

# Análisis de cambio en las condiciones climáticas y su relación con casos de dengue en la parte centro de México

# Analysis of Climate Changes in the Mexican Central Highlands and its Relationship with the Transmission of Dengue

Raymundo Ordóñez-Sierra, Miguel Ángel Gómez-Albores, Carlos Alberto Mastachi-Loza, Carlos Díaz-Delgado, Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx) Ricardo Manzano-Solís, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx) Imelda Medina-Torres, Instituto de Salud del Estado de México

**RESUMEN.** Uno de los principales problemas de salud pública es la transmisión del dengue, este virus es distribuido principalmente por el mosquito de la especie *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) que se encuentra en gran parte del territorio nacional, debido a las condiciones climáticas favorables para su ciclo de vida. El presente trabajo muestra un análisis de los cambios de clima en el altiplano central mexicano, con la finalidad de asociar e identificar zonas climáticas vulnerables a la presencia de casos. La generación de las zonas climáticas se realizó con el método de clasificación denominado Köppen-García, para el periodo 2009 a 2015 y determinar el clima favorable para la transmisión. Como parte de los resultados obtenidos, la condición térmica se relacionó en mayor medida con la presencia de casos, específicamente la condición de cálido, semicálido (cálido) y semicálido (templado) ubicadas en la parte sur de la zona de estudio, debido a que los rangos de temperatura favorecen el ciclo de vida y actividad de transmisión del mosquito. En cuanto a la precipitación, la condición de subhúmedo con régimen de lluvias de verano fue la que se asoció más con los casos, mostrando una relación de comportamiento estacional, ya que algunas etapas de desarrollo del mosquito se ven favorecidas, como su estado de ovoposición y de larva. Los resultados generados pueden ser de apoyo en la identificación de zonas vulnerables a la transmisión del dengue.

**PALABRAS CLAVE:** *Aedes aegypti*, clasificación climática de Köppen-García, incidencia acumulada, Altiplano Central Mexicano

**ABSTRACT.** One of the main public health problems is the transmission of dengue, this virus is distributed mainly by the mosquito of the species *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) that is found in a large part of the national territory, to the favorable climatic conditions for its life cycle. The present work shows an analysis of climate changes in the Mexican central highlands, with the purpose of associating and identifying vulnerable climatic zones to the presence of cases. The generation of the climatic zones was carried out with the classification method called Köppen-García, for the period 2009 to 2015 and to determine the favorable climate for the transmission. As part of the results obtained, the thermal condition was related to a greater extent with the presence of cases, specifically the condition of warm, semi-warm (warm) and semi-warm (temperate) located in the southern part of the study area, because the temperature ranges favor the development and activity of mosquito transmission. Regarding precipitation, the condition of subhumid with the summer rainfall regime was the one that was most associated with the cases, showing a seasonal behavior relationship, since some stages of development of the mosquito are favored, such as its state of oviposition and larva. The results generated can be of support in the identification of zones vulnerable to the transmission of dengue.

**KEYWORDS:** *Aedes aegypti*, Köpen-García classification, cumulative incidence, Mexican Central Highlands

## Introducción

Gran parte de las enfermedades se encuentran vinculadas con el clima, debido a que el mecanismo de transmisión de los virus forma parte de su ciclo de vida (Campbell et al., 2015), sin embargo estos procesos ocasionan alteraciones en diferentes sistemas, entre los que se encuentra la salud humana (Calle, Marí, de las Heras, Lucientes, & Molina, 2017; Delgado et al., 2010).

El dengue es una enfermedad transmitida principalmente por el mosquito *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: *Culicidae*) (Narro & Gómez, 1995) y que hasta la actualidad ha presentado complicaciones por el aumento en la presencia de casos, convirtiéndose en una de las enfermedades de mayor importancia para la salud pública (Escobar-Mesa & Gómez-Dantés, 2003). A nivel mundial se estima que 2.5 millones de personas viven en países con dengue endémico, y tan solo 3,900 millones de 128 países se encuentran en riesgo de contraer la enfermedad (Brady et al., 2012).

Entre los países declarados como altamente endémicos se encuentra México, debido a las condiciones climáticas que presenta y que actúan como factores determinantes en ciclo de vida del vector transmisor, la actividad de transmisión y distribución del dengue (Gómez-Dantés, 2007; WHO, 2012).

El desarrollo del ciclo de vida del mosquito se da bajo condiciones climáticas particulares, con una temperatura entre los 25 y 32°C y con una mínima cantidad de precipitación (Lozano-Fuentes et al., 2012), por lo que recomiendan analizar a la transmisión del virus bajo un marco climático ambiental (McMichael & Woodruff, 2003).

Los diversos estudios que se han desarrollado sobre la transmisión del dengue y la relación con datos de clima (Cassab, Morales, & Mattar, 2010; Salje et al., 2016), han permitido identificar los requerimientos cuantitativos de temperatura y precipitación favorables para el ciclo de vida del mosquito y la actividad de transmisión del virus. Sin embargo, el análisis del clima debe llevarse a una caracterización no solo de forma cuantitativa, sino además cualitativa, como se ha intentado hacer en otras parte del mundo (Santillán & Garduño, 2008) con la finalidad de considerar al clima como parte del territorio, para dar explicaciones más específicas entre la interacción de organismos con el ambiente, en este caso, regularmente se recurre a la clasificación climática

de Vladimir Köppen, un método que realiza agrupaciones de clima (zonas climáticas) con base en valores medios de temperatura y precipitación además de considerar la longitud y latitud.

El método de clasificación climática adaptado para México denominado Köppen-García, es una derivación realizada, del método original de clasificación climática de Köppen, por Enriqueta García (García, 1987), con el propósito de dar realce a las condiciones climáticas características del país. Santillán & Garduño, (2008) señalan que el sistema de clasificación climática Köppen-García es usado ampliamente por biólogos, geógrafos y agrónomos, tanto en México como en Centro y Sudamérica. El método de clasificación climática además, se ha relacionado con la distribución de virus transmitidos por vectores (Brugger & Rubel, 2013; Polack et al., 2005), por lo que podría ser una herramienta potencial en el monitoreo e identificación de áreas vulnerables a la trasmisión del dengue, facilitando la generación de herramientas en apoyo a la toma de decisiones para reducir su transmisión.

Como bien se sabe, la erradicación del dengue es un tema que hasta la actualidad no ha tenido respuesta debido a que las medidas para reducir la transmisión se encuentran en un contexto general y no son tan adecuadas y específicas cuando se llevan a la realidad. Aquí se propone un análisis sobre el cambio de las condiciones climáticas y su relación con la presencia de casos y así mismo la posible presencia del vector en la parte centro de México con base a sus requerimientos climáticos que permita identificar zonas y poblaciones vulnerables ante la posible transmisión de virus.

## Metodología

La zona de estudio considerada, fue la parte del altiplano central mexicano (Figura 1), que comprende en su totalidad al Estado de México (36%) con 22,389 km<sup>2</sup>, Ciudad de México (2.4%) con 1,485 km<sup>2</sup> y Morelos (7.9%) con 4,950 km<sup>2</sup> y porciones de los Estados colindantes como Hidalgo (13.6%), Tlaxcala (1.6%), Guerrero (12.4%), Michoacán de Ocampo (11.2%), Guanajuato (3.3%), Querétaro (2.3%) y Puebla (9.3%), en conjunto presentan un área de 62,172 km<sup>2</sup>, un área donde se han incrementado el número de casos de dengue. Dentro de esta zona de estudio, se concentra una población total de 30,159,431 habitantes, que representa el 25.2% del total nacional, con

RAYMUNDO ORDÓÑEZ-SIERRA, MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ-ALBORES, CARLOS ALBERTO MASTACHI-LOZA, CARLOS DÍAZ-DELGADO, RICARDO MANZANO-SOLÍS E IMELDA MEDINA-TORRES (pp. 96-105)

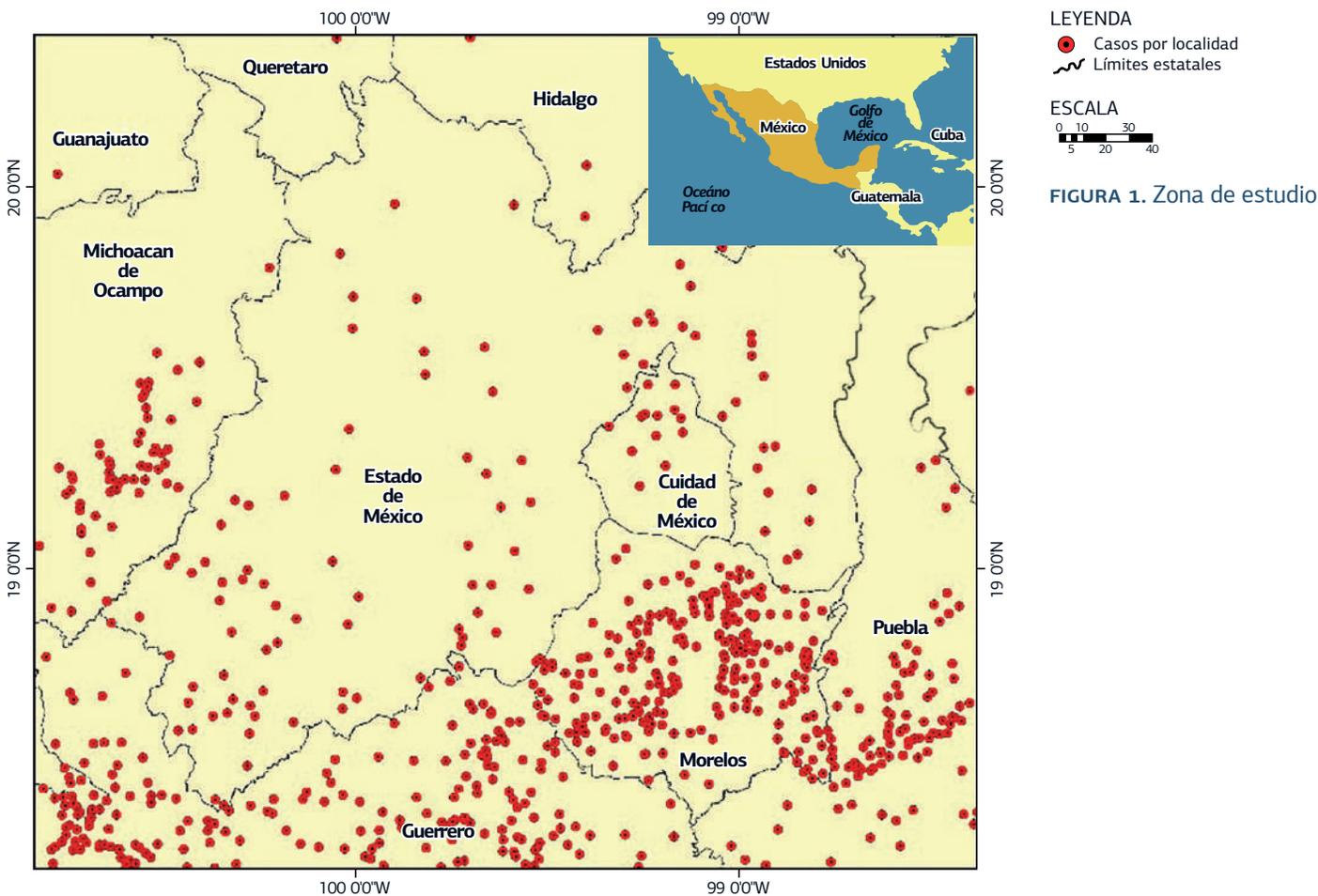


FIGURA 1. Zona de estudio

una densidad de población de 485.1 hab/km<sup>2</sup>, es decir, siete veces más en comparación con la densidad a nivel nacional que es de 61 hab/km<sup>2</sup> (INEGI, 2015).

### Desarrollo metodológico.

El trabajo realizado se llevó a cabo en diferentes etapas que son: 1) la recopilación de registros de casos de dengue y los datos de temperatura y precipitación para el periodo 2009 a 2014. En la etapa 2) por un lado, se estructuraron casos de dengue de forma mensual por localidad y por otro, los registros de clima para la generación de imágenes de superficie de diferentes variables climáticas (precipitación y temperatura mínima y máxima). Para la etapa 3) se especializaron los casos de dengue por localidad, mientras que las superficies de clima generadas se utilizaron como insumos para generar imágenes de condiciones climáticas. Finalmente, en la etapa 4) se analizaron los cambios en las condiciones de clima y su relación con la presencia de casos, con la finalidad de identificar las condiciones climáticas

propicias en la incidencia acumulada de casos, como indicador de frecuencia. A continuación, se describe de forma detallada las etapas mencionadas.

### Datos de casos de dengue.

La base de datos de casos de dengue por localidad fue proporcionada por la Dirección General de Epidemiología y el Instituto de Salud del Estado de México, mediante el departamento de enfermedades transmitidas por vectores. Para la zona de estudio se obtuvieron un total de 720 localidades con registro de casos del periodo 2009 al 2015. Los registros se procesaron para obtener únicamente los casos confirmados y acumulados por localidad, para cada uno de los años considerados y llevarlos a una representación espacial.

Gran parte de los estudios epidemiológicos y reportes del estado de salud en las poblaciones son evaluados a través de medidas de frecuencia, es por ello que se optó por aplicar para el caso de enfermedad, la incidencia acumulada y estimar la

probabilidad de que personas no enfermas, desarrollen una enfermedad en un período dado (Ec.1).

$$IA_{ij} = \frac{c_{ij}}{n_{ij}} \times F \tag{Ec. 1}$$

Dónde:

IA: incidencia acumulada

c: número de casos de enfermedad

n: número de población al inicio del periodo

i: entidad espacial

j: edades o grupos de edad

F: factor de multiplicación 10<sup>n</sup>

### Datos de clima.

La generación de las series de variables climáticas (Precipitación, temperatura mínima y máxima) consistió primeramente en la obtención de las bases de datos del sistema computarizado del Servicio Meteorológico Nacional (CLICOM), la base de datos contiene registros históricos de forma diaria, por lo que se calcularon medias móviles mensuales para todas las estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio y para cada año del periodo de estudio (2009-2015).

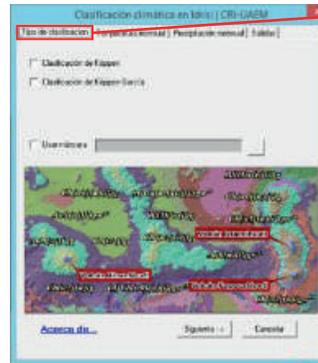
### Generación de superficies climáticas.

Como segunda parte, se generaron las imágenes de superficie a nivel mensual (*raster o matricial*) a una resolución de ~ 200 metros, utilizando el método de interpolación *Spline*, considerado como uno de los mejores métodos, por su capacidad de incluir variables dependientes e independientes, como longitud, latitud y altitud (Cuervo-Robayo et al., 2014), éste interpolador se encuentra automatizado dentro de la plataforma ANUSPLIN en su versión 4.3 (Hutchinson & Xu, 2004), con la finalidad de utilizarlas como insumos en la generación de las clasificaciones climáticas.

### Generación de condiciones climáticas.

Como tercer proceso, se generó la clasificación climática Köppen-García, con el módulo geomático desarrollado en el Centro de Recursos Idrisi (Manzano-Solís et al., 2018), programado dentro de la plataforma TerrSet (Figura 2). Dentro del módulo, se ingresaron las capas interpoladas a nivel mensual de temperatura y precipitación en formato matricial (*\*.rst*), seleccionando el método de clasificación climática adaptado para México (Köppen-García). Como resultado se obtuvo una

colección vectorial (*\*.vct*) con una base de datos (*\*.acmdb*) que contiene la descripción del tipo de las condiciones climáticas para el altiplano central mexicano.



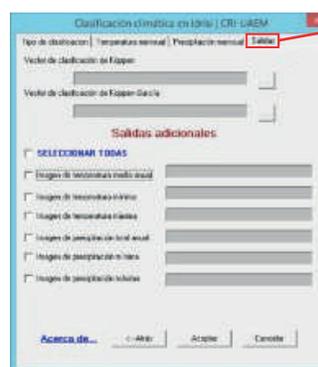
**Pestaña 1:** Se elige el tipo de clasificación climática y el uso de una máscara para datos nulos.



**Pestaña 2:** Se introduce una capa de temperatura media por cada mes del año.



**Pestaña 3:** Se introduce una capa de precipitación por cada mes del año.



**Pestaña 4:** Se da nombre al archivo de salida con la clasificación climática, así como a algunas salidas opcionales.

FIGURA 2. Módulo para la clasificación climática implementada en Terrset (Manzano et al., 2015).

### Asociación de casos con clasificación climática.

Una vez obtenidas las clasificaciones de clima, de forma anual, se procedió a identificar bajo qué condición de térmica y de precipitación predominó la presencia de casos, por lo que se extrajeron los casos acumulados de dengue por condición para facilitar el análisis exploratorio de la distribución de casos versus la condición climática, así como su comportamiento espacio-temporal.

### Resultados y discusión

Como resultados, los casos predominaron en la parte sur, en el Estado de Morelos, Guerrero, Puebla y algunas partes del Estado de México y Michoacán, mostrando que las condiciones que presentan mayor

influencia en los casos, son la temperatura y precipitación, por ello se realizó el análisis con base en estas condiciones, estas variables pueden ser determinantes en el ciclo de vida del mosquito, debido a que en conjunto favorecen el ciclo de vida del agente transmisor y asimismo la actividad de transmisión.

### Condición Térmica.

Como se observa en la Figura 3, en gran parte del Estado de México, predomina un clima templado, que va de la parte centro al norte. Sin embargo, en el sur se identificó un clima cálido (>22 °C), semicálido (cálido) (entre 18 y 22°C) y semicálido (templado) (>18°C), siendo el cálido el de mayor relación con la presencia de casos, debido a que el rango de este tipo de condición favorece todas las etapas de desarrollo

TABLA 1. Casos por condición térmica.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Cálido</b>	129 (47%)	34 (68%)	2 (22%)	120 (50%)	304 (50%)	247 (54%)	209 (34.21%)
<b>Semicálido (cálido)</b>	66 (24%)	1 (2%)	0	0	34 (6%)	134 (29%)	161 (26.35%)
<b>Semicálido (templado)</b>	28 (10%)	3 (6%)	0	26 (11%)	15 (2%)	22 (5%)	11 (1.8%)
<b>Templado</b>	52 (19%)	12 (24%)	4 (44%)	54 (23%)	69 (11%)	58 (13)	207 (33.88%)
<b>Seco semiárido</b>	0	0	3 (33%)	39 (16%)	191 (31%)	0	23 (3.76%)
<b>Total</b>	<b>275</b>	<b>50</b>	<b>9</b>	<b>239</b>	<b>613</b>	<b>461</b>	<b>611</b>

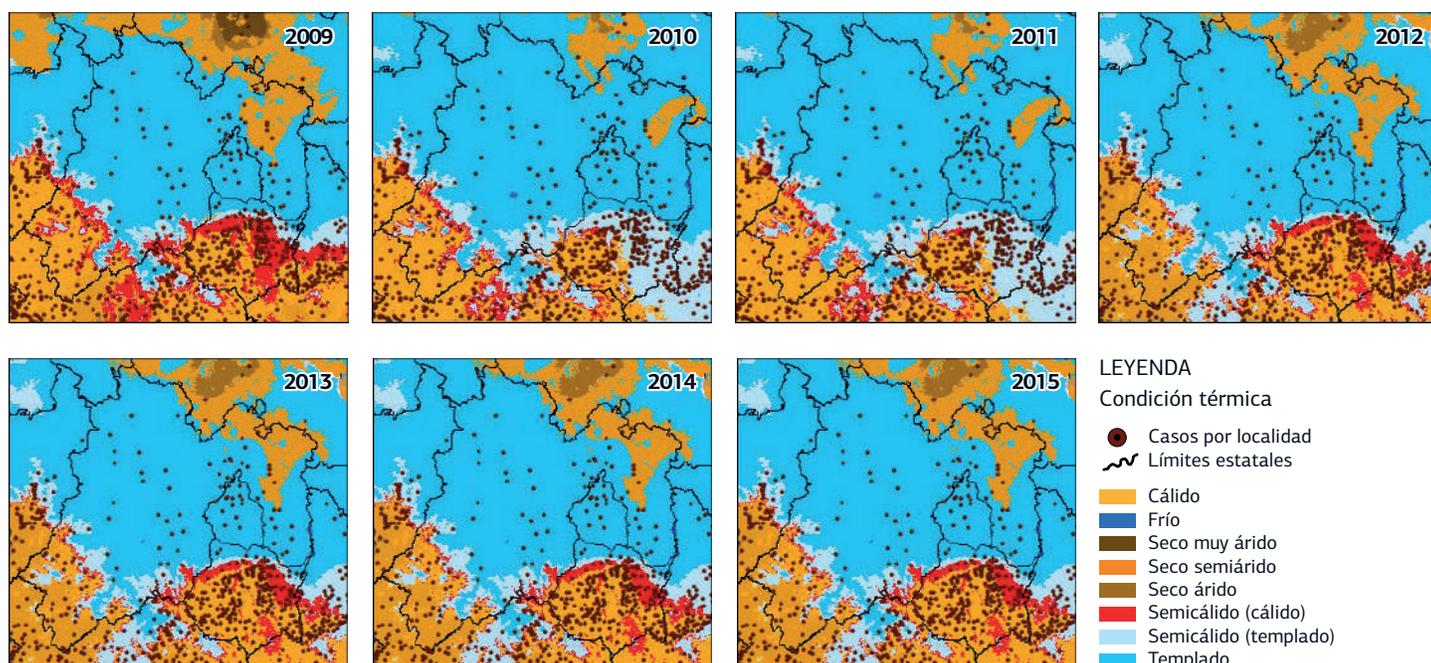


FIGURA 3. Condición térmica por año y casos de dengue por localidad.

del mosquito entre las que se encuentra su alimentación (proceso gonotrófico), es decir, la actividad de transmisión. En cuanto al clima de semicálido (cálido) y semicálido (templado), los rangos térmicos son más bajos que el cálido, por lo que el mosquito sobreviviría, manteniéndose latente a la variación de temperatura. Como ejemplo, estado de Morelos fue la entidad que presentó el mayor número de casos, debido a que como se puede apreciar en la Figura 3, estos tres climas cubren en su totalidad a la entidad.

En la Tabla 1 y Figura 3, el 2009 presentó 129 (47%) casos en la condición cálido, el templado con 52 (19%), semicálido (cálido) con 66 (24%) y semicálido (templado) con 28 (10%). Para el año 2010, se presentan 50 casos en total, coincidiendo en un clima cálido. Sin embargo, para el 2011 los casos disminuyeron a 9, predominando 4 (44%) casos en la condición templado y 3 (33%) casos en el seco semiárido y únicamente 2 (22%) casos en el cálido (Tabla.1).

En el 2013, 304 (50%) de los casos ocurren en la condición cálido, sin embargo, para este año se presenta un cambio, debido a que el clima templado era el segundo elemento de clima en tener el mayor número casos y para este año, 191 (31%) casos ocurren en el seco semiárido, cabe mencionar que en este año se registró el mayor número de casos, en comparación con los años restantes.

Para el 2014, los casos totales disminuyeron con 461, en el que, 247 (54%) de ellos se presentaron en un clima cálido, seguido del semicálido (cálido) con 134 (29.1%), templado con 58 (13%) y semicálido (templado) con 22 (5%) (Tabla 1). En 2015, los casos totales aumentaron con 611, de los cuales 209 (34.21%) se presentaron en un clima cálido, seguido del templado con 207 (33.88%), y semicálido (cálido) con (161) 26.35% (Tabla 1).

### Incidencia acumulada por condición térmica.

Adicionalmente se aplicó una medida de frecuencia como una forma de estimar que cantidad de personas no enfermas, pueden tener una probabilidad de enfermar, ya que la población juega un papel

fundamental en la transmisión, debido a que forma parte del proceso gonotrófico del mosquito, es decir puede volverse portador del virus, por ello se realizó un análisis de las regiones climáticas y su relación con la población, casos e incidencia acumulada por cada 10,000 habitantes, para identificar de manera proporcional, la presencia de casos, ya que puede ser un factor relevante para priorizar áreas vulnerables a la transmisión del dengue. Como se puede observar en la Tabla 2, la mayor incidencia de casos de dengue se presenta en la condición de cálido, semicálido (cálido) y semicálido (templado) por lo tanto, estas regiones pueden considerarse determinantes en la presencia de casos, ya que obtuvieron valores de incidencia de 1029.7, 664.1 y 59.1 casos por cada 10,000 habitantes respectivamente.

De forma general, se puede observar que el clima cálido es una de las condiciones determinantes en la presencia de casos, como se mencionó anteriormente, esto puede ir relacionado a la actividad de transmisión, ya que las condiciones de temperatura pueden considerarse óptimas para el ciclo de vida del mosquito. En contraparte, la condición templada, es de las condiciones con la tasa más baja, aun cuando se observan localidades con casos distribuidos en toda esa región, sin embargo el número de casos es mínimo, lo que lleva a sospechar una presencia de casos importados, dado que no cumple con las condiciones más favorables para el principal agente transmisor.

### Condición de precipitación

En cuanto a la precipitación (Figura 4), la condición de subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal inferior al 5% fue la que predominó en gran parte de la zona de estudio. La condición de precipitación mostró un comportamiento estacional, es decir al aumentar las precipitaciones durante el verano, pueden ocasionar un incremento en la distribución del vector y asimismo la presencia de los casos, debido a que aumentan el estancamiento de agua en depósitos o contenedores,

TABLA 2. Valores totales de condición térmica.

	Seco semiárido	Templado	Semicálido (cálido)	Semicálido (templado)	Cálido	Seco árido	Frío	Seco muy árido
Casos	278	499	404	107	1,153	0	0	0
Población	2,266,753	11,719,821	62,721	180,968	111,977	33,589	0	0
Tasa*10 <sup>5</sup>	12.3	4.3	644.1	59.1	1029.7	0	0	0

favoreciendo tres etapas del ciclo de vida del agente infeccioso (huevecillo, larva y pupa) (Brown, Diuk-Wasser, Guan, Caskey, & Fish, 2008; Yañez-Arenas et al., 2017).

Como se puede observar (Tabla 3) en el año 2009 se presentaron 275 (100%) casos en la condición de subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje invernal al 5%. Para el 2010 presentó una disminución, con 50 casos en comparación con el año anterior, en la que la presencia de casos se asoció a la condición de subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje invernal entre el 5 y 10% y subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal mayor al 10.2%, con 16 (32%) y 34 (68%) casos respectivamente. Para el 2011, los casos disminuyeron donde las condiciones de precipitación cambiaron, presentado 3 (33%) casos en el régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5% y 6 (67%) casos en subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5%.

En 2012, 2013 y 2014, el número de casos en comparación con los años anteriores aumentaron, con 131 (55%), 422 (69%) y 461 (100%) casos respectivamente, bajo una condición de subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5%, (Tabla 3 y Figura 4).

El 2015, fue el año que presentó el mayor número de casos (611), sin embargo mostró una diferencia en comparación con algunos años, donde normalmente se presentaban los casos, ya que para este año, en la condición de subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 y 10.2%, se presentaron 361 (59.08%) casos,

seguido de subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal mayor al 10.2% con 227 (37.15%) casos presentados (Tabla 3 y Figura 4).

Para tener la relación entre la presencia de casos y la condición determinante de precipitación, se optó por generar valores de tasa, debido a que la presencia de casos, mostró un comportamiento variable en cada año para la condición de precipitación.

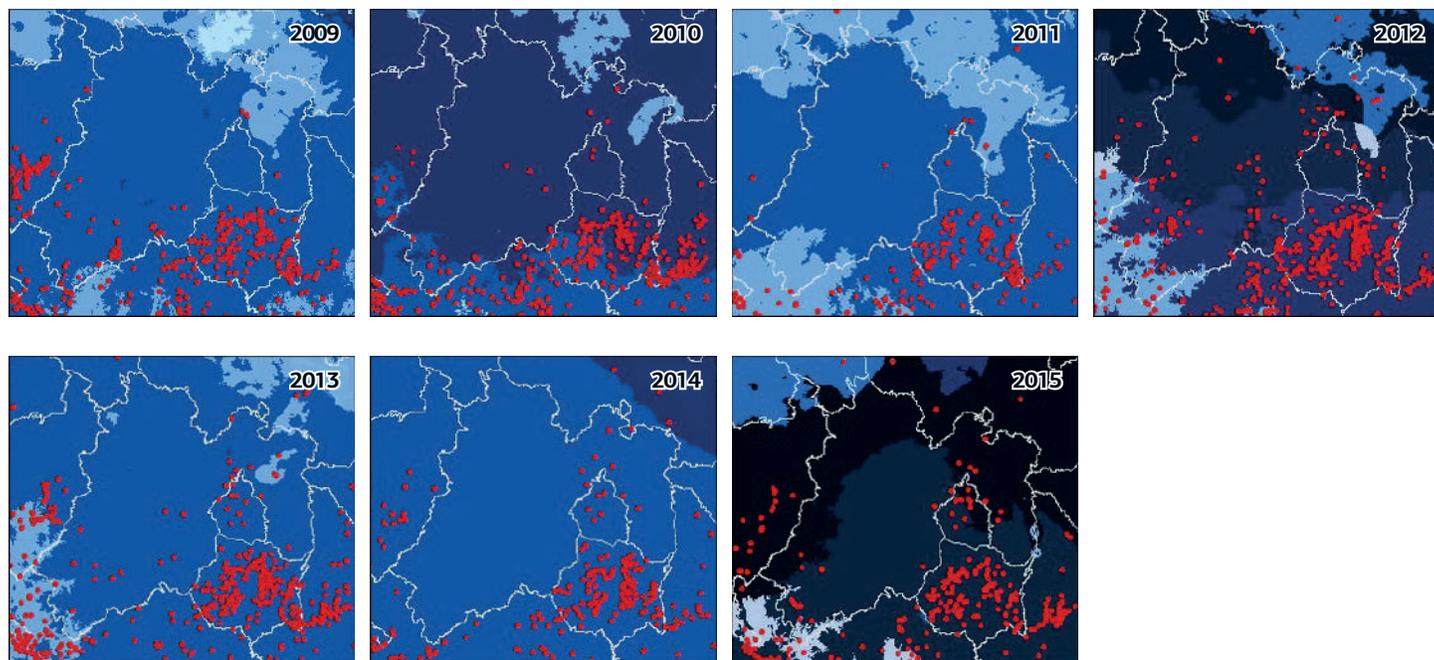
En la Tabla 4, muestra un total de casos, población y tasa del periodo de estudio, dichas características permiten apreciar a manera de resumen, que condiciones de precipitación presentan el mayor número de incidencia. La condición que presentó el mayor valor de incidencia fue el subhúmedo con lluvias de verano y precipitación invernal inferior al 5% con 16.7 casos por cada 100,000 habitantes, seguido de lluvias de verano y precipitación invernal inferior al 5% con 8.4, subhúmedo con lluvias de verano y precipitación invernal entre el 5 y 10.2% con 3.2 y finalmente el subhúmedo con lluvias de verano y precipitación invernal mayor al 10.2% con 0.4.

En un contexto general, la presencia de casos mostró una relación con las condiciones de precipitación de forma estacional, es decir, que durante las lluvias de verano, existe una mayor incidencia de casos, debido a que el agente infeccioso puede mantenerse latente, favoreciendo algunas etapas de desarrollo, debido a que en un ambiente húmedo, el mosquito buscar eclosionar en paredes húmedas, al depositar los huevecillos en esas paredes húmedas (Yañez-Arenas et al., 2017), pueden mantenerse durante meses en desecación, hasta que incrementen las precipitaciones y formen los depósitos de agua,

TABLA 3. Casos por condición de precipitación.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y % de precipitación invernal inferior al 5%	275 (100%)	0	6 (67%)	131 (55%)	422 (69%)	461 (100%)	0
Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y % de precipitación invernal entre el 5 y 10.2%	0	34 (68%)	0	67 (28%)	0	0	361 (59.08%)
Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y % de precipitación invernal mayor al 10.2%	0	16 (32%)	0	2 (1%)	0	0	
Régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5%	0	0	3 (33%)	38 (16%)	191 (31%)	0	0
Régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal mayor al 10.2%	0	0	0	2 (1%)	0	0	0
Régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 y 10.2%	0	0	0	0	0	0	23 (3.76%)
<b>Totales</b>	<b>275</b>	<b>50</b>	<b>9</b>	<b>240</b>	<b>613</b>	<b>461</b>	<b>611</b>

RAYMUNDO ORDÓÑEZ-SIERRA, MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ-ALBORES, CARLOS ALBERTO MASTACHI-LOZA, CARLOS DÍAZ-DELGADO, RICARDO MANZANO-SOLÍS E IMELDA MEDINA-TORRES (pp. 96-105)



LEYENDA

Condición térmica

● Localidades con presencia de casos

~ Límites estatales

Condición de precipitación

- Con régimen de lluvias y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 % y el 10.2 %
- Con régimen de lluvias y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5 %
- Con régimen de lluvias y porcentaje de precipitación invernal mayor al 10.2 %
- Húmedo con lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 % y el 10.2 %
- Subhúmedo con lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5 %
- Subhúmedo con lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 % y el 10.2 %
- Subhúmedo con lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal mayor al 10.2 %

FIGURA 4. Condición de precipitación por año y casos de dengue por localidad.

TABLA 4. Valores totales de condición de precipitación.

	Lluvias de verano y prec. invernal 5-10.2%	Lluvias de verano y prec. invernal < 5%	Subhúmedo con lluvias de verano y prec. invernal > 10.2%	Subhúmedo con lluvias de verano y prec. invernal 5-10.2%	Subhúmedo con lluvias de verano y prec. invernal < 5%	Lluvias de verano y prec. invernal > 10.2%
Casos	26	251	242	476	1,445	1
Población	311,041	3,006,392	14,344,945	8,742,323	8,634,314	677,195
Incidencia*10 <sup>5</sup>	8.4	8.3	1.7	5.4	16.7	0.4

donde en esta etapa el mosquito busca alimentar a sus huevecillos por medio del proceso gonotrófico, lo que ocasiona la actividad de transmisión del virus del dengue (Brown et al., 2008).

Conclusiones

El trabajo realizado muestra la asociación de las condiciones de clima y la presencia de casos de dengue. Las condiciones que presentaron mayor relación con la presencia de casos es la condición de cálido,

semicálido (cálido) y semicálido (templado), por lo que estas condiciones puede ser determinantes para la presencia del vector, donde aquellas áreas que presenten estas características pueden ser vulnerables a la transmisión del dengue, ya que como se pudo observar, los Estados (Morelos, Guerrero y Michoacán) que cuentan con estas condiciones son los que han presentado el mayor registro de casos.

El Estado de Morelos puede considerarse un foco de transmisión del dengue, en el que puede ocasionar un severo problema de transmisión, debido a que

se encuentra cercano a la Ciudad de México, una zona considerada como una de las más grandes aglomeraciones urbanas, debido a su gran cantidad de población y que de acuerdo con el análisis realizado la única limitante para que no pueda extenderse el clima cálido, semicálido (cálido) y semicálido (templado) es la barrera orográfica ubicada entre el norte de Morelos y sur de la Ciudad de México, sin embargo es una zona vulnerable al incremento y presencia de casos.

En cuanto a la condición de precipitación, los casos en gran parte de los años, se presentaron en un clima subhúmedo con lluvias de verano y precipitaciones invernales inferiores al 5%, esta condición mantiene latente el ciclo de vida del mosquito, donde al incrementar las precipitaciones puede ocasionar brotes epidémicos el cual va relacionado a un comportamiento estacional.

Finalmente los resultados muestran un acercamiento a la identificación de las áreas con mayor probabilidad de transmisión, ya que como se ha descrito al inicio de la investigación muchos trabajos mencionan que la variación en la temperatura es un factor determinante en la presencia del agente transmisor, mientras que la precipitación no necesariamente debe tener una variación en su comportamiento para detonar al vector ya que en muchos de los casos este se ve influenciado por comportamiento urbano, es decir propiciado por los humanos, y no necesariamente por cuestiones de índole ambiental, a diferencia de la temperatura, que es un factor que no puede ser controlado y al momento de tener los rangos óptimos para el desarrollo del agente transmisor.

Es importante mencionar que, aunque los casos de dengue se encuentran distribuidos en toda la zona de estudio, la presente investigación logra identificar que gran parte de las incidencias por localidad, sobre todo en los climas templados (menos favorables para el desarrollo del vector) son pocos, lo que hace suponer una presencia de casos importados. Por lo cual este análisis podría apoyar en el reporte clínico, así como en los recursos destinados para llevar cabo muestreos entomológicos eficaces.

Es importante mencionar que los estudios de clima incluyen una temporalidad mínima de 30 años, sin embargo, en este estudio fue relevante conocer los posibles cambios de clima de forma anual y su relación con la presencia de casos. El análisis descriptivo realizado, puede ser una iniciativa en la identificación de áreas probables a la presencia de casos bajo

un enfoque climático, por ello también podría contribuir en el monitoreo de la posible distribución del agente infeccioso y así mismo de la transmisión del virus del dengue.

## REFERENCIAS.

- Brown, H. E., Diuk-Wasser, M. A., Guan, Y., Caskey, S., & Fish, D. (2008). Comparison of three satellite sensors at three spatial scales to predict larval mosquito presence in Connecticut wetlands. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2301-2308. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- Calle, A. I., Marí, R. B., de las Heras, E., Lucientes, J., & Molina, R. (2017). Cambio climático en España y su influencia en las enfermedades de transmisión vectorial. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 70-86.
- Campbell, L. P., Luther, C., Moo-Llanes, D., Ramsey, J. M., Danis-Lozano, R., & Peterson, A. T. (2015). Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 370(1665), 20140135.
- Cassab, A., Morales, V., & Mattar, S. (2010). Factores climáticos y casos de dengue en Montería, Colombia: 2003-2008. *Revista de Salud Pública*, 13(1), 115-128.
- Cuervo-Robayo, A. P., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M. A., Venegas-Barrera, C. S., Manjarrez, J., & Martínez-Meyer, E. (2014). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, 34(7), 2427-2437.
- Delgado, G. C., Gay, C., Imaz, M., & Martínez, M. A. (2010). México frente al cambio climático. Retos y oportunidades.
- García. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México. (4a ed.). Talleres de offset Larios.
- INEGI. (2015). Censo de población y vivienda 2010. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- Lozano-Fuentes, S., Hayden, M. H., Welsh-Rodriguez, C., Ochoa-Martinez, C., Tapia-Santos, B., Kobylinski, K. C., ... Monaghan, A. J. (2012). The dengue virus mosquito vector *Aedes aegypti* at high elevation in Mexico. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 87(5), 902-909.
- Manzano-Solís, L. R., Gómez-Albores, M. A., Díaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C. A., Ordoñez-Sierra, R., Bâ, K. M., & Franco-Plata, R. (2018). Identification of Variations in the Climatic Conditions of the Lerma-Chapala-Santiago

- Watershed by Comparative Analysis of Time Series. *Advances in Meteorology*, 2018.
- McMichael, A. J., & Woodruff, R. E. (2003). *Climate change and human health*. Springer. Recuperado de <http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf>
- Narro, J., & Gómez, H. (1995). El dengue en México: un problema prioritario de salud pública. *Salud Pública de México*, 37(Su1), 12–20.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., & Hanson, C. (2007). Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2007. *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
- Salje, H., Lessler, J., Paul, K. K., Azman, A. S., Rahman, M. W., Rahman, M., ... Cauchemez, S. (2016). How social structures, space, and behaviors shape the spread of infectious diseases using chikungunya as a case study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(47), 13420–13425.
- Sánchez N., & Garduño L. R. (2008). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. *No. 68*, 5–10.
- Santillán, N. S., & Garduño, R. (2008). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. *ContactoS*, 68, 5–10.
- Yañez-Arenas, C., Rioja-Nieto, R., Martín, G. A., Dzul-Manzanilla, F., Chiappa-Carrara, X., Buenfil-Ávila, A., ... Pérez-Rentería, C. (2017). Characterizing environmental suitability of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Mexico based on regional and global niche models. *Journal of medical entomology*, 55(1), 69–77.

@