue a las zonas de baja altitud (llanuras costeras), a diferencia del centro que al estar protegido al este por la Sierra Madre Oriental, al oeste por la Sierra Madre Occidental y al sur por el Sistema Volcánico Transversal. El norte de México por latitud no presenta la cantidad de casos de dengue como el sur; principalmente por la aridez del clima, la atmósfera tiene poca humedad, que no posibilita el desarrollo adecuado de *Aedes aegypti*.

La representación espacial de los casos de dengue muestra con claridad la relación que existe entre los casos que se presentan y la altura sobre el nivel del mar. Por ejemplo, el caso de la semana 42 del 2006 se tiene una especie de cota de altura por encima de la cual disminuyen drásticamente los casos. Esta cota está aproximadamente a los 1500 msnm en latitudes tropicales (Figura 3.11). La razón de la existencia de esta cota o barrera está en que la humedad atmosférica decrece con la altura, y por encima de este nivel las concentraciones de vapor de agua disminuyen, haciendo que la evaporación del agua en superficie sea rápida y las posibilidades de desarrollo de *Aedes aegypti* decrezcan.

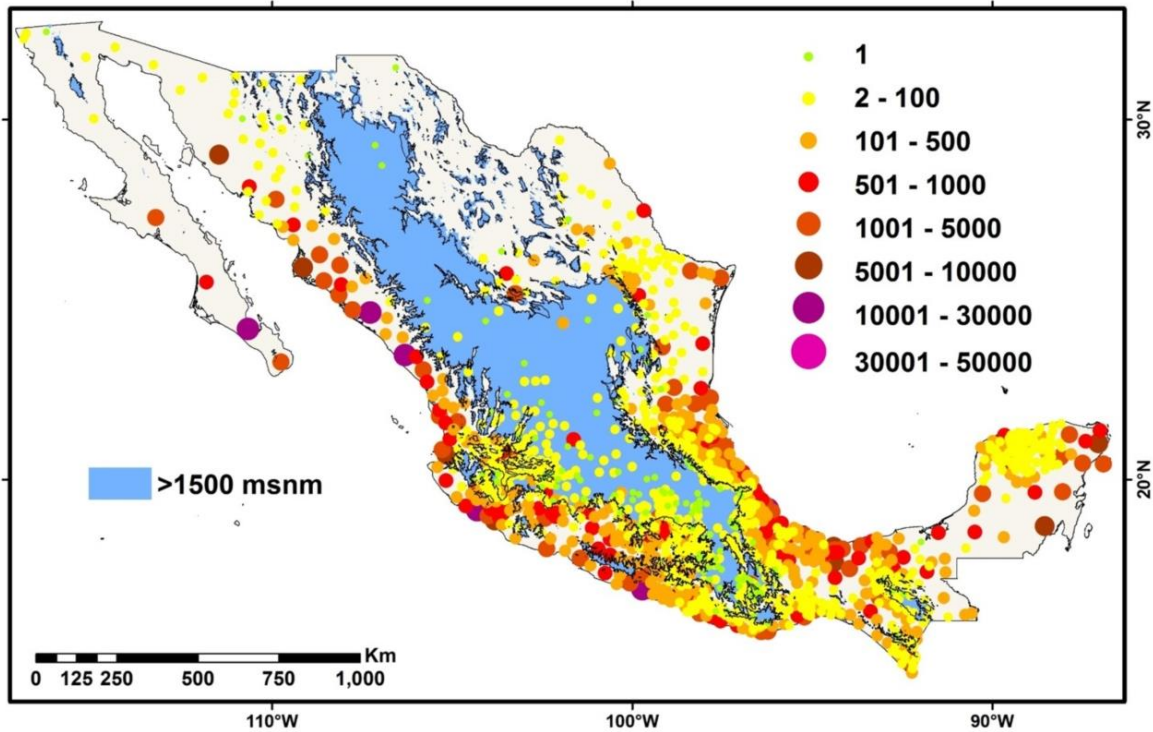


Figura 3.11. Distribución de casos de dengue clásico en relación con la orografía por encima de la cota de los 1500 msnm. Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS 2010

La distribución espacial de los casos muestra que incluso gran parte de la cuenca del Balsas es una región propicia para la aparición del dengue. Entre el 2008 y 2009 se presentaron brotes en el estado de Morelos (figura 3.12); sin embargo no se presentaron en el Distrito Federal que, por cercanía, pudiese ser afectado debido que se encuentra la sierra Chichinautzin, la cual funciona como una barrera orográfica e impide la entrada de mayor humedad a la cuenca de México; de esta forma se crea un límite que no puede rebasar el vector.

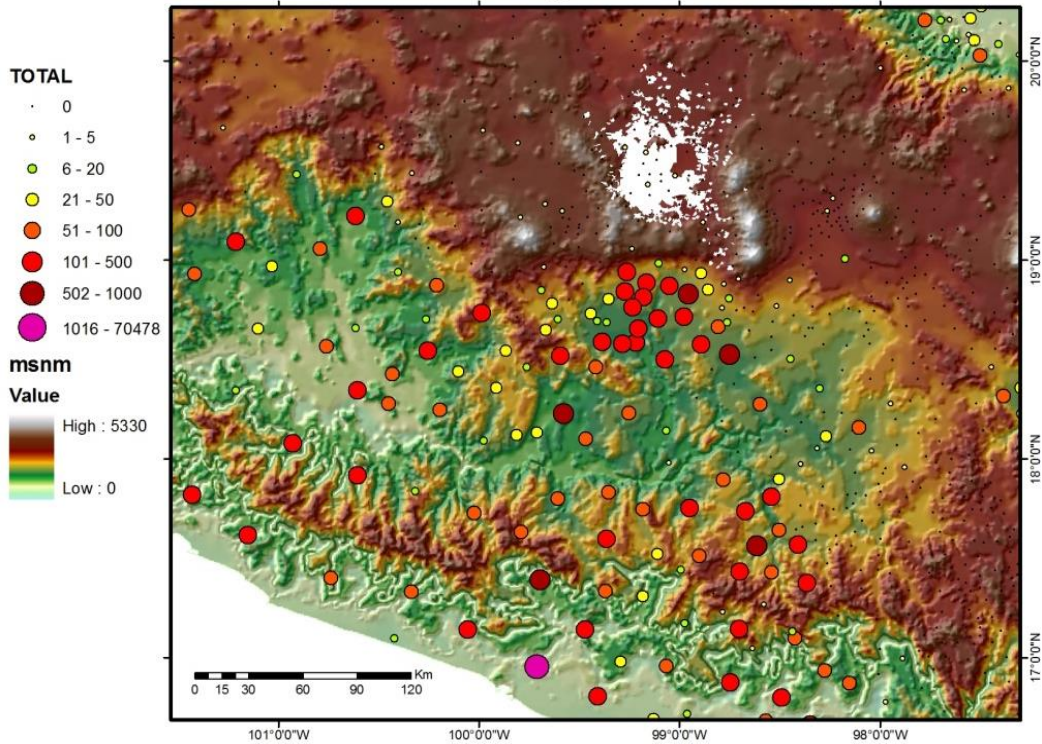


Figura. 3.12. Reportes de casos de dengue a nivel municipal en 2008. Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS 2010.

El mosquito *Aedes aegypti* prefiere las zonas urbanas y es en estas áreas donde se encuentran asentamientos humanos importantes en México (figura 3.13). Ciudades como Mérida, Acapulco, Guadalajara y Cuernavaca por mencionar algunas, cuentan con gran cantidad de población, lo que conlleva a que, cuando ocurren brotes de dengue, éste se propague en mayor medida. En la costa del Pacífico hubo importantes brotes de dengue durante el 2006. En la semana 42 de ese año (septiembre), el área de Acapulco alcanzó el valor más alto (más de 600 casos) en el número de casos registrados; hay que tomar en cuenta que este puerto es uno de los más importantes centros turísticos del país y es la zona más poblada del estado de Guerrero. Un factor fundamental para que el mosquito transmisor del dengue prolifere con facilidad, es decir un área urbana densamente poblada, que al estar en una zona costera con temperaturas promedio de 32°C, influenciada por la humedad, es un blanco fácil para que el virus del dengue se desarrolle.

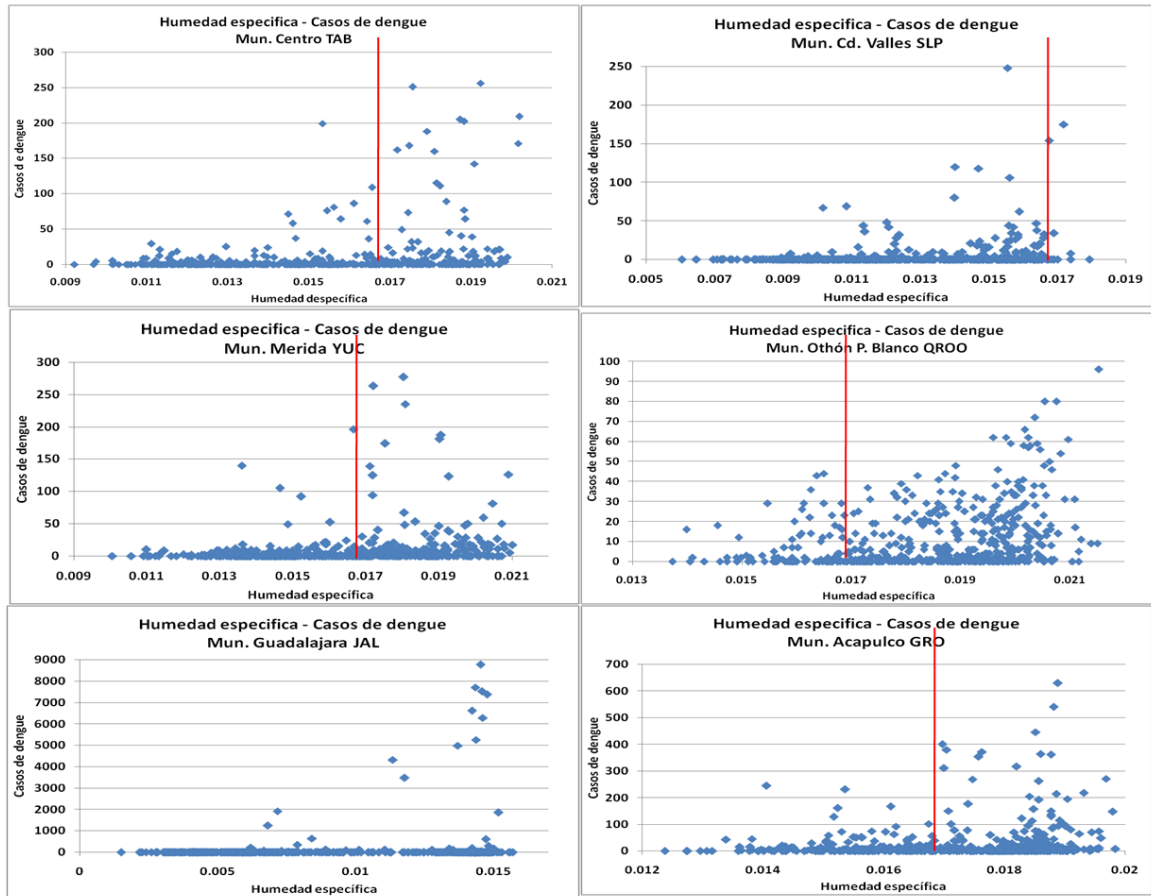


Figura. 3.13. Relación de la humedad específica y los casos de dengue para diferentes ciudades en México. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010

La incidencia de dengue relacionada con la humedad específica en diversas ciudades de México es un claro ejemplo de lo sensible que es el mosquito *Aedes aegypti* bajo las condiciones adecuadas para su supervivencia, el periodo de mayor ocurrencia son las semanas comprendidas entre la 27 y la 46 (julio a octubre), periodo en el cual comienzan las constantes precipitaciones y se genera una gran cantidad de humedad, dejando un ambiente adecuado para la reproducción del mosquito.

El caso de Acapulco es idóneo para comprender de qué manera y en qué condiciones prolifera el dengue en las zonas costeras del país; sin embargo, de acuerdo con los datos, se puede observar que en zonas que no están cerca del mar también hay brotes importantes de dengue, tal es el caso de Ciudad Valles y Guadalajara, debido a la humedad específica. Cuernavaca es un caso particular y de relevancia; el episodio de casos numerosos de dengue en esta ciudad se presenta en el año 2008, y aunque la humedad específica va en aumento, no fue en ese año significativamente diferente de los años anteriores o posteriores. La gran diferencia en las condiciones ambientales que determinó el aumento en el número de casos es el cambio significativo en la humedad del suelo que pasa de un promedio en verano de menos de 600 mm a más de 700 mm.

3.5 Tendencias clima-dengue en México

En latitudes bajas, la temperatura de superficie y la humedad específica altas, principalmente en las zonas bajas con respecto del nivel del mar, son condiciones necesarias para la ocurrencia de dengue. Tanto la temperatura como la humedad específica cerca de la superficie han venido aumentando en la zona costera tropical de México, principalmente en la última década. La temperatura aumenta aproximadamente a una tasa de alrededor de $0.5^{\circ}\text{C}/50$ años (aproximadamente del 0.04% anual), principalmente desde la década de los setenta (figura 3.14). La humedad específica crece a tasas del $0.001\text{kg}/\text{kg} / 50$ años (aproximadamente del 0.2% anual), es decir más rápido, reflejo de la relación de Clausius-Clapeyron entre temperatura y humedad.

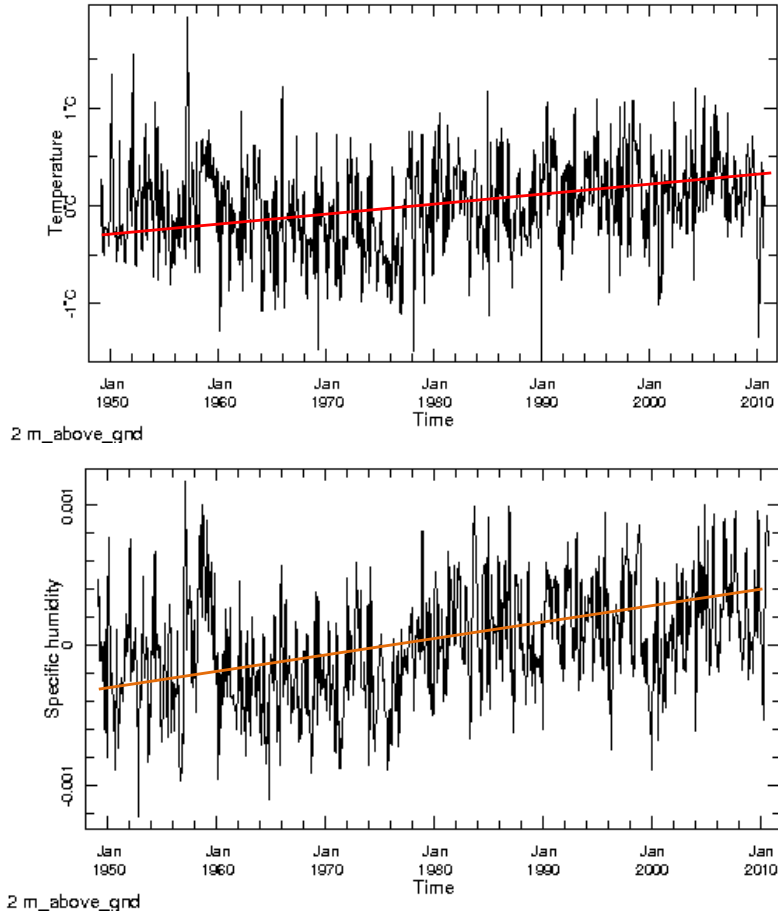


Figura. 3.14. Tendencia de los valores medios mensuales de la temperatura en superficie y de la humedad específica en la región tropical de México. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010

La tendencia de las lluvias en gran parte de México en las décadas recientes, desde mediados del s. XX, es a la alza, reflejo quizá de mayor humedad en la superficie. La tendencia a más precipitación está en gran medida asociada a un creciente número de eventos de precipitación intensa que dejan encharcamientos.

3.6 Estudios de caso

Los casos de dengue en México fueron incrementando a lo largo del periodo 1999-2009, teniendo brotes importantes en los años 2003, 2006 y 2009, siendo este último año el más alarmante pues los casos se dispararon significativamente, en

comparación con los años antes mencionados. Si bien hubo brotes importantes en este periodo, también se observa que en 2004, 2005 y 2007 la cantidad de casos se reduce de manera significativa. La pregunta obligada es: ¿En qué momento se dispara el número de casos?

Ya se ha mencionado que es en la temporada de lluvia cuando ocurren los casos de dengue con mayor frecuencia. Por un lado, la temperatura media es elevada y por otro, la humedad específica se incrementa. En el altiplano mexicano y en el norte del país, las temperaturas son elevadas en verano, pero la humedad es baja, por lo que no se presentan casos de dengue.

En diversas ciudades con reportes de dengue, los brotes aumentan cuando la humedad específica rebasa los 0.017 kg/kg. Los episodios de dengue ocurren cuando la condición de alta humedad específica se presenta de manera persistente por varios días e incluso semanas. Entre más prolongada sea la condición de humedad mayor la probabilidad de que el número de casos se incremente. El número de casos dependerá también de la densidad de población, pues en el caso de ciudades con un alto número de habitantes, los reportes de enfermos por dengue aumentan.

Otro factor de importancia son los eventos meteorológicos extremos, que afectan significativamente la distribución y la magnitud de las ocurrencias de dengue. Un ejemplo claro es la influencia del paso de los huracanes, que al acercarse al país traen consigo lluvias importantes, lo que aumenta además de la humedad, la acumulación de agua pues, como ya se ha mencionado, el estancamiento del líquido en diversos receptáculos son el lugar adecuado para la aparición de criaderos de mosquito *Aedes aegypti*.

Un caso en particular interesante ocurrió durante la temporada de huracanes del 2003 en el Pacífico: cuatro sistemas tocaron tierra durante los meses de agosto a octubre: Ignacio, Marty, Nora y Olaf (figura. 3.15), mientras que los demás registraron trayectorias cercanas a las costas del Pacífico mexicano. Las

consecuencias de la intervención de estos eventos se pueden observar claramente en el área de Baja California y Sinaloa (figura 3.17), la ocurrencia de dengue se disparó hasta llegar a los 1000 casos, como consecuencia de la gran cantidad de lluvia y humedad que el paso de los fenómenos meteorológicos antes mencionados dejaron a su paso: de igual manera hay que destacar que, al presentarse eventos extremos, aumentan los encharcamientos, lugares idóneos para la proliferación de *Aedes aegypti*. Es importante mencionar que 2003 fue un año con verano El Niño.

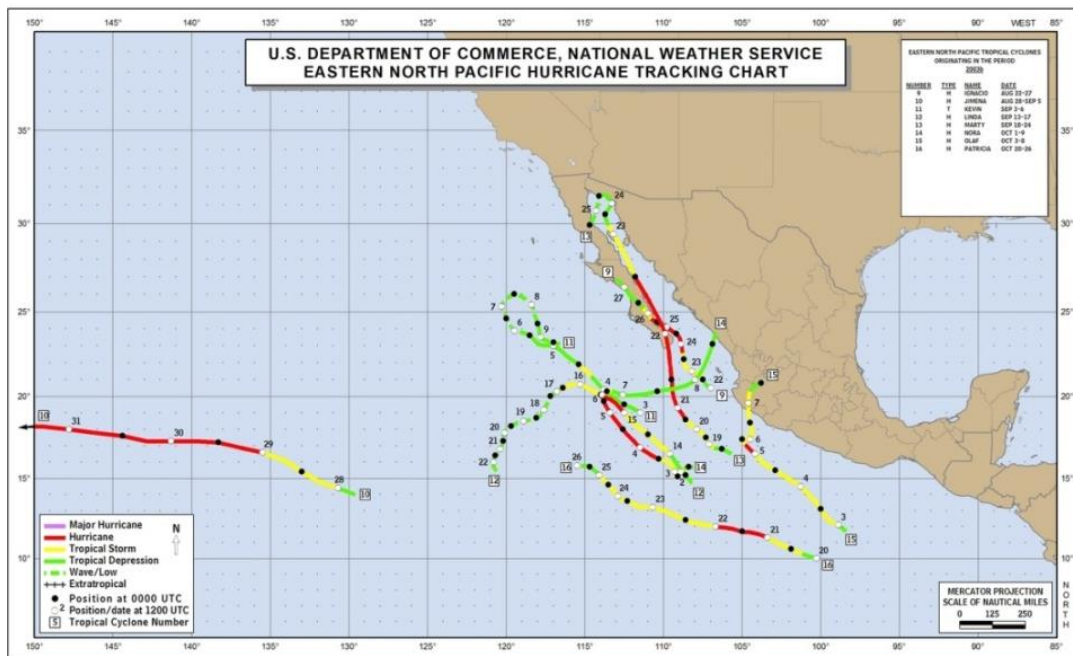


Figura 3.15 Trayectorias de los sistemas que afectaron el Pacífico mexicano en 2003 Fuente: National Hurricane Center 2010.

La entrada al territorio mexicano de los ciclones Nora y Olaf dejaron gran cantidad de humedad, misma que creó las condiciones idóneas para la proliferación del mosquito *Aedes aegypti*.

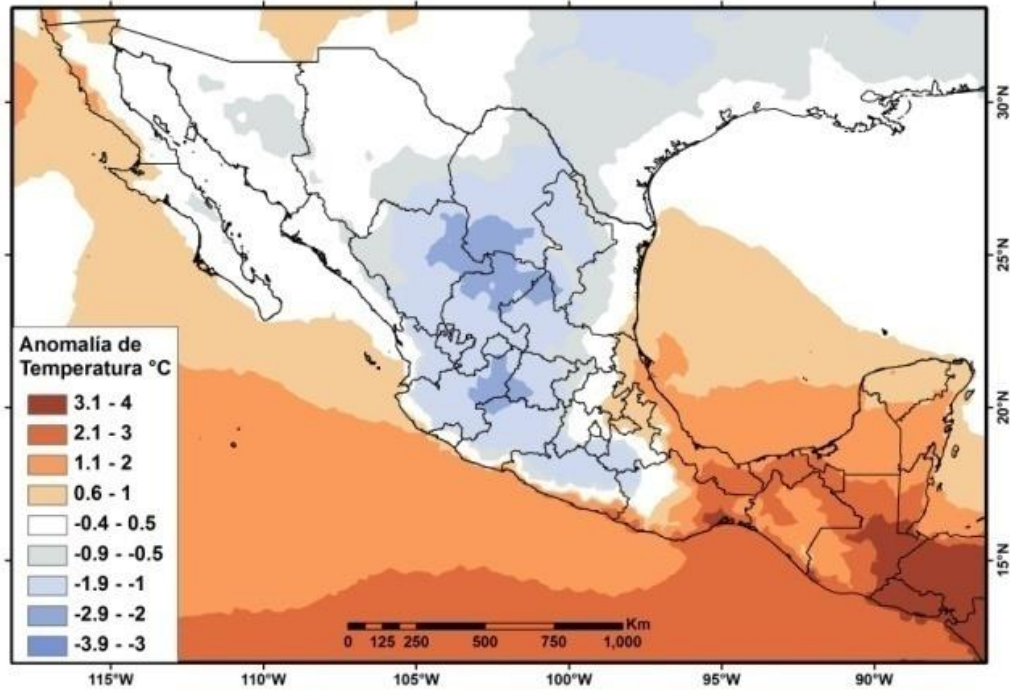


Figura 3.16. Temperatura septiembre 2003. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

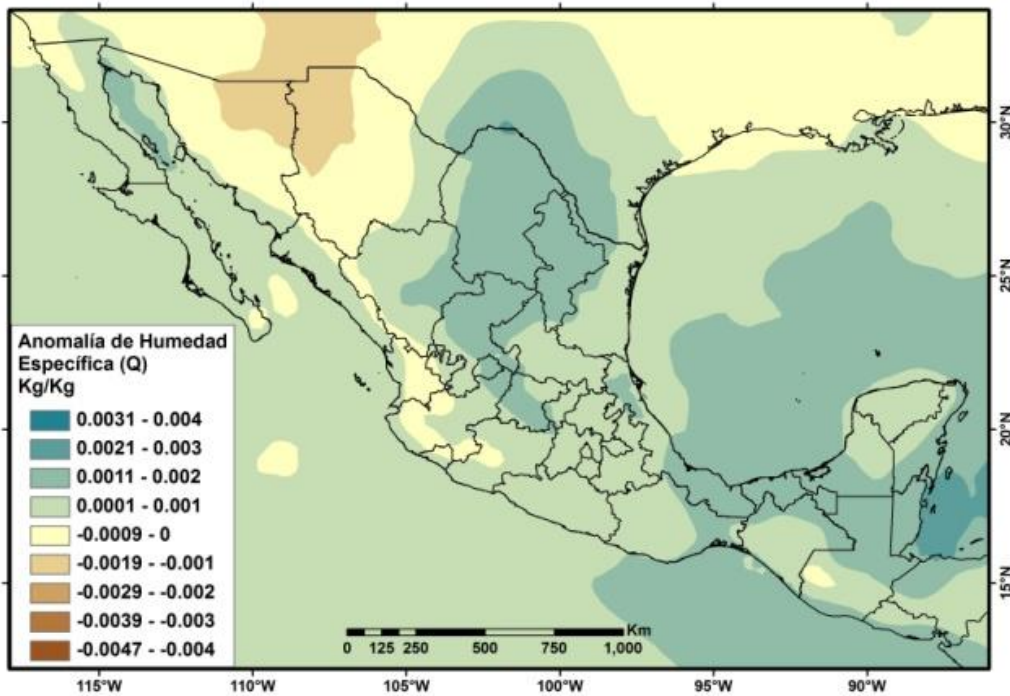


Figura 3.17. Humedad específica septiembre 2003. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

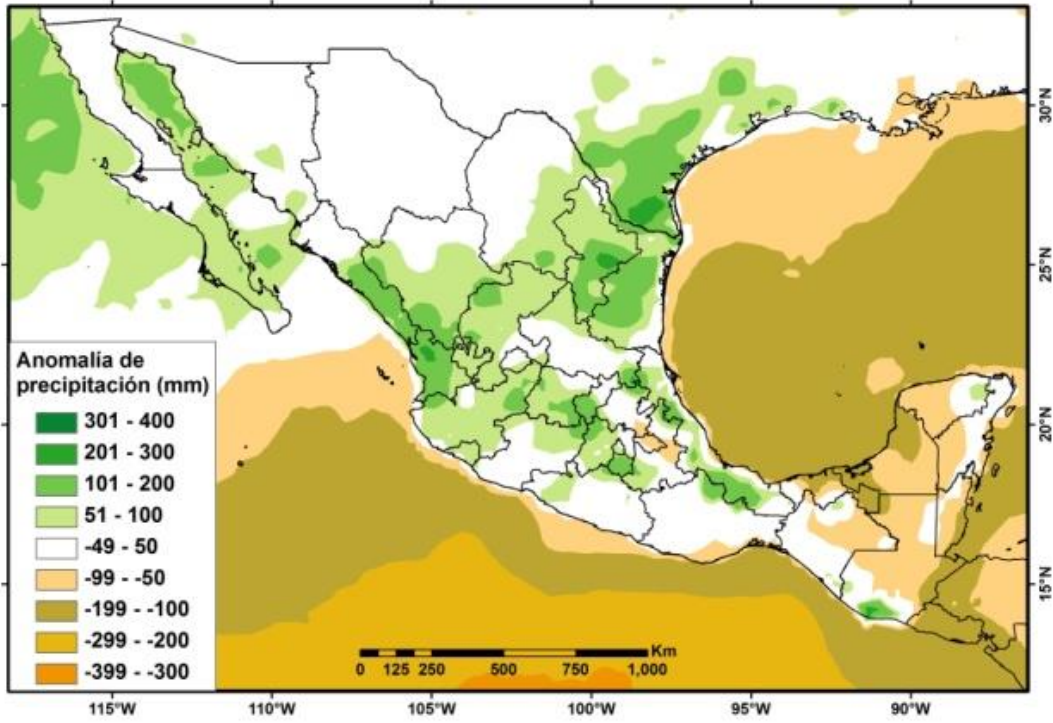


Figura 3.18. Precipitación septiembre 2003. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

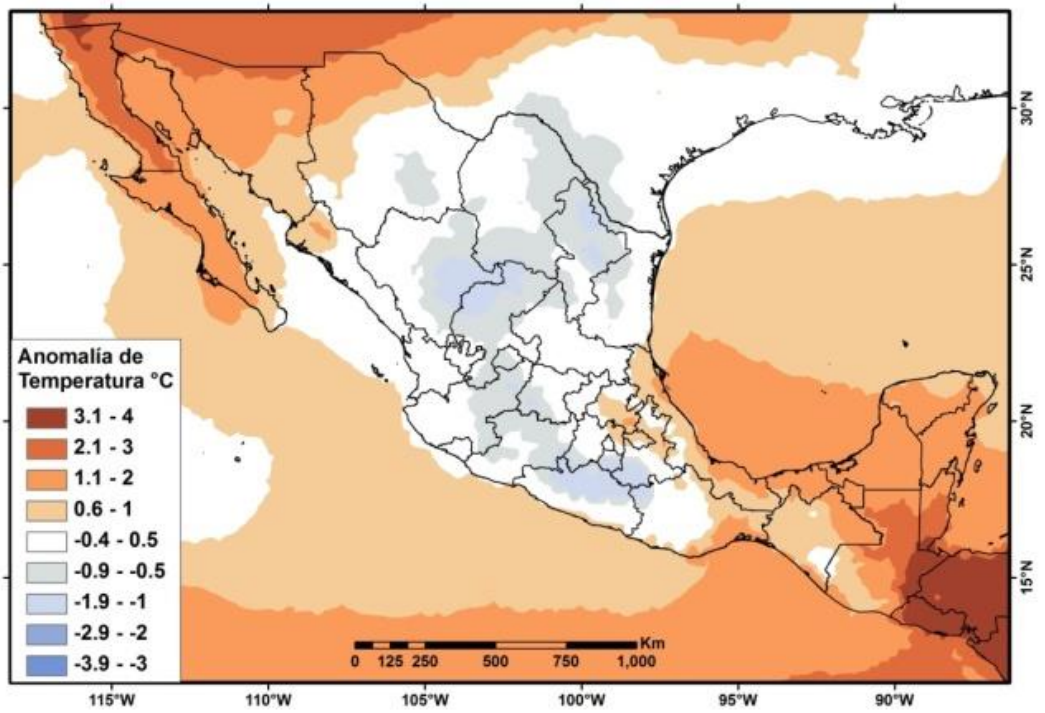


Figura 3.19. Temperatura octubre 2003. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

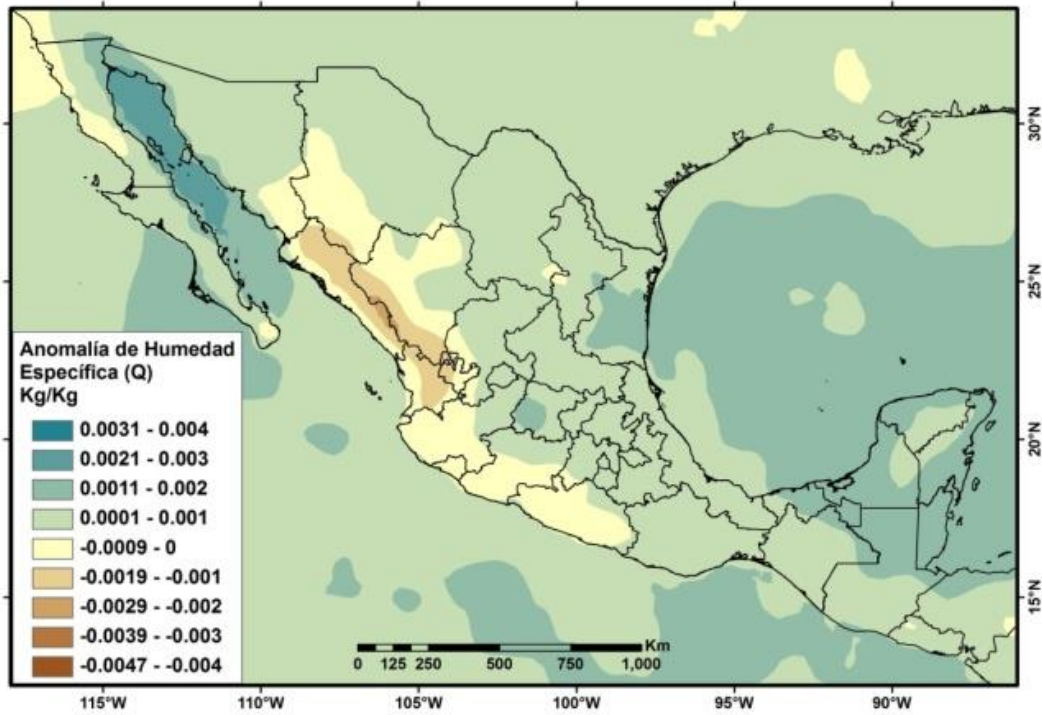


Figura 3.20. Humedad octubre 2003. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

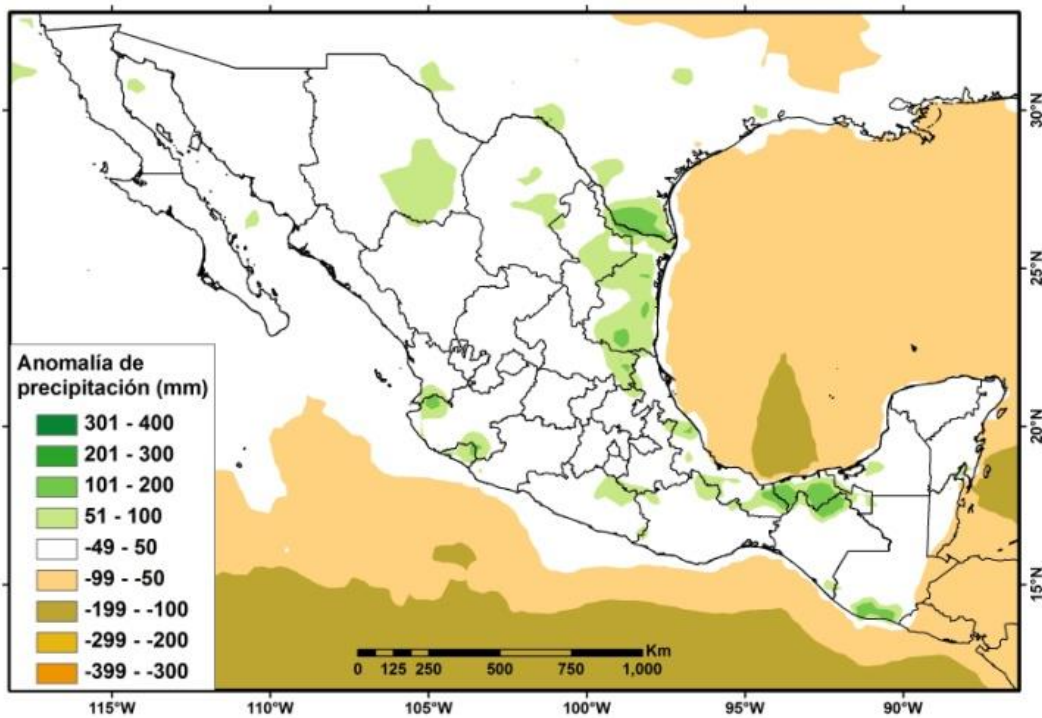


Figura 3.21. Precipitación octubre 2003. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

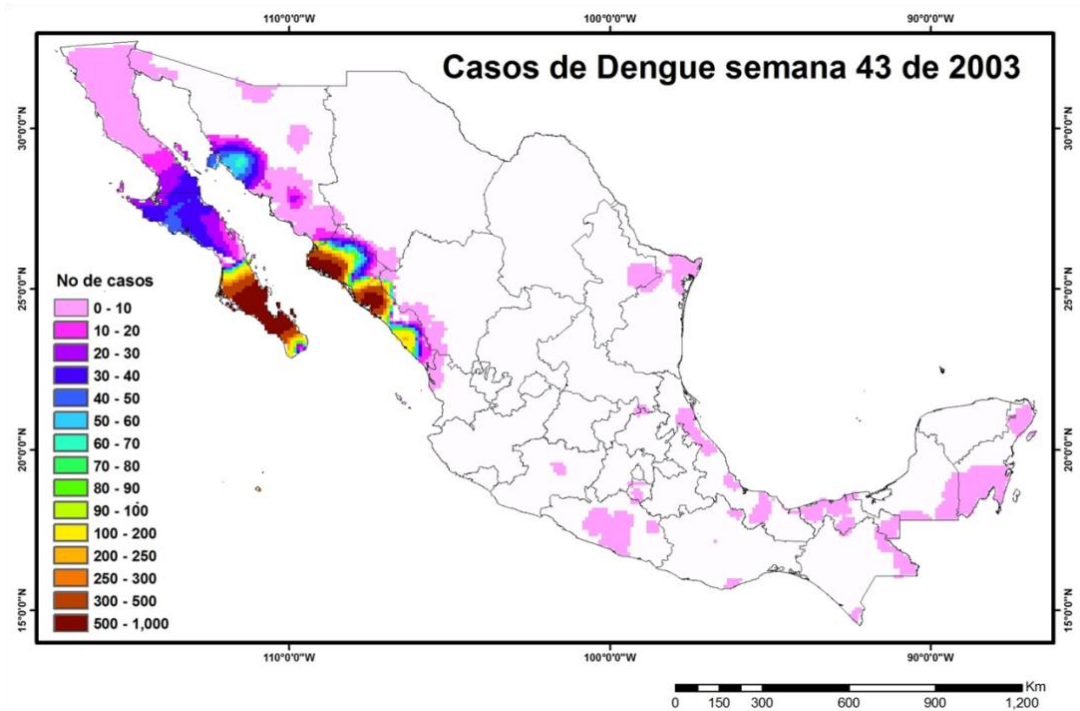


Figura 3.22. Casos de dengue durante la semana 43 de 2003. Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS 2010.

En el año 2006 hubo brotes de dengue significativos en los estados que tienen cercanía al Pacífico ya que fue un año en el cual al menos cuatro sistemas tocaron tierra, John, Lane, Norman y Paul (figura 3.23), dejando gran cantidad de humedad. El estado de Guerrero fue de las zonas más afectadas por el dengue ese año, llegando a registrar hasta 1000 casos de dengue en la semana 42, que corresponde al mes de octubre (figura 3.28).

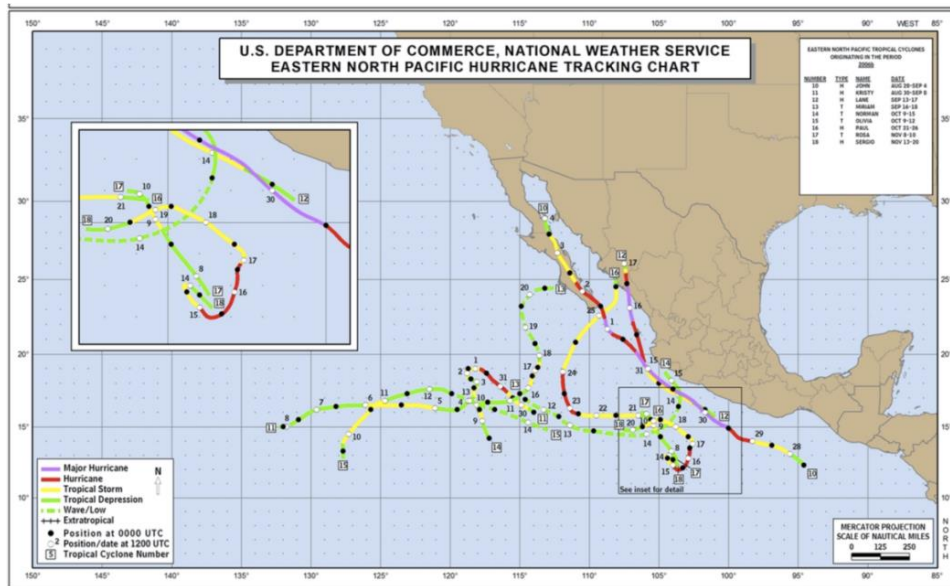


Figura 3.23. Trayectorias de los sistemas que afectaron el Pacífico mexicano en 2006 Fuente: National Hurricane Center 2010.

Por otro lado la región de la costa del Atlántico, resultó menos afectada; fue la península de Yucatán la zona que más casos reportados de dengue tuvo, concentrándose en el área de Cancún y la Riviera Maya hasta Chetumal, con 200 casos de dengue para la semana 42. Las anomalías de temperatura, precipitación y humedad específica (figuras 3.27, 3.28 y 3.29) concuerdan con el patrón de la distribución del número de casos (figura 3.30).

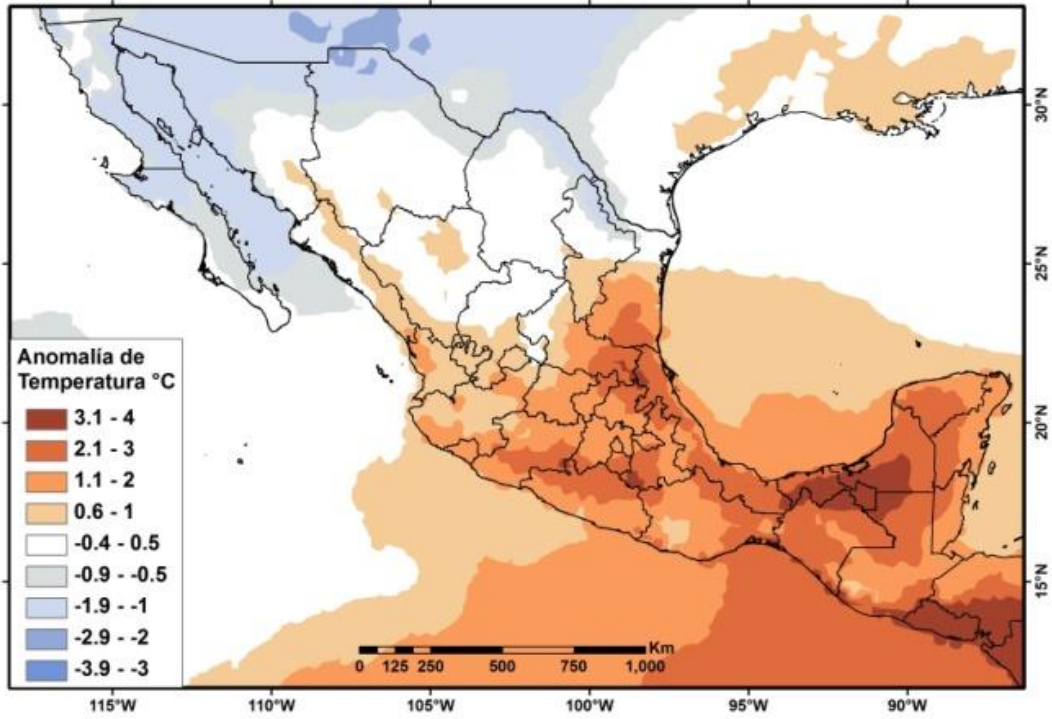


Figura 3.24. Temperatura septiembre 2006. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

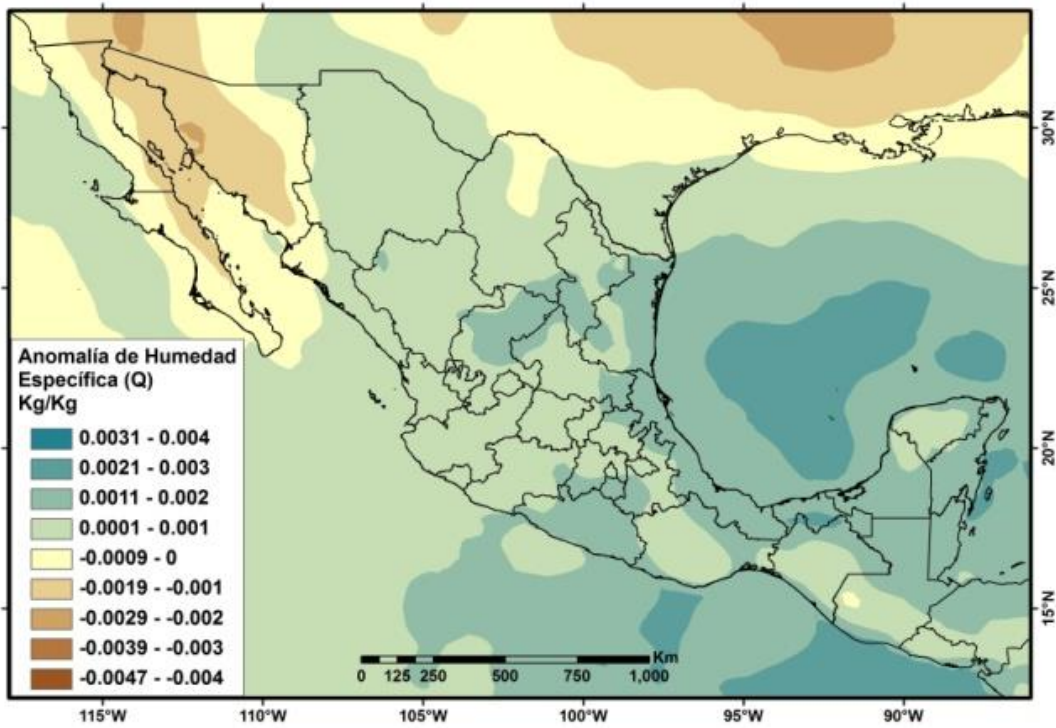


Figura 3.25. Humedad septiembre 2006. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

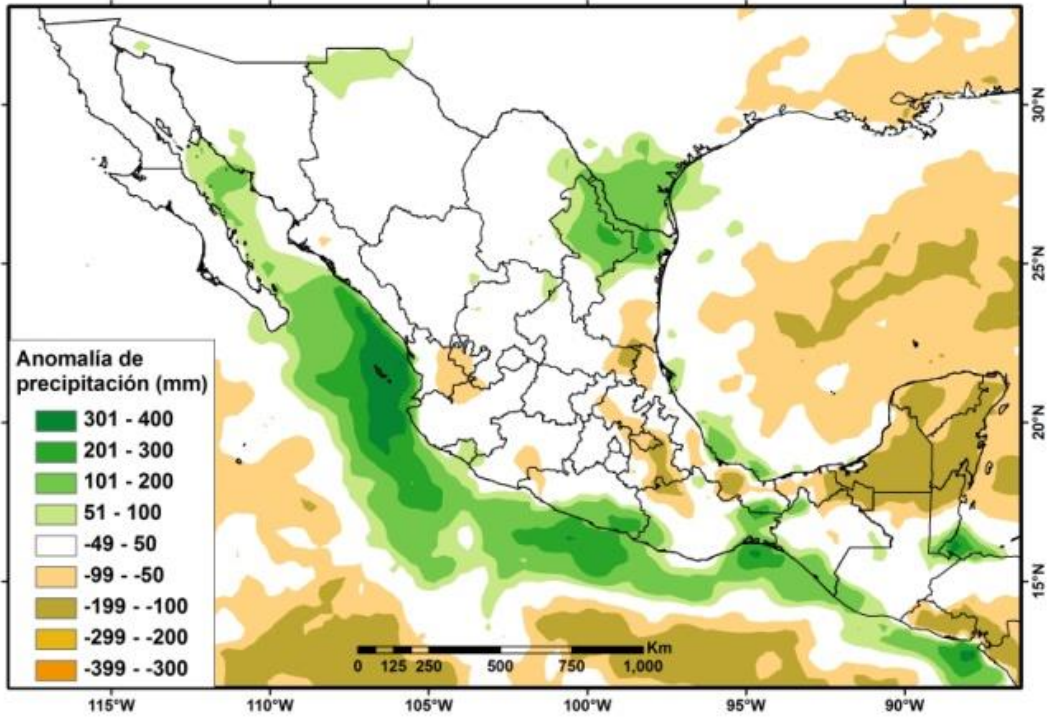


Figura 3.26. Precipitación septiembre 2006. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

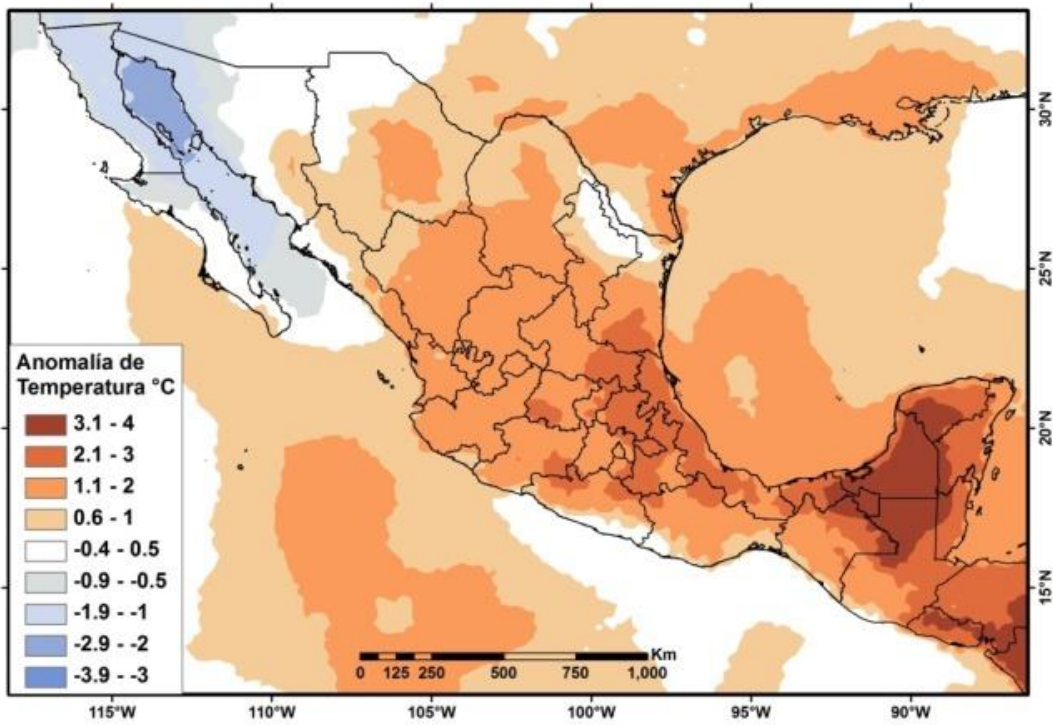


Figura 3.27. Temperatura octubre 2006. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

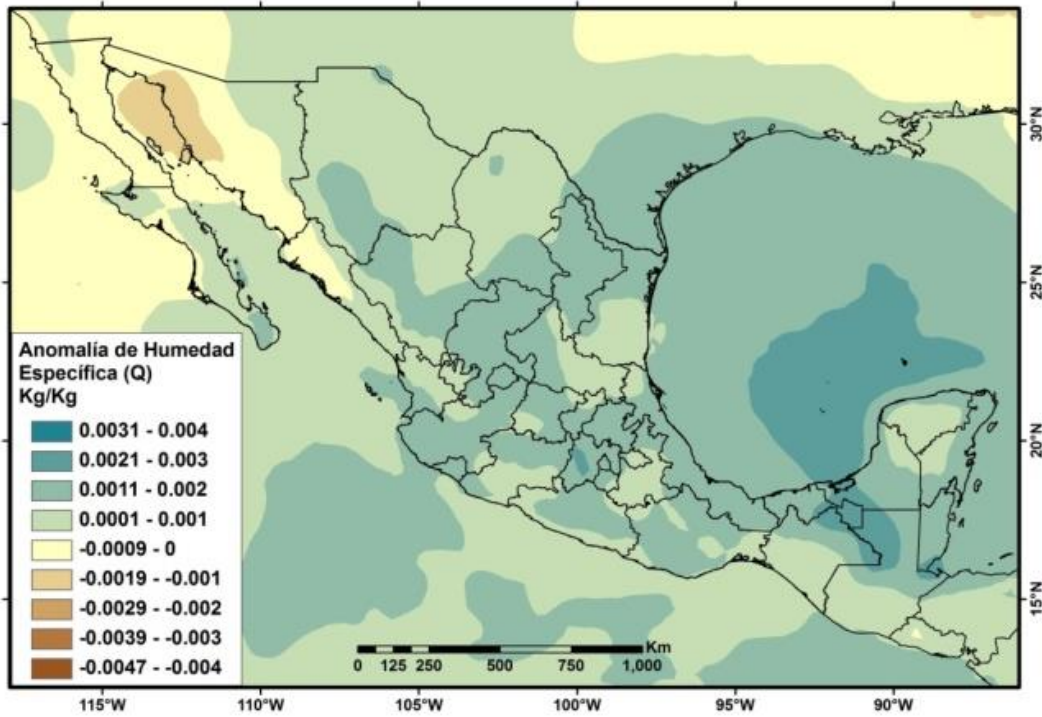


Figura 3.28. Humedad especifica octubre 2006. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

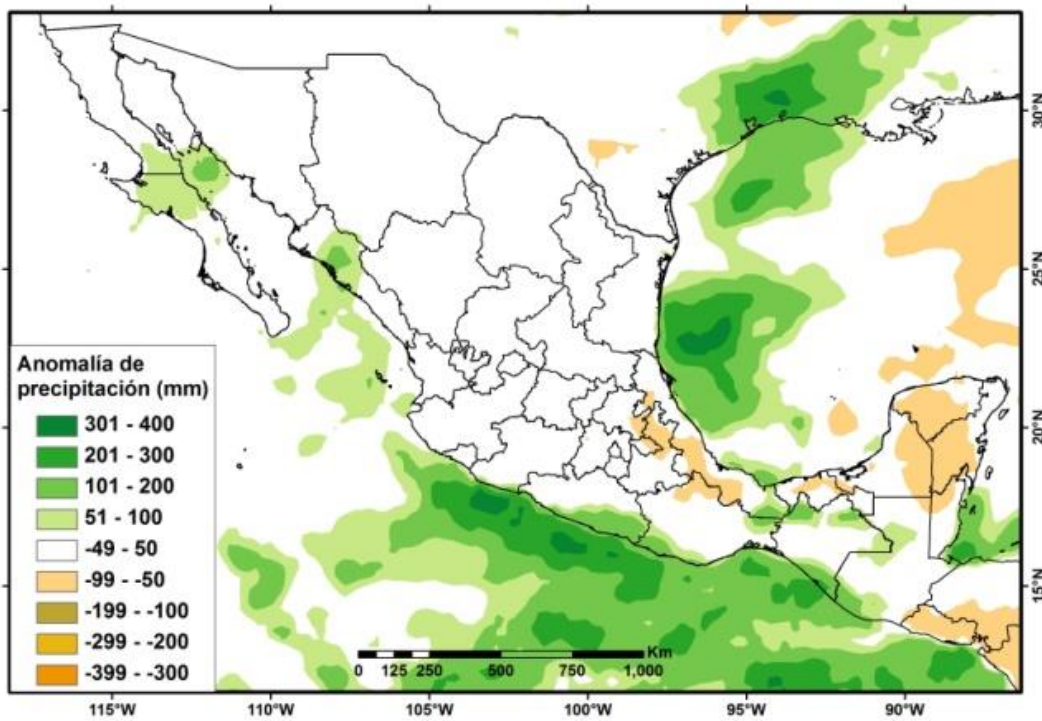


Figura 3.29. Precipitación octubre 2006. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

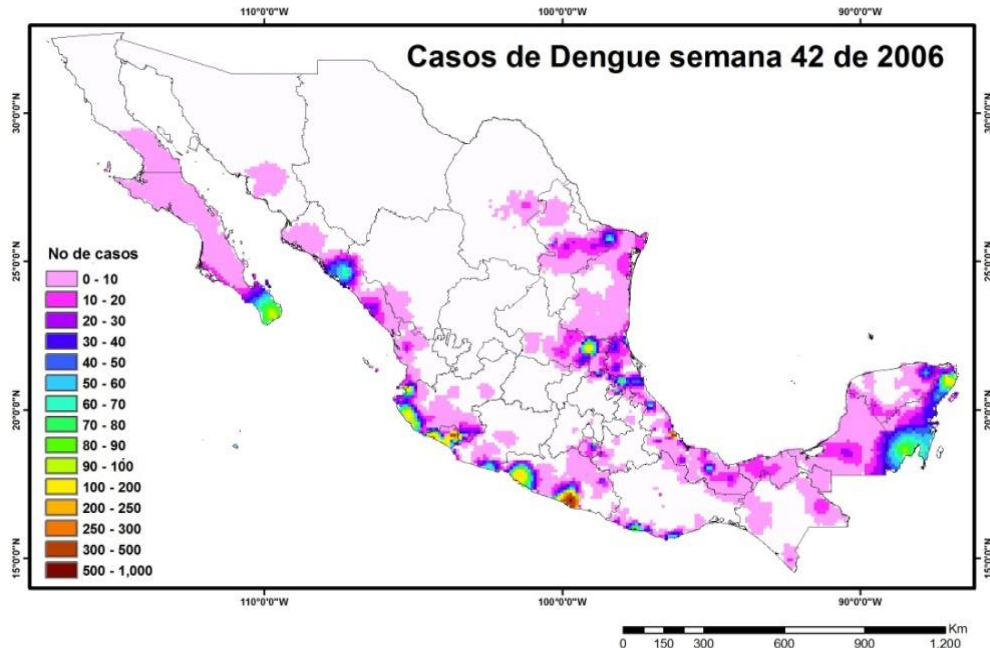


Figura 3.30. Casos de dengue durante la semana 42 de 2006. Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS 2010.

En el año 2009, el número de casos de dengue se incrementó significativamente por haber afectado la Zona Metropolitana de Guadalajara. En este año, se presentaron brotes que se extendieron por todo el occidente, desde el sur de Sonora hasta el estado de Guerrero. Como en el ejemplo anterior, las condiciones ambientales y la limitada experiencia en manejo de casos de dengue en la zona pudieron haber contribuido a un control tardío de la enfermedad. Las condiciones del clima (figuras 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36) favorecieron la ocurrencia de más de 2000 reportes de dengue en la zona metropolitana de Guadalajara. Es claro que tanto la humedad específica como la humedad del suelo se incrementaron sensiblemente en el verano de 2009 en la región, cumpliendo con los criterios de valor crítico encontrados en otras zonas (figura 3.37). Sin embargo, en el ejemplo de Guadalajara la condición de humedad específica por encima del umbral crítico se presentó desde la semana 22 (finales de abril) hasta casi la semana 40 (finales de septiembre principios de octubre) en la región occidente del país.

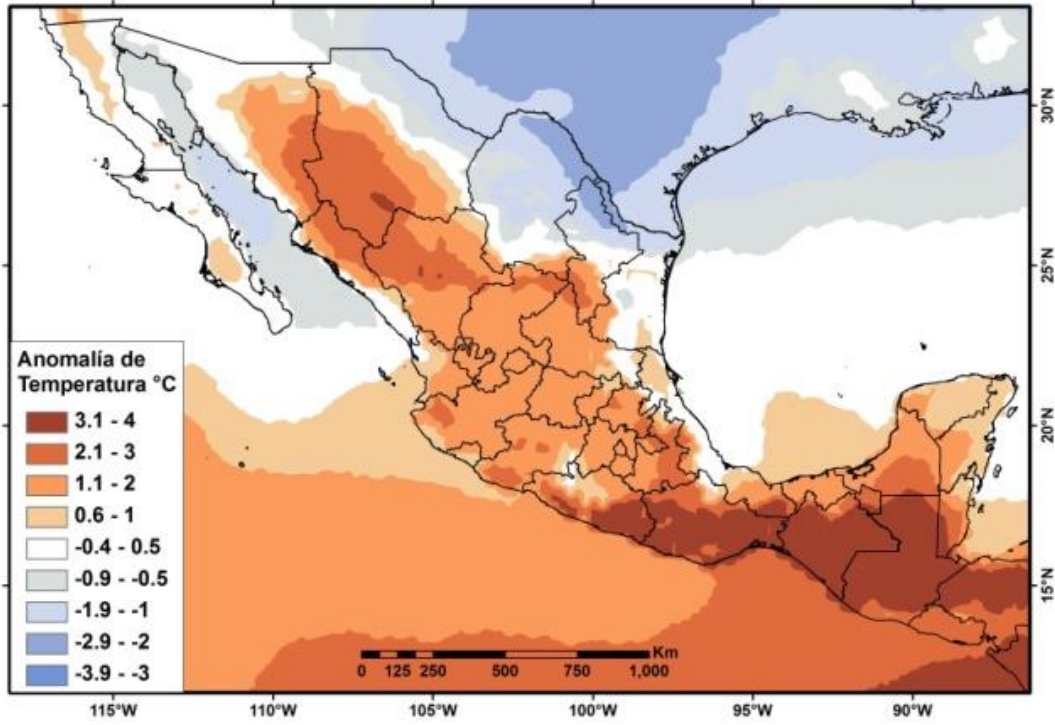


Figura 3.31. Temperatura septiembre 2009. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

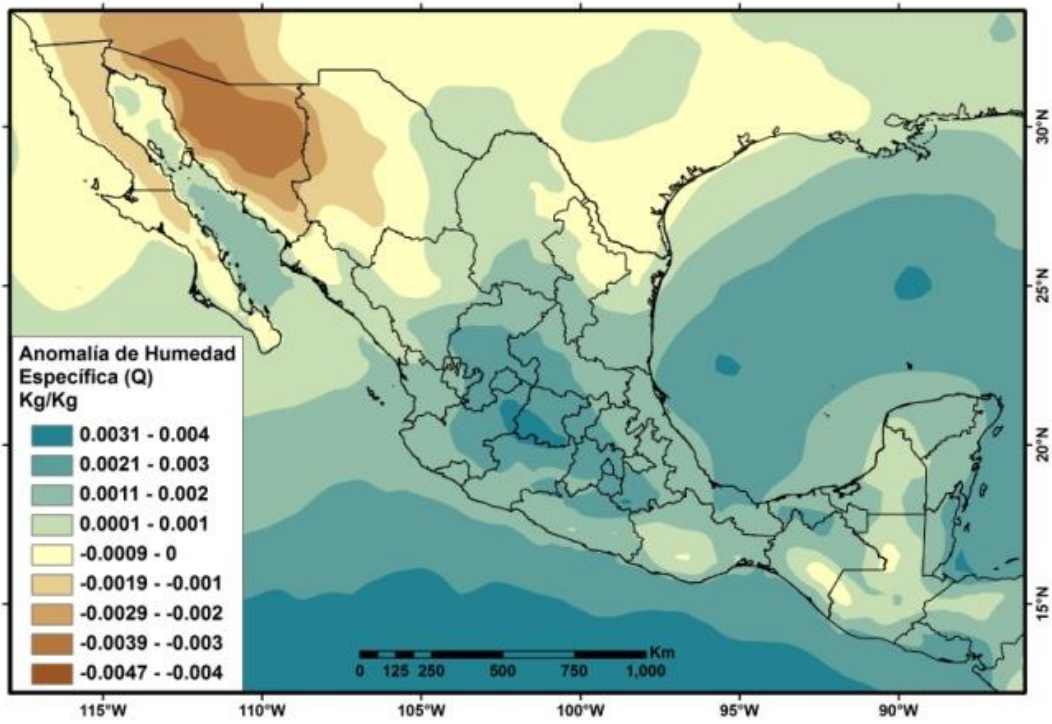


Figura 3.32. Humedad septiembre 2009. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

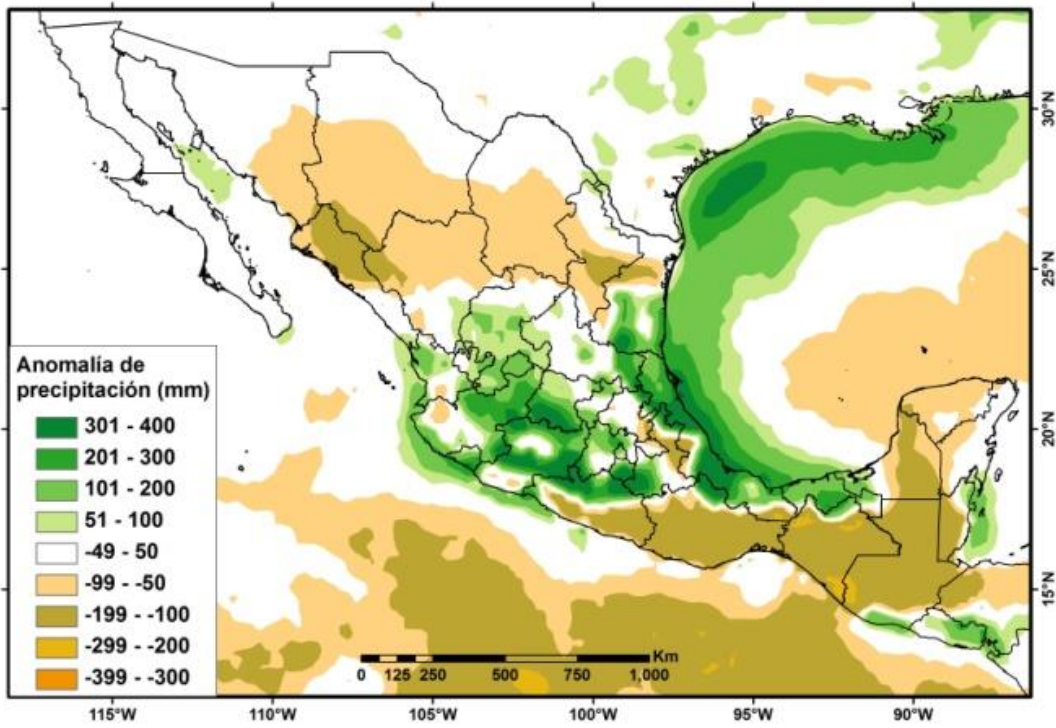


Figura 3.33. Precipitación septiembre de 2009. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

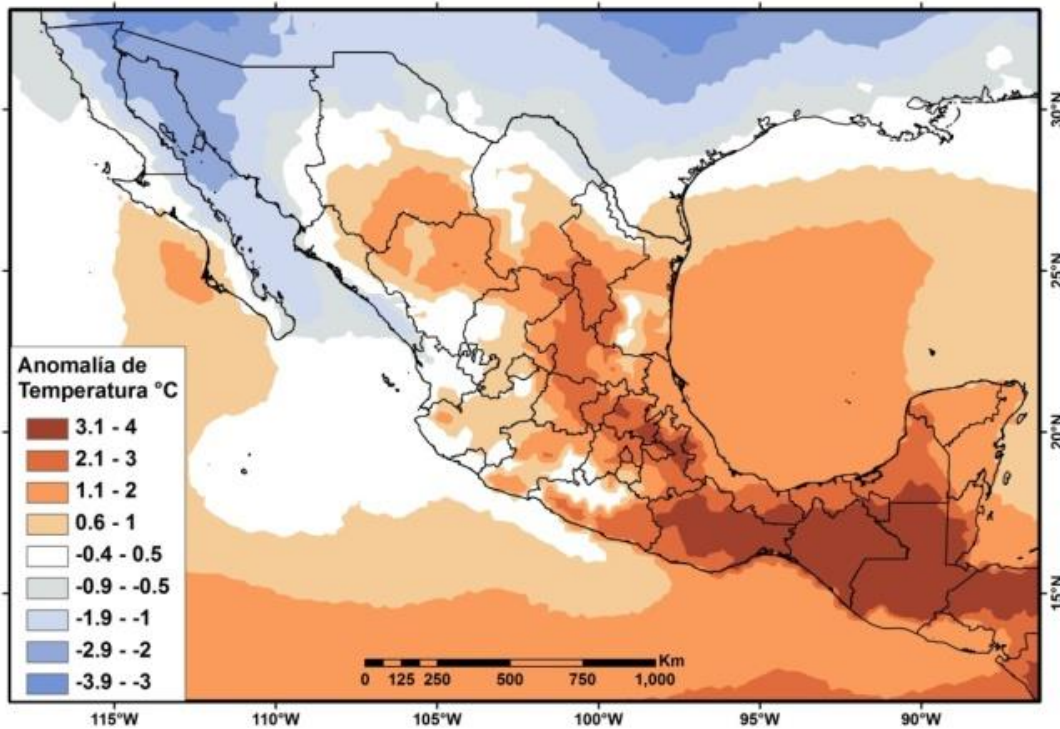


Figura 3.34. Temperatura octubre 2009. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010

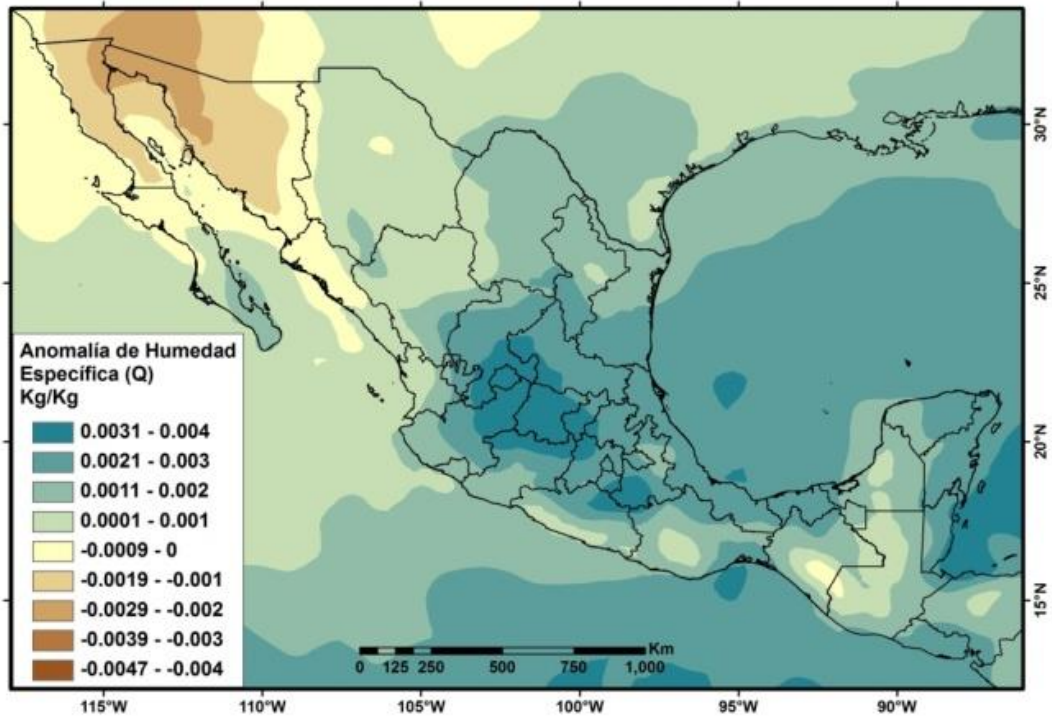


Figura 3.35. Humedad específica octubre 2009. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

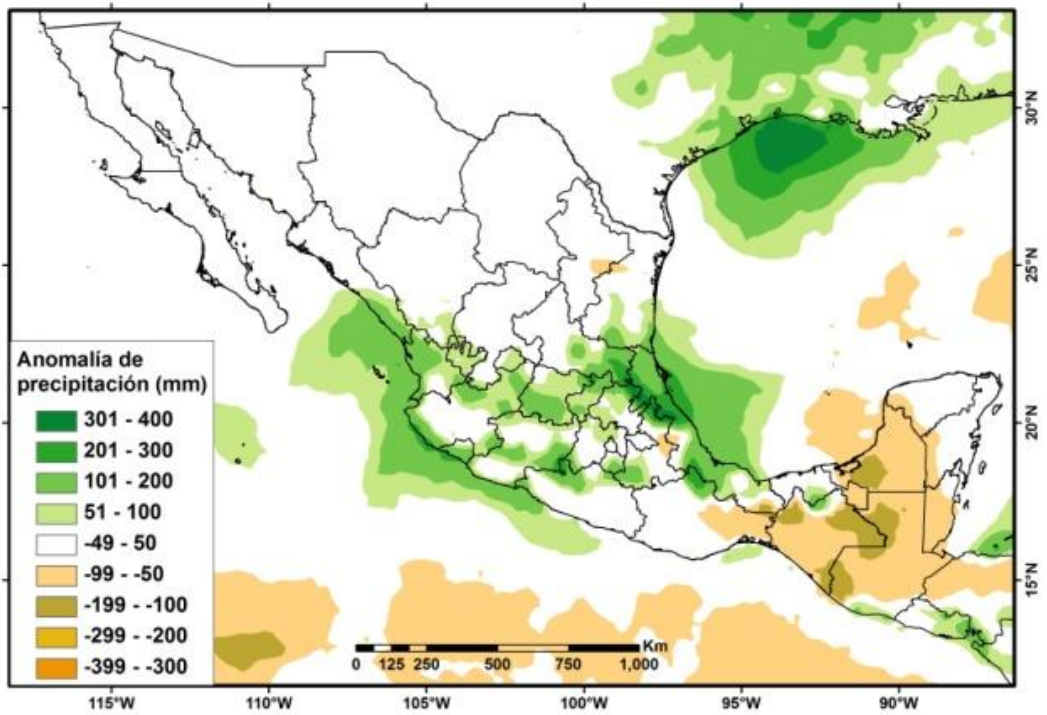


Figura 3.36. Precipitación octubre de 2009. Elaboración propia a partir de datos de NOAA 2010.

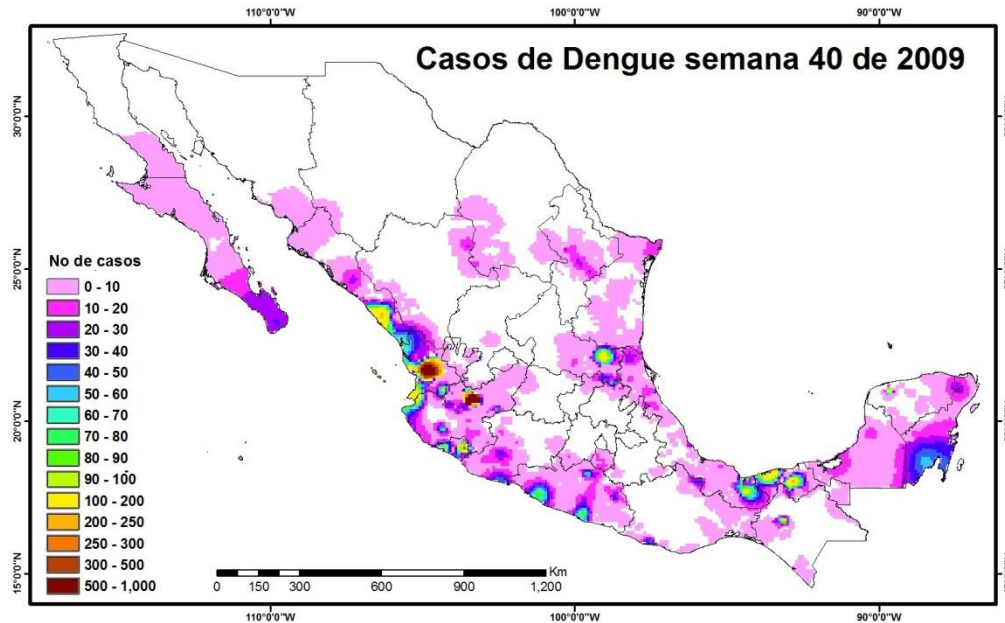


Figura. 3.37. Casos de dengue durante la semana 40 de 2009. Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS 2010.

3.7 Proyecciones bajo cambio climático

México, por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos, es especialmente vulnerable a los impactos de la variabilidad y el cambio climático. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) de 2006 se determinó que los fenómenos El Niño o La Niña, así como condiciones hidrometeorológicas extremas, han dejado graves daños y desastres en diversos sectores socioeconómicos del país. Con base en resultados de los escenarios climáticos, generados con Modelos de Circulación General (MCG) bajo escenarios de emisión A2 y B2, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Es muy probable que el clima de México sea más cálido para el 2020, 2050 y 2080, principalmente en el norte del país.

- Se proyectan disminuciones en la lluvia, así como cambios en su distribución temporal, con respecto al escenario base de 1961-1990. Por ejemplo, se esperan reducciones de hasta 15% en regiones del centro y de menos de 5% en la vertiente del Golfo de México, principalmente entre enero y mayo.
- El ciclo hidrológico se volverá más intenso, por lo que aumentará el número de tormentas severas y la intensidad de los periodos de sequía. Se realizó un compendio sobre los impactos por inundaciones en los sectores socioeconómicos del estado de Veracruz, mostrando que los costos de alterar el ciclo hidrológico son altos.
- Las componentes del ciclo hidrológico indican que en México cerca de 75% de la precipitación se evapotranspira y 5% recarga los acuíferos. El balance hídrico sugiere que el aumento en temperatura hará que la evapotranspiración se incremente y que la humedad en el suelo disminuya. Las evaluaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático en 2007 (IPCC por sus siglas en inglés) indican que México puede experimentar una disminución significativa en el escurrimiento, del orden del 10 al 20% a nivel nacional, y mayor al 40% en los humedales costeros del Golfo.
- La temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico Mexicano podría aumentar entre 1 y 2 °C. Con base en consideraciones físicas, incrementos en la temperatura del mar aumentan la eficiencia de los ciclones tropicales, favoreciendo las probabilidades de que éstos alcancen categorías mayores en la escala Saffir-Simpson.
- A partir del 2020, los mayores incrementos de temperatura se darán bajo el escenario A2 en comparación con el B2, debido principalmente a la diferencia en emisiones de GEI entre ambos escenarios.

Los escenarios de cambio climático presentados por el IPCC sugieren un sesgo a condiciones tipo El Niño en el clima futuro, lo que podría implicar afectaciones por dengue más pronunciadas en los estados de la zona occidente del país aunque, por supuesto, no se limitarían a esta zona. En México, entonces, es muy probable que la temperatura continuará aumentando, y la magnitud de dicho aumento dependerá de cuánto se incremente la concentración de gases de efecto invernadero.

En el caso del dengue el crecimiento del número de casos entre 2000 y 2009 pasó de casi 1,000 a 10,000 aproximadamente bajo una tendencia lineal, lo que significa en forma gruesa de incrementos a una tasa de aumento de casi 10,000 casos/°C. A pesar del aumento en la población en casi 15 millones de habitantes en la primera década del s. XXI (1.8%/año de crecimiento demográfico), la tasa de casos continúa su incremento al parecer en mayor medida por condiciones más propicias del clima. Dada la incertidumbre inherente a proyectar número de casos de una enfermedad a futuro se puede considerar que en años recientes se presentan 10 casos por cada 10,000 habitantes. Si el clima no cambiara, y tampoco las condiciones de vulnerabilidad, el incremento de población sería lo que llevaría a un aumento de casos totales del 1 al 2% anual. Sin embargo, la tasa de crecimiento de casos de dengue que considera el clima puede llevar a un incremento a 20,000 o 30,000 casos en las próximas dos o tres décadas si la tendencia permanece lineal. En el peor de los casos, y considerando una tendencia no lineal en el número de casos, y una mayor dependencia en la humedad específica para la propagación del dengue, la cifra podría alcanzar casi 100,000 casos por año.

Lo anterior debe tomarse con reservas ya que la vulnerabilidad de la población dista de ser constante. Las proyecciones sólo se hacen tomando como factor detonante del dengue al clima, es decir, la proyección de casos potenciales es un escenario basado en la sensibilidad de la ocurrencia del dengue a incrementos de temperatura y humedad. Las campañas implementadas por la Secretaría de

Salud, y la mayor conciencia de las personas sobre el problema del dengue tenderán a hacer de la población una sociedad menos vulnerable. Incluso, la posible aparición de vacunas anti-dengue podría ayudar a que los casos de dengue no lleven al país a una crisis de salud de mayores dimensiones.

Capítulo 4

Discusión y Conclusiones

4.1 Discusión

Los análisis anteriores sobre las relaciones clima-dengue, han permitido establecer en distintas regiones del país la dinámica de la enfermedad en función del clima y establecer por qué el cambio climático constituye un peligro para la salud de la población. El aumento de la temperatura en el aire permite el incremento de la humedad específica y junto con una alta humedad del suelo o estancamientos de agua favorecen el desarrollo del mosquito *Aedes aegypti* transmisor del virus del dengue.

El estudio ha permitido establecer que en temperaturas superiores a los 24°C promedio y humedad específica mayor a 0.018 kg/kg, las probabilidades de brotes de dengue aumentan. En años El Niño, las probabilidades de ocurrencia de tales condiciones aumentan hacia el centro occidente del país, mientras que en años El Niño, dichas condiciones son más probables en el centro sur del territorio nacional. Los brotes de dengue comienzan a ocurrir aproximadamente un mes después del inicio de la temporada de lluvias cuando la humedad del suelo aumenta al igual que la temperatura y la humedad del aire. En algunos años y regiones específicas se puede producir un adelanto de la temporada de lluvias o pueden ocurrir eventos particulares que generen condiciones climáticas propicias para la aparición del dengue, en meses tan tempranos como abril o mayo. Dicha posibilidad obliga a mantener un monitoreo constante del clima a escala regional para poner en marcha acciones preventivas entre la población.

La distribución geográfica de las poblaciones de insectos vectores está relacionada con patrones de temperatura, lluvia y humedad. La elevación en la

temperatura acelera la tasa de metabolismo en los insectos y se incrementan el desove y su frecuencia de alimentación de sangre (en el caso de insectos hematófagos). En este sentido, la precipitación pluvial es también significativa aunque no fácil de predecir en este comportamiento metabólico.

Las lluvias tienen un efecto indirecto en la longevidad del vector, aunque la humedad crea un hábitat favorable, incrementan la distribución geográfica de los insectos con una abundancia estacional de vectores de enfermedad. En otros casos el exceso de lluvias puede tener efectos catastróficos en la población local de vectores por constantes lavados del suelo por las inundaciones. En áreas geográficas de clima muy húmedo, las sequías pueden convertir los ríos en una sucesión de charcas favorables a la reproducción de vectores. Por lo tanto, la reproducción oportunista de vectores puede crear condiciones epidémicas.

4.2 Salud y gestión de riesgo

La identificación, cuantificación y predicción de los impactos del clima en la salud plantea retos relacionados con la escala, la especificación de la "exposición" y la elaboración de cadenas causales, a menudo complejas e indirectas (IPCC, 2003). El aumento en los casos de dengue en México y América Latina es un ejemplo del riesgo que representa esta enfermedad. Microorganismos mutantes han llevado a la resistencia antimicrobiana lo que representa un obstáculo para el control de las infecciones causadas por ellos (IPCC, 2003).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) para reorientar la estrategia de los programas de prevención y control de dengue, elaboró en el año 1999 el "Plan Detallado de Acción para la Próxima Generación: Prevención y Control de Dengue". Este plan hace hincapié en la participación comunitaria, la comunicación social y la educación como base de la prevención y el control. Durante el año 2000 se presentó y divulgó entre los países miembros entre ellos México.

La OPS aborda el problema de las enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes desde una perspectiva regional y multisectorial; dado que estos trastornos ya no afectan a los países de manera aislada, el dengue tiene una amplia distribución geográfica. Por ejemplo, como resultado de la frecuencia y la rapidez de los viajes internacionales, las personas que se infectan cuando están de viaje en el extranjero pueden en cuestión de horas introducir la enfermedad en una región que antes no estaba afectada. La participación de los sectores de turismo, agricultura, industria y comercio es necesaria para enfrentar este problema.

Un desafío importante es la necesidad de estimar los riesgos para la salud en relación con escenarios climático-ambientales futuros. A diferencia de la mayoría de los peligros ambientales conocidos para la salud, gran parte de los riesgos previstos como consecuencia del cambio climático global se sitúan a años o décadas venideras. Aunque buena parte de la investigación científica en torno a las repercusiones en la salud se centra en los riesgos futuros, los estudios empíricos sobre el pasado reciente y el presente son importantes.

Los métodos observacionales estándar de la epidemiología pueden mostrar las consecuencias de las tendencias climáticas locales en la salud durante los pasados decenios, siempre y cuando se disponga de las series de datos pertinentes. Esta información mejora nuestra capacidad de estimar las repercusiones futuras. Entre tanto, se deberían buscar pruebas científicas de los efectos iniciales del cambio climático en la salud, ya que éste lleva produciéndose varios decenios (OMS, 2003).

4.3 *El valor de las acciones de prevención*

El comienzo de la temporada de lluvias en México es el detonante cada año para la alerta del dengue en todo el país; con el avance del virus a regiones donde antes no existía, las medidas de prevención se han intensificado a lo largo del territorio. No existe una vacuna todavía altamente efectiva para poder inmunizar a la población y anticiparse al contagio, así que, ante tal problemática la Secretaría de Salud (2003) ha enfocado esfuerzos en tratar de frenar y erradicar a la población de mosquitos en sus diferentes etapas. A continuación se mencionan algunas medidas que el sector Salud ha implementado.

4.3.1 *Control Larvario*

Son todas aquellas actividades realizadas por métodos físicos, químicos, biológicos, dirigidas a la eliminación o control de cualquier depósito donde se desarrollan o puedan desarrollarse las larvas de cualquier tipo de mosquito, especialmente de *Aedes aegypti*.

La actividad la realiza personal aplicativo de la Jurisdicción Sanitaria (controladores larvarios) y consta de los siguientes componentes:

a) Control físico

Consiste en colocar una barrera física de forma temporal o definitiva entre el mosquito transmisor del Dengue y los recipientes contenedores de agua. Estas actividades incluyen el control de recipientes al *lavar, tallar, voltear, destruir, cubrir, proteger bajo techo* o evitar el almacenamiento de agua en todos los recipientes que sean capaces de criar larvas de mosquitos; asimismo, *desechar todos aquellos recipientes que no tengan ninguna utilidad* para los moradores de la vivienda, siempre y cuando se cuente con la autorización del propietario.

b) Control químico

Este método proporciona mayor rendimiento e impacto contra los mosquitos en sus etapas larvarias, utilizando productos químicos con efecto larvicida. Se utiliza única y exclusivamente en los depósitos y recipientes en los que no se puede realizar el control físico y que representan un riesgo significativo de convertirse en criaderos de mosquitos, tal es el caso de los tambos, pilas, piletas, tinacos y cisternas sin tapa, en los que por su uso y manejo son susceptibles de convertirse en criaderos.

El larvicida que se utiliza es el Temephos al 1%, su presentación es en granos de arena y tiene excelente acción larvicida residual con una persistencia promedio entre 60 y 90 días. Se tratan receptáculos como los sanitarios (tanques, taza, lavabos, etc.) que no estén en uso, inclusive en casas deshabitadas y también todos aquellos recipientes de agua elevados, tales como tanques o tinacos que no estén herméticamente sellados, contengan o no agua. Los floreros de los cementerios constituyen criaderos preferidos por los mosquitos, por lo cual estos recipientes deberán ser tratados. A todas las llantas es conveniente que se les aplique una cucharada de Temephos como medida preventiva, y se rodará varias veces a fin de que el agua que contiene humedezca las paredes internas y produzca la eclosión de los huevos. Los recipientes con agua que sean útiles y no puedan eliminarse, como son tambos, tinacos, piletas, aljibes o cisternas, se deberán tapar herméticamente o, en su caso, se deberá aplicar Temephos.

c) Control biológico

Este método es comúnmente empleado en algunos lugares del país, ya que involucra la utilización de modelos ecológicos depredador-presa, que reducen las poblaciones larvales; tal es el caso de los peces que se siembran y mantienen en los contenedores de agua. Existen otros modelos de control biológico como es el caso del *Bacillusthuringiensis*, el cual actúa parasitando y matando a las larvas;

sin embargo, su utilización aún está en fase de investigación, ya que su efecto residual es mínimo.

4.3.2 Nebulización

A diferencia del rociado domiciliario que funciona en la dirección vector-insecticida, en el rociado espacial esta dirección se invierte a insecticida-vector, en beneficio de la rapidez de acción, por lo que el rociado espacial está indicado principalmente para la eliminación inmediata de transmisores que presuntamente están infectados, como en el caso de brotes de Dengue. El rociamiento espacial consiste en la aplicación de gotitas pequeñas de insecticida en el aire, dentro o fuera de un recinto cerrado, de modo que puedan entrar en contacto y matar a los mosquitos adultos presentes en el ambiente.

Debido al incremento en el uso de esta medida y al desarrollo tecnológico, el rociado espacial que inicialmente se hacía por medio de nieblas térmicas, ahora también se hace con aerosoles fríos utilizando máquinas pesadas y portátiles, a bordo de vehículos automotores pick up, lanchas y aviones diseñados para tal efecto. La identificación de especies que realiza el entomólogo es de gran importancia a fin de conocer si se han introducido nuevos ejemplares de culícidos que sirvan como vectores del Dengue, tal es el caso del *Aedes albopictus* que hasta el momento sólo se ha detectado en Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Coahuila y Chiapas.

4.3.3 Participación Comunitaria

“Patio Limpio y Cuidado del Agua Almacenada”, es una estrategia de Participación Comunitaria encaminada a identificar las características de la población, sus recursos comunitarios, las circunstancias, sucesos y/o hábitos sociales, políticos y

económicos, que incidan en la proliferación de enfermedades transmitidas por vector. Se encuentra fundamentada en el desarrollo de acciones de educación y capacitación social, dirigidas a favorecer e incorporar en los hábitos poblacionales, entre otras cosas, acciones en el domicilio y en alrededores del domicilio para prevenir y controlar el Dengue y otras enfermedades relacionadas al saneamiento básico de la vivienda.

Las actividades que la población debe realizar de forma cotidiana a fin de mantener el patio (patio delantero y trasero, zotehuera, azotea, establo, el interior de la casa) son:

- Ordenar todos los recipientes en un sitio bajo techo, o bien, volteados hacia abajo, de manera que no puedan almacenar agua.
- Mantener el patio libre de maleza, donde es posible la presencia de plantas de ornato, hortaliza y pasto.
- Lavar y cepillar cada semana, tapar o proteger, voltear, mantener bajo techo entre otras a todos los recipientes que sean utilizados para almacenar agua o para animales domésticos.
- Utilizar peces en los depósitos de almacenamiento de agua para uso y consumo humano.

Otra de las medidas que el gobierno ha implementado es la “deschatarización”/“desllantización” que consiste en eliminar todas aquellas llantas usadas que han sido desechadas y que ahora sólo sirven de reservorio de agua (Salud, 2012) lugar propicio para el desarrollo de *Aedes aegypti*. Este programa tiene gran relevancia en estados del norte del país, Nuevo León en particular tiene un programa de prevención bien organizado.

4.4 ¿Será suficiente? La necesidad de adaptación

La adaptación es, en gran medida, un proceso continuo y flexible, diseñado para reducir la exposición de la sociedad a los riesgos derivados de la variabilidad climática, incluyendo los fenómenos extremos. Esto refleja el hecho de que los riesgos asociados a la variabilidad actual del clima y los fenómenos extremos normalmente imponen grandes costos a las economías y sociedades, así como al medio ambiente. En muchas circunstancias, los niveles actuales de adaptación están lejos de ser adecuados, dados los altos costos impuestos por las variaciones y los extremos en el clima (IPPC, 2001).

En el contexto de los cambios futuros en el clima, incluidos los cambios en la variabilidad y la frecuencia y magnitud de los eventos extremos, el proceso de adaptación tiene que ver con la reducción de riesgos no sólo actuales, sino también los riesgos derivados de las continuas emisiones de gases de efecto invernadero. El riesgo es un concepto familiar. Formalmente, es la combinación de la probabilidad y consecuencias de un evento (por ejemplo, la aparición de un ciclón tropical, las temperaturas superficiales del océano que superen un umbral determinado) (Salud 2008).

4.4.1 Adaptación y prevención

La mayoría de las medidas de adaptación resultan beneficiosas en lo concerniente a los cambios en el clima. Es frecuente considerar la reconstrucción y el mantenimiento de las infraestructuras de salud pública como la estrategia adaptativa "más importante, costo eficaz y urgente". Incluye la formación en salud pública, sistemas más eficaces de vigilancia y de respuesta urgente, y programas sostenibles de prevención y control. Los fenómenos meteorológicos extremos pueden tener repercusiones muy diversas debido a las diferencias en la capacidad de afrontamiento de las poblaciones afectadas (OMS, 2003).

Por tanto, las estrategias de adaptación al clima deben considerarse en relación con características más generales, como el crecimiento de la población, la pobreza, el saneamiento, la atención de salud, la nutrición y la degradación del medio ambiente, que influyen en la vulnerabilidad de la población y en su capacidad para adaptarse. Las adaptaciones que mejoran la capacidad de afrontamiento de una población pueden proteger tanto frente a la actual variabilidad climática como frente a cambios climáticos futuros. Estas adaptaciones pueden ser especialmente importantes para los países menos desarrollados que actualmente tienen una escasa capacidad de afrontamiento, como es el caso de México (OMS 2009).

4.5 Recomendaciones

Unas pruebas científicas de calidad exigen datos de calidad. El clima varía de manera natural, así como en respuesta a influencias humanas, y a su vez es sólo uno de los muchos determinantes de la salud de la población. Por consiguiente, evaluarlos impactos del clima en la salud plantea dificultades. Además, el proceso del cambio climático sólo es detectable al cabo de decenios, y los consiguientes efectos en la salud irán apareciendo con similar lentitud. Es por ello que supervisar y llevar un control de los datos climáticos y los datos de dengue serán de gran ayuda para mejorar la calidad de futuros estudios. (OMS, 2003)

El monitoreo consiste en realizar y analizar mediciones sistemáticas orientadas a detectar cambios en el medio ambiente o la salud de las poblaciones (Salud, 2008) En muchas investigaciones de salud pública se pueden medir cambios en un efecto definido sobre la salud y atribuir esta tendencia a cambios en un factor de riesgo que actúe directamente. Sin embargo, el monitoreo de los impactos del cambio climático en la salud es más complejo (OMS, 2003).

Para el caso del Sector Salud frente al dengue bajo condiciones de cambio climático, se pueden aprovechar los avances existentes en materia de tiempo y clima. Para ello, es necesario contar con un sistema de monitoreo y pronóstico avanzado, del que se conozcan sus alcances y limitaciones. Los pronósticos del clima a escala estacional pueden ser usados para saber si se trata de condiciones El Niño o La Niña y las posibles zonas de afectación. También se puede usar dicho pronóstico para predecir si se tratará de un año seco o húmedo y en qué zona del país, preferentemente. Con predicciones del tiempo a mediano plazo, se puede proyectar las probabilidades de lluvias intensas que generen humedad del suelo anómalamente alta, así como de temperatura y humedad por encima del valor umbral crítico que pudieran llevar a brotes de dengue o epidemias. En estas zonas, se deberá incrementar la difusión de mensajes entre la población, se deberán mover equipos y especialistas para atender el mal, y se pueden definir con mayor precisión las campañas de nebulización.

El monitoreo de humedad del suelo, de temperatura y de humedad específica se vuelven fundamentales para saber en dónde son favorables las condiciones ambientales para la aparición del mosquito *Aedes aegypti*. El sector salud debe, por tanto, establecer alianzas más estrechas con el Servicio Meteorológico Nacional y con el sector de Protección Civil del país, para disponer de la mejor información de tiempo y clima para implementar acciones preventivas. La implementación de un sistema de prevención anti-dengue, que tome en cuenta la información climática puede constituir un avance en las acciones de adaptación sectorial frente a cambio climático.

4.6 Conclusiones

A pesar de que los planes de gobierno incluyen programas de adaptación a cambio climático en todos los sectores socioeconómicos de México, el uso de la información climática para la prevención debiera ser en el sector salud no sólo una

acción que permita actuar frente a la variabilidad natural del clima. Así, será necesario contar con especialistas que puedan interpretar la información que los centros especializados de clima del país distribuyan. Dicho cambio de paradigma, de respuesta a condiciones favorables del clima e impactos negativos en la salud de la población, a uno en el que se trata de maximizar el beneficio de la anticipación al daño, es decir, la prevención es parte de la política nacional en general y del sector salud en particular.

Entre los sectores más amenazados por cambio climático se pueden considerar el del agua, el de la agricultura y el de la salud. El incremento de la población y de su vulnerabilidad debe tomarse en cuenta para pensar que un clima diferente puede resultar en un riesgo de afectaciones de diversos tipos. Las acciones de prevención frente a cambio climático, no se limitan al caso del dengue, pero pueden servir de guía para otras formas de adaptación frente a otras enfermedades.

En materia de investigación científica se necesita elaborar planteamientos innovadores para analizar el tiempo y el clima en relación con la salud humana, recopilar series de datos a largo plazo para responder a preguntas esenciales y comprender mejor cómo incorporar los resultados de los Modelos Climáticos Mundiales a los estudios sobre la salud humana (OMS, 2003).

Cada vez son más numerosas las pruebas de que la salud humana se verá afectada de muchas y diversas maneras. Nuestros conocimientos son todavía limitados en numerosas áreas, como la contribución de la variabilidad climática a corto plazo a la incidencia de enfermedades, el desarrollo de sistemas de alerta temprana para predecir los brotes de enfermedades y los fenómenos meteorológicos extremos, y el mecanismo por el que la reiteración de fenómenos extremos puede debilitar la capacidad de adaptación.

Se demostró que las enfermedades infecciosas, en particular las transmitidas por insectos vectores, son sensibles a las condiciones climáticas. Se necesitan datos sobre la incidencia de enfermedades para que los estudios epidemiológicos dispongan de una referencia. La falta de información precisa sobre las actuales tasas de incidencia del dengue dificulta la discusión sobre si dichas tasas están cambiando como consecuencia de las condiciones climáticas.

Con las tendencias del dengue en aumento, es preciso evaluar las vulnerabilidades y determinar las opciones de intervención o adaptación. Una planificación precoz en materia de salud puede reducir los futuros efectos adversos en este ámbito, pero la solución óptima está en manos de los gobiernos, la sociedad y los individuos, y exige cambios en los comportamientos, las tecnologías y las prácticas para permitir la transición hacia la sostenibilidad.

Referencias

- Brunkard J. M., Cienfuentes E., Rothenberg S. J., 2007: Assessing the roles of temperature, precipitation, and ENSO in dengue re-emergence on the Texas-Mexico border region. *Salud Pública de México*, vol. 50, no. 3, mayo-junio 2008.
- Burke D. A., Carmichael, Focks. 2001: Under the weather: climate, ecosystems and infectious disease. Washington D. C. National Academy Press
- Casas M. M., Torres E. J. 2003: First evidence of *Aedes arbopictus* (skuse) in southern Chiapas México. *Emerging Infectious Disease* 9 (5)
- Center for Disease Control (CDC) 2005: Dengue Fever Homepage <http://www.cdc.gov/ncidod/dvbid/dengue/index.htm>
- Colvard J. 1978: El comportamiento alimentario de los mosquitos. *Investigación y Ciencia*. Edición en español *Scientific American* 23: 86-93
- Comisión Federal para la Protección de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) 2010: Base de datos de dengue a nivel municipal durante 1999-2009
- Connor, S. J., P. Ceccato, T. Dinku, J. Omumbo, E. Grover-Kopec and M. C. Thomson, 2006: Using Climate Information for Improved Health in Africa: Relevance, Constraints and Opportunities. *Geospatial Health* 1: 17–36.
- Connor S. J. y Mantilla G. C., 2008: Integration of seasonal forecasts in to early warning systems for climate-sensitive diseases such as malaria and dengue. *Climatic change and human health*. World Health Organization 2008.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)
2006: UNFCCC Manual, Bonn (Alemania): Secretaría del Cambio Climático

De Maria M., Kaplan J, 1994: Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones. *J.Climate*, 7, 1325-1334

Enfield, D.B., Mayer, D.A., 1997: Tropical Atlantic SST variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research*, **102**, 929–945.

Epstein P. R., 2000: Is global warming harmful to health? *Scientific American* 283 (2) 36-43

Fernández W., Iannaccone J., Rodríguez E., Salazar N., Valderrama B., Morales A. M., 2005: Distribución espacial, efecto estacional y tipo de recipiente más común en los índices entomológicos larvarios de *Aedes aegypti* en Yurimaguas, Perú 2000-2004. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 22 (3): 191-199

Focks D. A., Daniels E., Haile D. G., Keesling J. E. 1995: A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: literature analysis, model development, preliminary validation and samples of simulation results. *American Journal of Tropical Medicine* 1995: 53 (5) 489- 506

Gómez D. H., Rodríguez M.H., 1994: Paludismo y Dengue: de la erradicación a las zonas de riesgo. México D.F: Cuadernos de Salud. Secretaría de Salud 1994: 55-85

González C. M., Macías H. M., Andrade G. M., 2007: Relación entre Geografía y Salud Pública. *Sincronía*, primavera 2007

- Gratz N. G. 1999: Emerging and resurging vector-borne disease. *Annual Reviews Entomology* 44 (1) 51-75
- Gubler D. J. y Clark G. G. 1995: Dengue/dengue hemorrhagic fever: the emergence of a global health problem. *Emerging Infectious Diseases*. Vol 1, No 2 abril-junio 55–57
- Gluber D. J, Reiter P., Ebi K. L., Yap W., Nasci R., Patz J. A., 2001: Climate Variability and Change in the United States: Potencial Impacts on Vector and Rodent-Borne Diseases. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 109 suplement 2 May 2001
- Gluber D. J. 2006: Dengue/dengue hemorrhagic fever: history and current status. *Novartis Found Symp* 277: 3-16
- Haines A., McMichael A. J., Epstein P. R., 2000: Environment and health: Global climate change and health *CMAJ* 2000; 163: 729-734
- Haines A. y Patz J. A., 2004: Health effects of climate change. *Journal of the American Medical Association* 291 (1): 99–103.
- Hansen, J. W., Dilley M., Goddard L., Ebrahimian E., Ericksen P. 2004: *Climate Variability and the Millennium Development Goal Hunger Target*. New York, The Earth Institute, Columbia University.
- Hopp M. J. y Foley J. A. 2003: Worldwide fluctuations in dengue fever cases related to climate variability. *Climate Research* Vol. 25 85-94 2003.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 1999: Banco Nacional de Datos por Internet. <http://www.inegi.org.mx/biinegi/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2005: Base cartográfica de los Estados Unidos Mexicanos.

Iñiguez R. L. 1998: Geography and health: themes and perspectives in Latin America. *Cad. Saúde Pública*, 1998; 14(4): 701-711

IPCC 2001: Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC 2007: Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Jáuregui O. E., 1989: Los huracanes en México. Información, ciencia y tecnología (ICYT) México D.F., Vol. II No. 155 32-39

Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S. K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin American Meteor. Soc.*, 83, 1631-1643.

Kelly-Hope L., Thomson M. C., 2008: Climate and Infectious Diseases M.C. Thomson *et al.*, (eds.), *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*. 31 Springer Science + Business Media B.V.

Kovats, R. S., M. J. Bouma and A. Haines 1999: El Niño and health. Geneva, World Health Organization: *WHO/SDE/PHE/99.4* 46.

- Kovats R. S., 2000: El Niño and human health. *Bulletin of the World Health Organization* Vol. 78 No 9 1127–1135.
- Kovats, R. S., M. J. Bouma, S. Hajat, E. Worrall and A. Haines 2003: El Niño and health. *The Lancet* **362**(9394): 1481–1489.
- Kuhn, K., D. Campbell-Lendrum, A. Haines and J. Cox 2005: Using climate to predict infectious disease epidemics. Geneva, World Health Organization: 54.
- Lemus L. E. R. y Corratge D. H. 2009: Cambio climático y dengue en Cuba. *Revista Cubana de Medicina General Integral*. 2009; 25 (4) 196-207.
- Maciel-de-Freitas R., Codeço C.T., Lourenço-de-Oliveira R. 2007: Daily survival rates and dispersal of *Aedes aegypti* females in Rio de Janeiro, Brazil. *Am J Trop Med Hyg* 76: 659-665.
- Magaña R. V., (Editor), 1999: Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmosfera. UNAM, Secretaría de Gobernación. Mexico D.F.
- Maguiña V. C., Osoreo P. F., Suárez O. L., Soto A. L., Pardo R. K. 2005: Dengue clásico y hemorrágico: Una enfermedad reemergente y emergente en Perú. *Revista Médica Hered* 16 (2) 2005.
- McMichael A. J., 2003: Climate change in: comparative quantification of health risk. Geneva World Health Organization Press.
- Meruane C. y Garreaud R. 2006: Determinación de Humedad en la Atmosfera. DGF Universidad de Chile.

Mesinger F., Di Mego G., Kalnay E., Mitchell K., Shafran P., Ebisuzaki W., Jovic D., Woollen J., Roger E., Berbery E., Ek M., Fan Y., Grumbine R., Hong H., Lin Y., Maniki G., Parrish D., Shi W. 2006: A long-term, consistent, high-resolution climate dataset for the North American domain, as a major improvement upon the earlier global reanalysis datasets in both resolution and accuracy. NARR. American Meteorological Society. March 2006.

Narro R. J., Gómez D. H., 1995: El dengue en México: un problema prioritario de salud pública. Salud Pública de México año/vol. 37, numero 1 (suplemento) Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca México pp 12-20.

National Hurricane Center (NHC) 2010: Trayectorias de huracanes http://www.nhc.noaa.gov/analysis_tools.php

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2010: Bases de datos climáticas (precipitación, temperatura y humedad específica) <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.narr.html>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2010: Base de datos de humedad específica y temperatura (series de tiempo) <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2005: Regiones de El Niño <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>

Organización Mundial de la Salud (OMS) 1998: Dengue and dengue hemorrhagic fever. WHO Fact Sheet No 117. <http://www.who.int/inf-fs/en/fact117.html>

Organización Mundial de la Salud (OMS) 2003: Cambio climático y salud humana: Riesgos y respuestas, resumen.

- Organización Mundial de la Salud (OMS) 2004: Using climate to predict infectious disease outbreaks, a review <http://www.who.int/publications/pdf/dengue-swg.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) 2009: Guía para el diagnóstico, tratamiento, prevención y control del dengue <http://www.who.int/tdr/publications/documents/dengue-diagnosis.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud OPS 1995: Dengue y dengue hemorrágico en las Américas (Guía para su control y prevención). Washington D. C. OPS Publicación científica No 548 1995.
- Organización Panamericana de la Salud OPS 1997: Resurgimiento del dengue en las Américas. Boletín Epidemiológico. OPS 18 (2) 1997.
- Orta H. R., Mercado H., Elizondo L. J. 2005: Distribution of *Aedes albopictus* (skuse) in Nuevo León, México 2001-2004 *Salud Pública de México* 47 (2): 163-165.
- Patz J. A., Martens W. J. M., Focks D. A. y Jetten T. H., 1998: Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. *Environmental health perspectives* Vol. 106, No. 3, marzo 1998.
- Patz, J. A., Campbell L., Holloway T., Foley A. 2005: Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438(7066): 310–317.
- Rifakis P. G., Nacary O. W., Manso M. E., Intingaro A., Hernández O., Rodríguez-Morales A. J., 2005: Asociación entre las variaciones climáticas y los casos de dengue en un hospital de Caracas, Venezuela, 1998-2004.

- Riojas R., Hurtado. D. M., Idrovo V. J., Vázquez G. H., 2006. Estudio Diagnóstico sobre los Efectos del Cambio Climático en la Salud Humana de la Población en México. Coordinación del programa de cambio climático, Instituto Nacional de Ecología.
- Rowley, W. A., Graham, C. L. 1968: The effect of age on the flight performance of female *Aedes aegypti* mosquitoes. *J. Insect. Physiol.* 14, 719-28.
- Russell R. C., Currie B. J., Lindsay M. D., Mackenzie J. S., Ritchie S. A., Whelan P. I., 2009: Dengue and climate change in Australia: predictions for the future should incorporate knowledge from the past. *Med Journal Aust* Vol. 190 No. 5, 2 de marzo de 2009.
- Sachs, J. D. 2004: Health in the developing world: achieving the Millennium Development Goals. *Bulletin of the World Health Organization* **82**(12): 947–949; discussion 950–2.
- Sachs, J. D. and J. W. McArthur 2005: The Millennium Project: a plan for meeting the Millennium Development Goals. *The Lancet* **365**(9456): 347–353.
- Secretaría de Salud 2001: Informe de labores 1999-2000 Mexico D. F.
- Secretaría de Salud 2002: Manual para la prevención y control del dengue. México 2002.
- Secretaría de Salud 2003: Manual para la vigilancia, diagnóstico, prevención y control del dengue. México 2003.
- Secretaría de Salud 2008: Guía de acciones municipales de promoción de la salud para la prevención y control del dengue <http://www.promocion.salud.gob.mx>

Secretaría de Salud 2008: Programa de Acción Específico 2007-2012 Dengue.

Secretaría de Salud 2012: Estrategia integral de comunicación educativa para dengue <http://www.promocion.salud.gob.mx>

Speight M. H. M y Watt A. 1999: Ecology of insects. Concepts and applications. Oxford, England, Blackwell Science.

Thirión I. J., 2003: El mosquito *Aedes aegypti* el dengue en México. Bayer Environmental Science. Bayer de México, S.A. de C.V. Abril de 2003.

Valdez T. A. R., 2008: Influencia de la variabilidad del tiempo y el clima en la incidencia de Dengue en la Península de Yucatán México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida. Departamento de Ecología Humana.

Vázquez A. J. L., 2007: Variabilidad de la precipitación en la República Mexicana. Tesis de maestría. UNAM.

Verhasselt Y. 1993: Potentialities of Geography of Health. Archives of Public Health, 51:481-486.

Wigglesworth V. B. 1972: The principles of insect physiology. 7th edition Chapman and Hall. Grant Britain at the University Press Cambridge 669-690.