

Gestión de información sobre riesgo ante desastres hidrometeorológicos en México

Dossier 1

Año 4, Vol. 4, Núm. 8 julio-diciembre 2018 | ISSN 2448-5241

Antrópica

Revista de Ciencias Sociales y Humanidades





Investigación de las relaciones entre variabilidad climática y enfermedades transmitidas por vector en el Estado de Veracruz

Investigation of the relationships between climatic variability and vector-borne diseases in the State of Veracruz

Sayli Sagrario Ybañez Hernández - Jorge Luis Vázquez Aguirre - Oscar Sánchez Martínez

Universidad Veracruzana

Recibido: 14 de mayo de 2018.

Aprobado: 10 de julio de 2018.

Resumen:

En este trabajo se adaptó la información del clima observado para poder analizarlo y compararlo con la información epidemiológica al nivel de las jurisdicciones sanitarias en el estado de Veracruz. Aplicando métodos estadísticos simples se exploró la posible existencia de relaciones entre temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación con las tasas de dengue en el periodo 2006 al 2016.

Aunque se lograron identificar algunas características en la periodicidad y persistencia de la incidencia del dengue, con similitudes a los patrones climáticos, estadísticamente no se encontraron relaciones significativas entre clima y epidemiología en este estudio, debido quizás, a la agregación de los datos epidemiológicos en la escala mensual. No obstante, se identificaron oportunidades para estudios más profundos a partir de datos con mayor resolución.

Palabras clave: Variabilidad Climática, dengue, jurisdicciones sanitarias, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, ONI.

Abstract:

In this work, the observed climate information was adapted to be analyzed and compared with epidemiological information at the level of health jurisdictions, in the state of Veracruz. Applying simple statistical methods, the possible existence of relationships between maximum temperature, minimum temperature and precipitation with dengue rates was explored in the period 2006 to 2016. Although some characteristics were identified about the periodicity and persistence of the incidence of dengue, with similarities to the weather patterns, statistically no significant relationships were found between climate and epidemiology in this study, perhaps due to the aggregation of the epidemiological data on the monthly scale. However, opportunities for deeper studies were identified from data with higher resolution.

Key Words: Climate Variability, Dengue, Sanitary Jurisdictions, Maximum Temperature, Minimum Temperature, Precipitation, ONI.

Trabajo presentado en la 6ta reunión nacional de la Red de desastres asociados a fenómenos Hidrometeorológico y climáticos (REDESClim)

Llevada a cabo en el parque biotecnológico UAQ y Hotel Holiday Inn

Fecha del 5 al 7 de Septiembre de 2018

RED DE ASOCIADOS A FENÓMENOS
HIDROMETEOROLÓGICOS
Y CLIMÁTICOS

DESASTRES

PARQUE BIOTECNOLÓGICO UAQ Y HOTEL HOLIDAY INN 5 FEB.

6^{ta} REUNIÓN NACIONAL
5-7 SEPTIEMBRE
DE 2018

FI FACULTAD
DE INGENIERÍA

CONACYT

REDESClim

ENTRADA
LIBRE



Introducción

Durante los últimos 50 años la actividad humana, en particular, el consumo de combustibles fósiles ha liberado a la atmósfera grandes cantidades de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero suficientes para retener más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alterar el clima mundial (IPCC, 2014; WHO, 2012: 5).

Las proyecciones de cambio climático consideran, en su mayoría, escenarios en el futuro lejano; pero es en la variabilidad del clima presente donde la detección del cambio climático ocurrirá en forma progresiva (IPCC, 2014). Dado que la variabilidad y el cambio climático influyen en el ámbito social y medioambiental de forma determinante, las relaciones del clima con sectores específicos deben identificarse y evaluar sus impactos en sectores como: salud, producción de alimentos y asentamientos humanos, entre otros (Cavazos, 2015).

Con relación a la salud humana, la variabilidad climática puede influir en diversas formas, por ejemplo, en la modificación y aumento de ciertas enfermedades infecciosas, entre las que se destacan las enfermedades transmitidas por mosquitos, también llamados *vectores* (IPCC, 2014). Diversos estudios indican que ciertas condiciones climáticas pueden aumentar la longevidad y la reproducción de algunos vectores, reflejando un aumento en la frecuencia de piquetes y alterando sus rangos de distribución (WHO, 2012: 11).

Para resaltar la importancia de la relación que existe entre la variabilidad climática y los vectores basta mencionar que, en el mundo se registran cada año más de 1000 millones de casos de transmisión y más de 1 millón de defunciones como consecuencia de enfermedades transmitidas por vectores. Tales como: paludismo, chagas, fiebre amarilla y dengue (WHO, 2016). Esta última es el tema principal de esta investigación.

Dado que, la OMS (Organización Mundial de la Salud) ha colocado a México como el quinto lugar de incidencia en dengue de América Latina, esta enfermedad se ha vuelto una prioridad para la salud pública debido a sus efectos sociales y económicos en grandes grupos de población, en los cuales, la adaptación del sector salud ante el cambio climático puede incluir el uso de información sobre el tema para poner en marcha sistemas de alerta temprana para anticipar la aparición de brotes (COFEPRIS, 2012: 34).

Reportes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) revelan que las enfermedades transmitidas por vector, incluyendo el dengue, son extremadamente sensibles a los cambios en la humedad, temperatura (máxima y mínima) y patrones de precipitación, variables que han sido consideradas generalmente en las investigaciones sobre variabilidad y cambio climático y sus impactos en la salud humana (COFEPRIS, 2012: 35).

El dengue ha sido relacionado también con el fenómeno de El Niño. Algunos autores han formulado una hipótesis sobre la temperatura del mar anómalamente elevada que podría estar asociada al aumento en los casos de dengue. Tal como mencionan Gagnon *et al.*, (2001) quienes encontraron un mayor riesgo de brote de epidemias de dengue durante la fase de cálida de ENSO



en Colombia e Indonesia (Hurtado-Díaz *et al.*, 2007: 1333). Así como a la contribución de la epidemia del mosquito *Aedes* que generó un brote de zika en Brasil en el año 2015 (Paz y Semenza, 2016). Para México, Colon-González *et al.*, (2011: 760) encontraron que la tasa de incidencia de dengue es mayor durante los eventos de El Niño.

Marco conceptual

En relación con la salud humana, la variabilidad climática puede influir en diversas formas, por ejemplo, en la modificación y aumento de ciertas enfermedades infecciosas, siendo de las más importantes las enfermedades transmitidas por vectores (WHO, 2012). Reportes de la OMS revelan que estos padecimientos son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura o de los patrones de precipitación y humedad. Se ha documentado que, entre otros factores, la variabilidad climática aumenta la longevidad y la reproducción de algunos insectos (vectores), hecho que se refleja al aumentar la frecuencia de piquetes y también, en la alteración de los rangos de distribución, con el respectivo aumento en la población infectada (WHO, 2012).

Debe notarse que la variabilidad climática se manifiesta a través de cambios en la ocurrencia de los sistemas meteorológicos, los cuales están asociados a factores y moduladores climáticos en distintas escalas, tales como: los monzones, la Zona de Convergencia Intertropical, el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur y la Oscilación del Atlántico Norte, entre otros (Barradas y Tejeda, 2010). Es un hecho que, los cambios en la variabilidad climática se reflejarán en cambios en la magnitud y distribución de sus impactos regionales (IPCC, 2014).

La NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)¹ define los fenómenos de El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría) como un patrón climático del comportamiento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical. Este sistema está acoplado con una oscilación en la presión atmosférica llamada la Oscilación del Sur, por lo que el evento en su conjunto es denominado El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El patrón puede presentarse de forma irregular en periodos de dos a siete años y cada fase desencadena cambios en la temperatura, la precipitación y los vientos. Estas alteraciones interrumpen los movimientos del aire en los trópicos, desencadenando una cascada de efectos secundarios globales en el clima de todo el planeta (NOAA, 2016). Al alterarse el clima global es plausible que la presencia del fenómeno puede impactar en la incidencia de enfermedades como el dengue, aunque esto debe probarse.

Por otra parte, en cuanto a los aspectos relacionados con el dengue, los vectores están definidos como organismos vivos que pueden transmitir enfermedades infecciosas entre personas, o bien, de animales a personas. Muchos de estos son insectos hematófagos que ingieren los microorganismos patógenos junto con la sangre de un portador infectado (persona o animal) y posteriormente los inyectan a un nuevo portador al ingerir su sangre (WHO, 2016).

En el caso específico del dengue, el vector transmisor es el mosquito de la especie *Aedes aegypti*, que está presente en las áreas tropicales o subtropicales, comprendidas entre los 45° de

1 N. del E.: por sus siglas en inglés: National Oceanic and Atmospheric Administration.



latitud norte y 35° de latitud sur, en las isotermas intermedias a los 20° C, mostrando preferencia por los climas entre 15 y 40° C, con niveles de precipitación normales a altos. Las condiciones ideales para su desarrollo y nutrición son temperaturas de 25° a 29° constantes en un periodo de 5 a 7 días, siendo incapaz de resistir temperaturas inferiores a 10°C o superiores a 44 o 46° C (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, s.f.).

La actividad de picadura muestra dos periodos de mayor actividad: uno al amanecer (6:00 a 8:00 hrs.) y antes del anochecer (17:00 a 19:00 hrs.), sin embargo, la alimentación puede estar condicionada a la posibilidad de obtener sangre de los habitantes de las casas, pudiendo modificar su actividad y picar a cualquier hora (Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades, 2014).

Según Riojas *et al.*, (2006) en los últimos años se ha observado en México un aumento de las temperaturas en los estados endémicos de dicha enfermedad en correspondencia con un aumento en la circulación del virus del dengue. Estos autores concluyen que, aunque la temperatura no es la principal causa, sí es un elemento determinante en el desarrollo del dengue en México. También, otros factores, además de la variabilidad climática, que pueden influir en el comportamiento de las enfermedades incluyen aspectos como: aumento en la densidad poblacional, urbanización descontrolada, condiciones de vivienda, insuficiencia de servicios básicos como agua potable, salud y saneamiento (COFEPRIS, 2012).

Debe notarse que la variabilidad climática no es la única o principal causa moduladora de las enfermedades transmitidas por vector, ya que un papel muy importante lo tienen las actividades humanas como el comercio y sus desplazamientos asociados, la urbanización no planificada, la vivienda inadecuada, el mal suministro de agua y los problemas medioambientales; aspectos que contribuyen colectivamente al aumento del riesgo de brotes de enfermedades transmitidas por vector (Lozano-Fuentes *et al.*, 2012).

Sin embargo, pese a no ser el único factor modulador de las enfermedades transmitidas por vector (ETVs), se ha demostrado que las variaciones del clima causarán modificaciones en la incidencia y propagación de las ETVs, siendo los más afectados la población vulnerable (niños, adultos mayores y personas de bajo nivel socioeconómico), aunque el impacto real dependerá de la adaptación de la sociedad y de la toma de decisiones orientadas a reducir las amenazas a la salud (Hurtado-Díaz *et al.*, 2007).

Abordando los diferentes estudios realizados en clima y salud, en la literatura se encuentran diversas metodologías propuestas para el estudio de las relaciones entre clima y salud. En el caso de México, se han realizado varias investigaciones, entre ellas las elaboradas por Riojas *et al.*, (2006, 2007) y Hurtado-Díaz *et al.*, (2007) por mencionar algunas.

Riojas *et al.*, (2006) realizaron los siguientes análisis para México: mediante gráficas de series de tiempo, inferencias estadísticas acerca del futuro de las variables en salud en relación con sucesos climáticos del pasado, mediante correlaciones de Pearson y modelos de regresión de



Poisson estimaron el porcentaje de cambio en los eventos en salud a causa del clima, incluyendo en su análisis las variables de temperatura máxima, mínima, precipitación y temperatura superficial del mar como indicador de ENOS (El Niño-Oscilación del Sur).

Además, Riojas *et al.*, (2007) para establecer la relación entre clima y salud analizaron la variación y estacionalidad de las variables casos semanales de dengue: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y temperatura superficial del mar. Estas investigaciones se realizaron solo para la zona sur de Veracruz con datos epidemiológicos de 1995 al 2007. Posteriormente, para establecer una posible relación entre las variables calcularon coeficientes de correlación entre todas las series, ajustaron modelos binomiales negativos y modelos autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA, por sus siglas en inglés), todo esto utilizando diferentes rezagos de tiempo de los casos de dengue con relación a las variables climáticas.

Hurtado-Díaz *et al.*, (2007), para los municipios de San Andrés Tuxtla y Veracruz de 1995 a 2003 analizaron los casos semanales de dengue, temperatura máxima, mínima, precipitación y temperatura superficial del mar; y para establecer una relación entre dichas variables calcularon coeficientes de correlación cruzada entre las series autorreguladas de dengue y cada una de las variables independientes.

En esta investigación se emplearon los siguientes métodos para establecer una posible relación entre clima y salud: función de correlación para explorar la persistencia temporal en las tasas de dengue, correlación de Pearson en fase y con desfases para explorar las posibles relaciones entre variables climatológicas y dengue y debido a lo corto de las series de tiempo la exploración de una posible relación entre el dengue y ENOS se llevó a cabo mediante análisis gráfico.

Método y técnicas de trabajo

La región geográfica utilizada para para la presente investigación fue el estado de Veracruz, el cual se encuentra ligado fuertemente a la disponibilidad de datos epidemiológicos, por lo que, la exploración de las relaciones estadísticas entre clima y salud se diseñó por unidades geográficas denominadas 'jurisdicciones sanitarias', las cuales son: Pánuco, Tuxpan, Poza Rica, Martínez de la Torre, Xalapa, Córdoba, Orizaba, Veracruz, Cosamaloapan, San Andrés Tuxtla y Coatzacoalcos (figura 1).



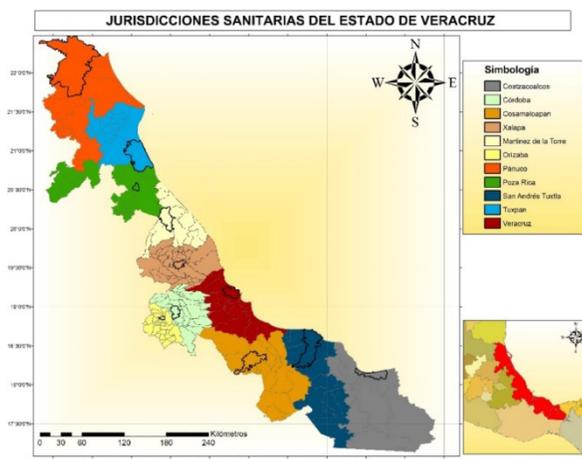


Figura 1. Distribución de las 11 Jurisdicciones Sanitarias sobre el estado de Veracruz en sus respectivas cabeceras, Pánuco, Tuxpan, Poza Rica, Martínez de la Torre, Xalapa, Orizaba, Córdoba, Veracruz, Cosamaloapan, San Andrés Tuxtla y Coatzacoalcos. (Sosa, 2018).

Los datos epidemiológicos de este estudio fueron proporcionados por el departamento de epidemiología de la Secretaría de Salud del Estado de Veracruz, los cuales consisten en tasas mensuales de incidencia de dengue concentrados para cada jurisdicción sanitaria del estado de Veracruz para el periodo 2006 al 2016 a escala mensual, características a las que los datos climáticos fueron adaptados a dicho periodo.

Es oportuno aclarar que la tasa es una de las medidas más utilizadas dentro de los estudios epidemiológicos, la cual de acuerdo con Moreno-Altamirano (2000), define la magnitud del cambio de una variable (enfermedad o muerte) por unidad de cambio de otra (usualmente el tiempo) en relación con el tamaño de la población que se encuentra en riesgo de experimentar el suceso. El cálculo de tasas se realiza dividiendo el total de eventos ocurridos en un periodo dado entre la población.

Cabe mencionar que el registro de casos nuevos de enfermedades llevados a cabo en cada unidad médica, pasan por diversos procesos antes de ser publicados en los boletines de epidemiología a nivel nacional, ya que después de su registro son validados en cada jurisdicción sanitaria. Para el caso específico de las enfermedades con requerimiento de prueba confirmatoria, como es el caso del dengue, estas pueden presentar incertidumbre en cuanto al número real de nuevos casos, pues la información procesada inicialmente en las clínicas puede modificarse una vez transcurrida la validación. Por lo anterior, en los estudios de clima y dengue, es recomendable utilizar la información obtenida directamente de los departamentos de vigilancia epidemiológica en vez de utilizar otros sistemas de registro de datos epidemiológicos (SESVER, 2018).

En cuanto a los datos climatológicos, según Vázquez *et al.*, (2008) para México se encuentran disponibles varias bases de datos, a las cuales en su mayoría aún no se han aplicado procesos de control de calidad, homogeneidad y análisis espaciotemporal para mejorar los datos con fines de investigación. Estas bases de datos incluyen la climatológica nacional del sistema CLICOM,



la base de datos en tiempo real del Sistema de Información Hidrológica, y otras bases de datos de redes individuales de otras instituciones y proyectos de investigación.

La base de datos del clima con carácter oficial en el país es la operada en el SMN (Servicio Meteorológico Nacional) en el sistema CLIMAComputarizado (CLICOM), la cual contiene información registrada a partir de la red nacional de estaciones climatológicas convencionales (Vázquez *et al.*, 2008). Los datos se encuentran disponibles para las variables de precipitación y temperatura máxima y mínima con mediciones diarias, algunos casos disponibles desde 1950 hasta la fecha. Esta base de datos cuenta con periodos faltantes de mediciones que son variables entre los distintos sitios de observación y presentan generalmente un retraso en cuanto a datos actualizados hasta la última agenda, además de datos faltantes y valores sospechosos susceptibles de ser errores de registro.

A partir de la problemática de esta base de datos, que es la que mayor cobertura espacial tiene a escala regional, y que tiene periodos de información faltante, valores extraños, ausencia de control de calidad y falta de actualización variada entre los sitios de medición. Para esto, Sánchez *et al.*, (2017) proponen el uso de los datos a partir de campos en mallas regulares, los cuales fueron sometidas a diversos filtros y análisis de calidad por dichos autores para facilitar su uso y aplicación en estudios que relacionan el clima con los sectores socioeconómicos.

En este estudio se utilizó la desarrollada por Sánchez *et al.*, (2017) presentada en la V Reunión Anual de la Red de Desastres de Origen Hidrometeorológico y Climático (REDESClim), la cual contiene datos diarios, mensuales y anuales de las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para el periodo de 1950 al 2017, a una resolución espacial de ~50 km (0.5° x 0.5 °) con cobertura nacional. La información de esta base de datos corresponde a valores interpolados a malla regular a partir de la información histórica y de la del de CLICOM y del Sistema de Información Hidrológica (SIH), incluyendo algunos criterios de control de calidad y selección de las observaciones de mayor calidad (Sánchez *et al.*, 2017).

Posteriormente se identificaron los puntos de malla dentro cada una de las once jurisdicciones sanitarias (tabla 1) y se integraron series climáticas regionales por jurisdicción, las cuales fueron validadas comparándolas con datos de las estaciones cercanas, obtenidos de la base de datos CLICOM. Este tipo de comparaciones fueron realizadas para el periodo de mayo a octubre, por ser la época del año con mayores variaciones de lluvia y temperatura (Tejeda-Martínez *et al.*, 2005).

Cabe mencionar que, debido a la disponibilidad de los datos epidemiológicos (tasas a escala mensual y por jurisdicción sanitaria) se procedió a conformar una base de información climatológica a partir de los datos disponibles a escala diaria en la malla de Sánchez *et al.*, (2017). Tomando datos de las variables climatológicas (precipitación, temperatura máxima y mínima) de los puntos de malla representativos de cada jurisdicción sanitaria, transformándolos en series regionales mensuales por jurisdicción sanitaria para realizar los análisis estadísticos exploratorios correspondientes de las relaciones entre temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y las tasas de dengue.



Tabla 1. Distribución de los puntos de malla respecto a las 11 jurisdicciones sanitarias de Veracruz.

Jurisdicción sanitaria	Coordenadas del punto de malla
Pánuco	22°00'N 98°00'W, 22°00'N 98°30'W, 21°30'N 98°00'W y 21°30'N 98°30'W
Tuxpan	21°00'N 97°30'W y 21°30'N 97°30'W
Poza Rica	20°30'N 97°30'W y 20°30'N 98°30'W
Martínez de la Torre	20°00'N 97°00'W, 20°30'N 97°00'W y 20°00'N 96°30'W
Xalapa	19°30'N 96°30'W y 19°30'N 97°00'W
Córdoba	19°00'N 97°00'W y 19°00'N 96°30'W
Orizaba	18°30'W 97°00'N
Veracruz	19°00'N 96°00'W
Cosamaloapan	18°00'N 95°30'W, 18°30'N 95°30'W, 18°30'N 95°30'W, 18°30'N 96°00'W y 18°00'N 96°00'W
San Andrés Tuxtla	18°00'N 95°00'W, 18°30'N 95°00'W, 17°30'N 95°00'W y 18°30'N 95°30'W
Coatzacoalcos	18°00'N 94°30'W, 17°30'N 94°30'W, 17°30'N 94°00'W y 18°00'N 94°00'W

Para conformar la serie climática en los casos donde alguna jurisdicción sanitaria contemplara más de un punto de malla se procedió a realizar promedios para las variables de temperatura máxima y temperatura mínima, y precipitación. Una vez realizada la validación con base en la disponibilidad de los datos epidemiológicos (tasas a escala mensual y por jurisdicción sanitaria), se procedió a conformar una base de datos climatológico a partir de los datos disponibles a escala diaria en la malla de Sánchez *et al.*, (2017) y tomando datos de las variables climatológicas (precipitación, temperatura máxima y mínima) de los puntos de malla representativos de cada jurisdicción sanitaria, transformándolos en series regionales mensuales por jurisdicción sanitaria para realizar los análisis estadísticos exploratorios correspondientes de las relaciones entre temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y las tasas de dengue.

Además, para evaluar la relación entre las tasas de dengue y la variabilidad climática interanual, se utilizaron los datos del Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés) mantenido por la NOAA. El ONI es una métrica ampliamente utilizada como indicador de la presencia de El Niño y La Niña. Dichos datos consisten en anomalías basados en un umbral de +/- 0.5 °C de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 (5° N – 5° S, 120° -170° W).



En esta investigación se emplean los siguientes métodos: función de correlación para explorar la persistencia temporal en las tasas de dengue, correlación de Pearson en fase y con desfases para explorar las posibles relaciones entre variables climatológicas y dengue. Debido a lo corto de las series de tiempo, la exploración de una posible relación entre en dengue y ENOS se llevó a cabo mediante un análisis gráfico. Cada uno de estos métodos se describe a continuación.

La autocorrelación, de acuerdo con Wilks (2006), denota la correlación de una variable consigo misma, es decir, indica la correlación de una variable con su propio futuro. En este caso particular se espera que la autocorrelación permita identificar la persistencia temporal en las series mensuales de las tasas de dengue por jurisdicción sanitaria, lo que a su vez permitirá saber si es factible considerar a las variables climáticas como precursores del dengue con una antelación dada.

Posteriormente, se calculó el coeficiente de correlación lineal o coeficiente de correlación de Pearson. La correlación de Pearson, R , limitada en el intervalo cerrado $[-1,1]$, tal que si $R_{xy} = -1$, se tiene una asociación lineal inversa perfecta en las variables x y y ; y viceversa, si $R_{xy} = 1$, se tiene una asociación lineal directa positiva perfecta entre la variable dependiente y la independiente.

Además del análisis de persistencia de las variables mismas y del análisis de correlación lineal entre variables climáticas y de epidemiología, un tercer análisis exploratorio es el correspondiente a los cambios interanuales en las tasas de dengue y algún modulador climático interanual como ENOS.

Sin embargo, los datos epidemiológicos disponibles solo cubren un período de 11 años, por lo que la muestra es muy pequeña, lo cual implica que no se tienen datos suficientes para una correcta aplicación de la mayoría de las técnicas estadísticas propuestas por Riojas *et al.*, (2006). Por lo anterior, la exploración de las posibles influencias del ENOS en el dengue, se llevó a cabo mediante un análisis gráfico visual simple, en el que se comparó la presencia de El Niño y La Niña versus la tasa de dengue por jurisdicción sanitaria. Este tipo de análisis requirió la generación de una base de datos trimestral para cada variable, donde por convención se definieron los siguientes periodos: DEF (diciembre, enero y febrero), MAM (marzo, abril y mayo), JJA (junio, julio y agosto) y SON (septiembre, octubre y noviembre).

Resultados y discusión

Los datos en malla regular desarrollados por Sánchez *et al.*, (2017), se consideraron aptos para generar índices climáticos por jurisdicción sanitaria. La representatividad de estos índices originados a partir de la malla regular, con respecto a las observaciones reales, fue validada con el objeto de estimar su uso como representativos de los datos climáticos de temperatura máxima, mínima y precipitación en cada jurisdicción sanitaria.

El procedimiento para evaluar la representatividad de los datos consistió en ubicar los puntos de malla dentro de cada una de las jurisdicciones sanitarias de Veracruz y, a partir de estos, considerar la serie climática jurisdiccional. Esta serie se generó para el período mayo-octubre, por



ser los meses en los que ocurren las mayores tasas de dengue. Las series climáticas jurisdiccionales fueron entonces comparadas con cada uno de los datos observados en las estaciones climatológicas convencionales, dando una idea de qué tan bien los nodos de la malla representan la lluvia en el área de la jurisdicción. Las figuras 2 a la 4 muestran estas comparaciones. De manera complementaria, se calculó el coeficiente de correlación y se analizó la representatividad en función de la distancia nodo- estación. A continuación para ejemplificar se muestran las gráficas de tres jurisdicciones sanitarias.

Jurisdicción 1. Pánuco

El punto de malla con coordenadas 22°00’N, 98°00’W corresponde a la jurisdicción de Pánuco, en la cual solamente se encontró una estación climatológica. Se pueden observar valores de correlación altos entre el punto de malla y la estación para las tres variables de interés (Figura 2).

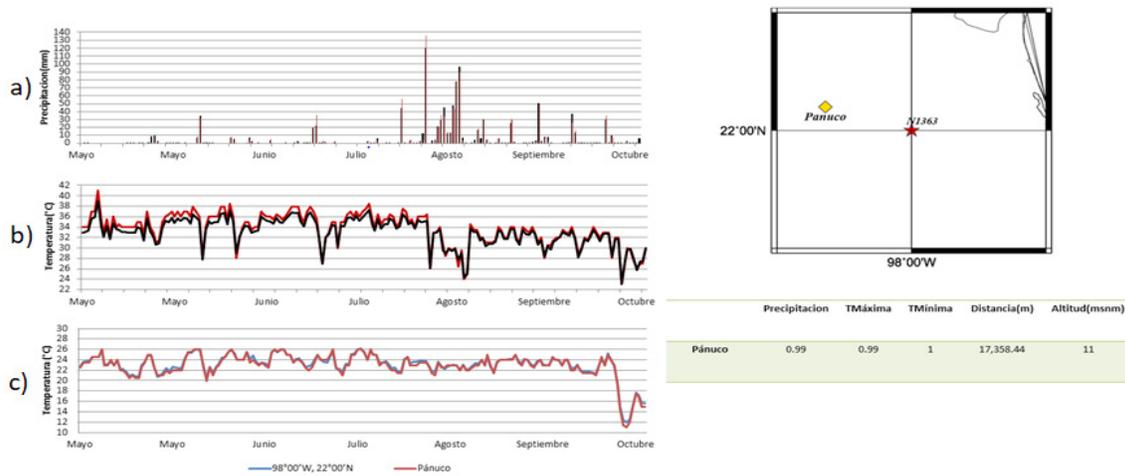


Figura 2. Valoración de los datos de la malla regular con los datos obtenidos de la estación para el punto de malla 98°00’W, 22°00’N de las variables a) precipitación (mm), b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C), tabla con valores de correlación entre dichas variables, así como su ubicación geográfica en el mapa, altitud y distancia al punto de malla para la jurisdicción de Pánuco.

Jurisdicción 2. Tuxpan

Para el punto de malla con coordenadas 21°00’N, 97°30’W correspondiente a la jurisdicción de Tuxpan, no se encontró ninguna estación climatológica con datos disponibles, por lo cual solo se muestran los valores de la malla de las variables precipitación, temperatura máxima y mínima respectivamente para el mismo periodo (Figura 3). Para este caso se asume suficiente representatividad de la malla.



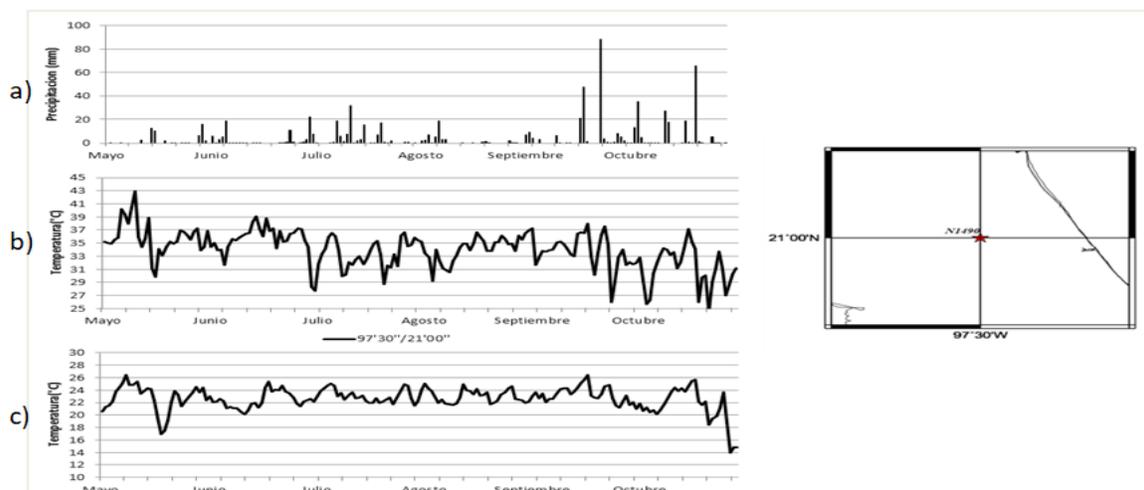


Figura 3. Gráficas de las variables a) precipitación (mm), b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C) del punto de malla para la jurisdicción de Tuxpan.

Jurisdicción 9. Cosamaloapan

En el punto de malla con coordenadas 18°30'N, 95°30'W (Figura 4) correspondiente a la jurisdicción de Cosamaloapan, se comparó con cuatro estaciones respectivamente. Para este caso se puede observar cómo los valores en las correlaciones son altos.

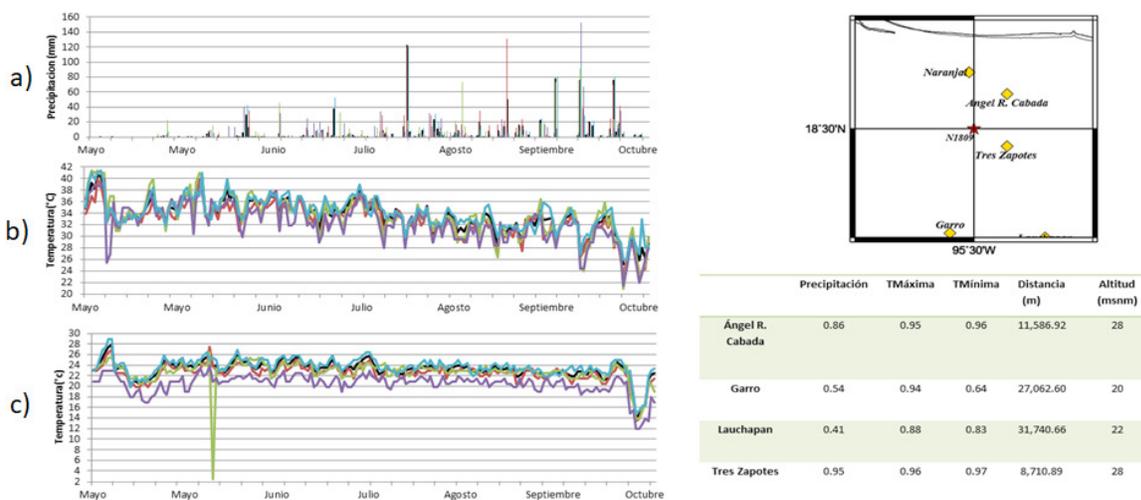


Figura 4. Valoración de los datos de la malla regular con los datos obtenidos de las estaciones para el punto 18°30'N, 95°30'W de las variables a) precipitación (mm), b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C), tabla con valores de correlación entre dichas variables, así como su ubicación geográfica en el mapa, altitud y distancia al punto de malla para la jurisdicción de Cosamaloapan.



Con el fin de identificar la persistencia del dengue en cada jurisdicción sanitaria a lo largo del año, se calculó la función de autocorrelación de las series de tasa de dengue. Las gráficas de la función de autocorrelación permitieron determinar si una vez que ocurre el dengue, este se disipa en forma instantánea, o bien, permanece en tasas similares durante más de un mes. Esto permite, en caso de presentarse lo último, explorar si las variables climáticas pueden ser precursoras para la presencia de esta enfermedad. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de una de las once jurisdicciones sanitarias del estado de Veracruz.

De las gráficas de autocorrelación (figura 5) realizadas a partir de las series jurisdiccionales de las tasas mensuales de dengue (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) se concluye que para todos los casos el tiempo promedio de persistencia de la tasa de dengue es de dos meses, lo que consecuentemente permite explorar las correlaciones de las variables climáticas (como potenciales precursores del dengue) con un desfase (anticipación) de hasta dos meses.

Jurisdicción 1. Pánuco

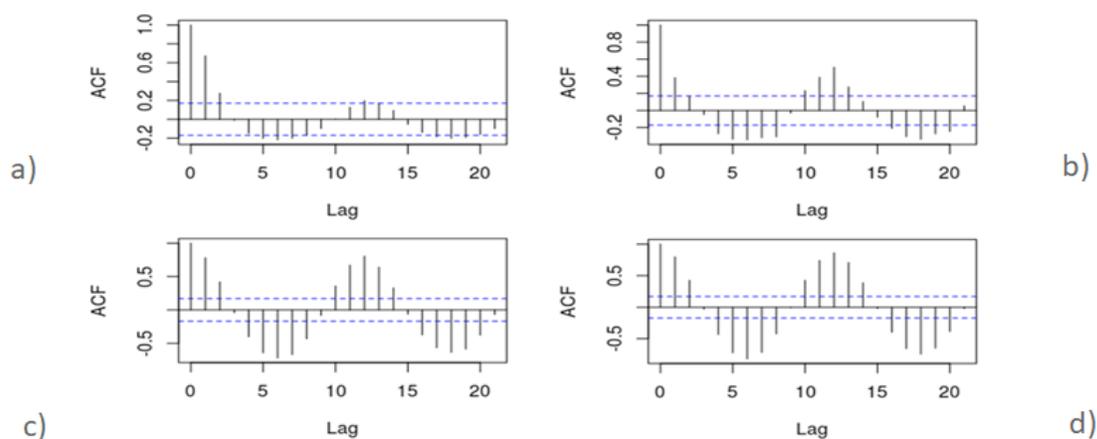


Figura 5. Función de autocorrelación de a) la tasa de dengue, así como de b) precipitación, c) temperatura máxima y d) temperatura mínima en la jurisdicción de Pánuco. La línea azul punteada indica el nivel de correlación de ± 0.2 .

Por otra parte, en las gráficas de autocorrelación se observa y verifica la presencia del ciclo anual en las variables climáticas, específicamente en el caso de la temperatura (máxima y mínima), donde con cada 6 meses de desfase en la autocorrelación se invierte el signo de esta, mostrando la oscilación entre los meses de invierno y verano.

Posteriormente, el análisis exploratorio de una posible relación entre las variables climáticas (independientes) como precursores de las epidemiológicas (dependientes) fue evaluado mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson en fase, con un desfase de uno y dos meses. También, se calcularon las correlaciones entre las tasas de dengue y el Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés).



A continuación se muestran los diez primeros valores de correlación en fase y desfase de las variables precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y ONI (tabla 2 a la 5).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con la variable precipitación.

Lag	Precipitación	Jurisdicción
Desfase de 1 mes	0.5	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.46	Orizaba
Desfase de 1 mes	0.44	Poza Rica
Desfase de 2 meses	0.43	Córdoba
Desfase de 2 meses	0.42	Veracruz
Desfase de 1 mes	0.4	Pánuco
Desfase de 1 mes	0.4	Córdoba
Desfase de 1 mes	0.39	Orizaba
Desfase de 2 meses	0.38	Poza Rica
Sin desfase	0.38	Veracruz

Tabla 3. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con la variable temperatura máxima.

Lag	Temperatura máxima	Jurisdicción
Desfase de 2 meses	0.41	Pánuco
Desfase de 2 meses	0.41	Martínez de la Torre
Desfase de 2 meses	0.41	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.38	Tuxpan
Desfase de 2 meses	0.38	Cosamaloapan
Desfase de 2 meses	0.38	Coatzacoalcos
Desfase de 1 mes	0.37	Martínez de la Torre
Desfase de 1 mes	0.33	Pánuco
Desfase de 1 mes	0.32	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.32	San Andrés Tuxtla

Tabla 4. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con la variable temperatura mínima.

Lag	Temperatura mínima	Jurisdicción
Desfase de 2 meses	0.44	Pánuco
Desfase de 2 meses	0.44	Tuxpan
Desfase de 1 mes	0.43	Pánuco
Desfase de 2 meses	0.42	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.41	Cosamaloapan
Desfase de 1 mes	0.4	Tuxpan
Desfase de 2 meses	0.4	Xalapa
Desfase de 2 meses	0.38	Martínez de la Torre
Desfase de 1 mes	0.38	Cosamaloapan
Desfase de 2 meses	0.38	San Andrés Tuxtla



Tabla 5. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con el Índice Oceánico del Niño (ONI).

Lag	ONI	Jurisdicción
Sin desfase	0.23	Tuxpan
Desfase de 1 mes	0.21	Tuxpan
Desfase de 2 meses	0.18	Tuxpan
Sin desfase	0.18	Poza Rica
Desfase de 1 mes	0.17	Poza Rica
Sin desfase	0.16	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.15	Poza Rica
Desfase de 1 mes	0.14	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.12	Veracruz
Sin desfase	0.12	San Andrés Tuxtla

En las tablas anteriores se observa que mediante la técnica de correlación de Pearson, tanto en fase como hasta dos meses de desfases, no se tiene evidencia suficiente de que existan relaciones robustas entre las variables del clima (precipitación y temperaturas) con las tasas de dengue en las jurisdicciones sanitarias de Veracruz, ya que no se encuentran valores altos de correlación, dando lugar a que las tasas de dengue puedan aumentar o disminuir únicamente en casos específicos.

Debe considerarse que al contar únicamente con 11 años de datos (del periodo 2006 al 2016), las técnicas estadísticas clásicas podrían no ser las más adecuadas para el análisis. Por lo anterior, y debido a los bajos coeficientes de correlación con ENOS, se tomó la decisión de realizar un análisis gráfico simple para comparar la ocurrencia de El Niño o La Niña con las tasas de dengue. Para esta exploración, se procedió a crear una nueva serie de tiempo trimestral de las tasas de dengue, donde se definieron los siguientes periodos correspondientes a los meses: DEF (diciembre, enero y febrero), MAM (marzo, abril y mayo), JJA (junio, julio y agosto) y SON (septiembre, octubre y noviembre), tanto para las variables climáticas como para las tasas de dengue

La siguiente figura muestra el comportamiento de las variables en comparación con las fases del ENOS (El Niño o La Niña) observada en la jurisdicción de Coatzacoalcos.

Jurisdicción 11. Coatzacoalcos

En la jurisdicción de Coatzacoalcos (Figura 6) llaman la atención dos casos de las más altas tasas de dengue en la entidad federativa, pero que ocurren disímilmente en años de La Niña (2007) y de El Niño (2009), seguidos por una alta tasa de dengue en condiciones neutrales (2013). Por lo cual, no es posible inferir una influencia del ENOS en el dengue para tasas agregadas en la escala trimestral.

Figura 6. Gráfica de la serie de tiempo trimestral de tasa de dengue (barras) y ONI (líneas) en la jurisdicción de Coatzacoalcos. La línea indica el valor 0 del ONI y la línea punteada ± 0.5 .



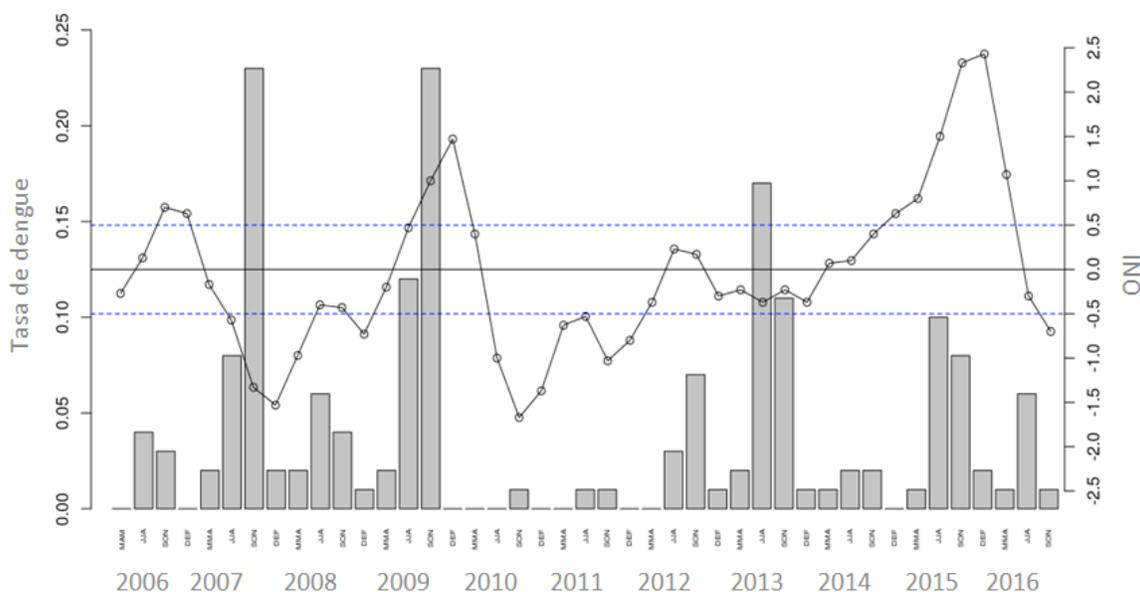
En resumen, el aumento en los casos de dengue coincide con las fases del ENOS en forma aislada, solo durante algunos años de la década analizada, pero no parece haber una relación directa entre la fase de ENOS y las tasas de dengue. Una pregunta abierta, tras este análisis, es la de si con tasas desagregadas a escalas de tiempo más cortas fuese posible encontrar alguna modulación. Adicionalmente, once años es un tiempo muy corto para encontrar una influencia real de ENOS, el cual tiene una periodicidad que va de 2 a 7 años.

Conclusión

A continuación se enlistan las conclusiones obtenidas en este estudio:

Es posible adaptar los datos climáticos disponibles en el estado de Veracruz para construir índices climáticos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima que sean representativos de las jurisdicciones sanitarias. Esta adaptación de la información climática es posible de realizar mediante el uso de datos interpolados a mallas regulares cuya representatividad de los datos observados en estación sea evaluada para cada jurisdicción sanitaria de interés.

Los datos epidemiológicos del dengue se encuentran disponibles a través de la Secretaría de Salud en el estado de Veracruz, expresados en tasas (número de casos por unidad poblacional) a nivel mensual y de jurisdicción sanitaria para el periodo 2006 a 2016. Esta información puede considerarse que está agregada a un nivel muy grueso, por lo que sería deseable contar con información más detallada y preferentemente para más de una sola década.



Las tasas mensuales de dengue en cada una de las jurisdicciones sanitarias de Veracruz, a partir de su función de autocorrelación, muestran una persistencia máxima de dos meses, lo que permite inferir que, en caso de haber precursores climáticos, estos podrían observarse hasta dos meses antes del aumento en las tasas de dengue.



Al analizar las relaciones entre clima y dengue con métodos estadísticos tradicionales (correlación en fase y con desfase) y análisis gráfico, en el nivel de agregación de los datos mensuales por jurisdicción sanitaria, no es posible encontrar ninguna relación robusta entre el dengue y las variables de precipitación y temperatura.

Tampoco se encontró una influencia o modulación discernible entre las diferentes fases de El Niño / Oscilación del Sur y las tasas de dengue a nivel trimestral, ya que la incidencia del dengue puede presentarse indistintamente de la fase de ENOS, al menos durante la década de 2006 a 2016, con base en índices trimestrales.

Se recomienda continuar investigando las posibles relaciones entre clima y salud, preferentemente utilizando datos de dengue en escala semanal para ampliar el tamaño de la muestra y explorar el papel de los eventos meteorológicos extremos. ☯



Referencias

- BARRADAS, A. y A. TEJEDA. (2010). *Variabilidad climática y teleconexiones. Una revisión bibliográfica*. México. Recuperado de <https://docplayer.es/13885909-Variabilidad-climatica-y-teleconexiones-una-revision-bibliografica.html>
- CAVAZOS, T. (2015). *Conviviendo con la naturaleza: El problema de los Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos en México*. Tijuana, México: Ediciones ILCSA, S.A. de C.V.
- CENTRO NACIONAL DE PROGRAMAS PREVENTIVOS Y CONTROL DE ENFERMEDADES (CENAPRECE) (2014). Recuperado de <http://www.cenaprece.salud.gob.mx>
- COMISIÓN FEDERAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS SANITARIOS (COFEPRIS) (2012). *Bases para el desarrollo de indicadores sobre salud y Cambio Climático en México*.
- COLÓN-GONZÁLEZ, F. J., I. R. LAKE y G. BENTHAM (2011). "Climate Variability and Dengue Fever in Warm and Humid Mexico". En: *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. Recuperado de <http://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0609>
- HURTADO-DÍAZ, M., et al. (2007). *Short communication: Impact of climate variability on the incidence of dengue in Mexico*. Recuperado de doi:10.1111/j.1365-3156.2007.01930.x
- IBÁÑEZ-BERNAL, S. y H. GÓMEZ-DANTÉS (1995). *Los Vectores del Dengue en México: Una revisión crítica*. México: Salud pública.
- Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC) (2013).** *Glosario* [Planton, S. (ed.)]. En: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC), 2014:** *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.
- [LOZANO-FUENTES, S., et al. \(2012\). "The Dengue Virus Mosquito Vector *Aedes aegypti* at High Elevation in México". En: *The American Society of The Tropical Medicine and Hygiene*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4269/ajtmh.2012.12-0244>](http://dx.doi.org/10.4269/ajtmh.2012.12-0244)
- [MORENO-ALTAMIRANO, A., S. López-Moreno y A. Corcho-Berdugo \(2000\). *Principales medidas en epidemiología*. México: Salud Pública de México.](http://www.saludpublica.gob.mx/moreno-altamirano)



- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) (2016). *El Niño and La Niña: Frequently asked questions*. Recuperado de <https://www.climate.gov/>
- PAZ, S. y J. Semenza (2016). “El Niño and climate change, contributing factors in the dispersal of Zika virus in the Americas”. En: *The Lancet*. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00256-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00256-7)
- RIOJAS-RODRÍGUEZ, H., et al. (2006). *Estudio diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México*. México: Instituto Nacional de Ecología/ Instituto Nacional de Salud Pública.
- RIOJAS-RODRÍGUEZ, H., et al. (2007). *Estudio Piloto sobre Escenarios de Riesgos en Salud asociados al Cambio Climático en Regiones Seleccionadas de México*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Ecología/ Instituto Nacional de Salud Pública.
- SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, O., et al. (2017). *Generación y actualización de datos climáticos de temperatura y precipitación en una malla regular para el análisis, monitoreo e información histórica-operacional de los desastres hidrometeorológicos en México*. La Paz, México: 5ª Reunión Anual de la Red de Desastres de Origen Hidrometeorológico y Climático, REDESClim, La Paz, B.C.S. México.
- SECRETARIA DE SALUD DEL ESTADO DE VERACRUZ (SESVER) (2018). *Plan de acción estatal para afrontar la vulnerabilidad del sector salud ante el Cambio Climático 2019 – 2020*. Tercera Reunión del grupo de trabajo de Cambio Climático y Salud, Xalapa, Veracruz, México.
- SOSA, O. (2018). *Análisis y aplicación de datos climáticos para un diagnóstico de vulnerabilidad clima-salud en el Estado de Veracruz*. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana, Veracruz, México
- TEJEDA-MARTÍNEZ, ADALBERTO et al. (2005). *El concepto de Temperatura Efectiva aplicado a las tarifas eléctricas domésticas en el oriente de México Investigaciones Geográficas (Mx)*. Núm. 58.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ (UASLP) (s. a.). *Ficha Técnica No.1. Zancudo-Mosquito Aedes aegypti (Linnaeus, 1762)*. Consultado de http://langif.uaslp.mx/documentos/plataformas/Ficha_tecnica_Aedes_aegypti.pdf
- VÁZQUEZ-AGUIRRE, J., M. BRUNET y P. Jones (2008). *Variabilidad natural y detección instrumental del cambio climático*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México.
- WILKS, D.S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Second Edition. Elsevier.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2012). *Global strategy for dengue prevention and control*. Recuperado de <http://www.who.int/denguecontrol>



WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2016). *Vector-borne diseases*. Recuperado de <http://www.who.int/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2016). *Mosquito control: can it stop Zika at source?*. Recuperado de <http://www.who.int/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (s. f.). *Temas de salud. Dengue*. Recuperado de <http://www.who.int/topics/dengue/>

WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) (2015). *Preguntas Frecuentes – Clima*. Consultado en <https://public.wmo.int/>

Contacto:

Sayli Sagrario Ybañez Hernández <Sayli_911@hotmail.com>

