



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía

Toluca de Lerdo, México, a 14 de agosto de 2020.

PERE SUNYER MARTÍN
Coordinador de la Licenciatura en Geografía Humana
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa

PRESENTE

Por medio de este dictamen, tengo a bien comunicarle que he revisado con detenimiento el trabajo final de titulación denominado "**Distribución Geográfica de la malaria en el Sur - Sureste de México con base en la temperatura y precipitación.**", presentado por la alumna **Diana Laura Espinosa Aranda** perteneciente a la licenciatura en Geografía Humana y dirigido por el Dr. Rafael Calderón Contreras.

Es importante mencionar que la investigación presentada por la alumna, representa un esfuerzo importante en el análisis de la malaria en nuestro país. Las bases teórico-metodológicas incluidas en el trabajo final, dan muestra de su formación integral dentro de la Licenciatura en Geografía Humana y generan un aporte significativo en el análisis de temas de salud pública con énfasis en la visión geográfica, respecto a la problemática planteada.

Con base en la revisión realizada y atendidas las observaciones pertinentes, considero que el documento cumple con las exigencias de integración, análisis y síntesis de información de un trabajo terminal para obtener el grado correspondiente a la Licenciatura en Geografía Humana.

Por lo anterior, otorgo una evaluación **APROBATORIA** para que la alumna **Diana Laura Espinosa Aranda** continúe con los trámites requeridos para el proceso de titulación.

Quedo a su disposición para aclaraciones relacionadas a este dictamen.

Sin más, envío saludos cordiales

ATENTAMENTE

M. en C. A. Erika Rivera Martínez



Unidad Espacial
Pluralidad e Innovación
en el Estudio de la Tierra.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Unidad Iztapalapa

División de Ciencia Sociales y Humanidades

Licenciatura en Geografía Humana con eje de concentración ambiental

Distribución Geográfica de la malaria en el Sur - Sureste de México con base en la Temperatura y Precipitación.

Tesina para obtener el grado de
Licenciada en Geografía Humana.

Presenta la estudiante
Diana Laura Espinosa Aranda



Director de Tesis

Rafael Calderón Contreras



Revisora de Tesis

M. en C.A. Erika Rivera Martínez

*Dedicado a mis padres hermanos y esposa
Los amo y amare aún más allá de la muerte.*

Agradecimientos

Quiero comenzar agradeciéndole a Dios por permitirme estudiar en una de las universidades más prestigiosas del país, dotándome de la fuerza de voluntad y capacidades para llegar a titularme, su gracia ha sido suficiente para mí, alumbrando mi vida y haciendo de mí una nueva persona, todo lo que tengo es por él y para él.

En segunda instancia quiero agradecer a mis padres, quienes han sacrificado su valiosa vida, en ellos puedo ver expresado el amor de Dios para conmigo, me han hecho una mujer fuerte y sumamente feliz, el profundo amor que les tengo me impulsa a querer retribuirles lo mucho que me han dado, siempre estaré en deuda así que esto es para ellos.

A mis hermanos Jaque y Jesús por alegrarme mis días, por las risas, las lágrimas, consejos y pláticas, por estar unidos viéndonos crecer y madurar, siempre amándonos hasta en nuestros peores ratos, siempre seremos un equipo incondicional porque el amor de hermanos es para siempre, han sido de lo más valioso en mi vida, a donde quiere que voy los llevo en mi corazón.

A mi esposo, quien siempre me anima cuando digo que no puedo, porque para él puedo lograr lo que sea, nuestro camino juntos apenas empieza y vivo confiada que es y seguirá siendo la compañía perfecta, teniendo al compañero de vida adecuado los obstáculos se vuelven más sencillos y la oscuridad menos profunda.

Quiero agradecerle a Rosa Barragán quien muy amablemente me ayudo cuando tuve problemas técnicos, todos debemos ser solidarios unos con otros, Dios la trajo a mí en un momento de oscuridad y me confirmo que aún hay compañerismo sin esperar nada a cambio.

Por último, agradezco a mi Asesor de tesis, el Doctor Rafael Calderón quien no tuvo que estar sentado a mi lado para confiar que haría bien las cosas, me forzó a dar un paso más allá de lo conocido en el ámbito académico y eso es lo que caracteriza a un buen profesor superarse día con día para ser mejor en lo que hace.

INDICE

Índice de Mapas, Tablas y Graficas	7
Glosario	8
Capítulo 1.0 Aspectos generales del riesgo a malaria en el Sur-Sureste de México por variables climáticas	10
1.1 Introducción	10
1.2 Justificación	13
1.3 Objetivo General	13
1.4 Objetivo Particular.....	14
1.5 Estructura de la tesina	14
Capítulo 2.0 Marco Analítico.....	16
2.1 Introducción	16
2.2 Área de distribución geográfica de una especie	17
2.2.1 Distribución geográfica de la Malaria.....	18
2.3 Relación de la distribución geográfica de la Malaria con la Temperatura.....	19
2.3.1 Cambio en el patrón de distribución geográfica de la malaria por aumento de la temperatura a nivel global.....	21
2.4 Relación de la distribución de la Malaria con el régimen de pluviosidad.....	22
2.5 Conclusiones	24
Capítulo 3.0 Metodología	26

3.1	Introducción.....	26
3.2.	Estudio de la Geografía Ambiental y Medica.....	26
3.2.1	Geografía Ambiental.....	26
3.2.2	Métodos de la geografía ambiental.....	27
3.2.3	Estudio de la Geografía Médica.....	27
3.3	Región Sur-Sureste de México como zona de análisis a escala regional.....	28
3.4	Métodos cuantitativos.....	32
3.4.1	Datos cuantitativos.....	33
3.4.2	Sistemas de Información Geográfica como método de análisis.....	35
3.4.3	Sistemas de información Geográfica en Epidemiología.....	35
3.5	Conclusiones.....	36
	Capítulo 4. Importancia de la malaria en México.....	38
4.1	Introducción.....	38
4.2	Panorama Actual de la malaria en América Latina.....	38
4.2.1	Sanearamiento básico y malaria.....	39
4.2.2	Migración y malaria.....	40
4.3	Historia general de la malaria en México.....	41
	Capítulo 5. Relación de la distribución geográfica de la Malaria con la Temperatura.....	45
5.1	Resultados.....	45

5.2 Cambio climático Global Contemporáneo y su alteración en la precipitación	52
5.3 Conclusiones	59
Capítulo 6. Relación de la distribución geográfica de la Malaria con la Precipitación.....	61
6.1 Resultados	61
6.2 Cambio climático Global Contemporáneo y su alteración en la precipitación	67
6.3 Conclusiones	73
Capítulo 7. Conclusiones generales.....	75
Bibliografía	78

INDICE DE MAPAS, TABLAS y GRAFICAS

Mapa 1.1.....	11
Mapa 3.1.....	29
Mapa 3.2.....	31
Mapa 5.1.....	46
Tabla 5.1.....	48
Gráfica 5.1.....	49
Tabla 5.2.....	51
Mapa 5.2	54
Mapa 5.3	55
Tabla 5.3.....	54
Gráfica 5.2.....	55
Gráfica 5.3.....	57
Mapa 6.1.....	61
Gráfica 6.1.....	63
Tabla 6.1.....	64
Mapa 6.2.....	67
Gráfica 6.2.....	68
Mapa 6.3.....	69

Glosario

SIGLAS

WHO: Organización Mundial de la Salud, por sus siglas en inglés.

OPS: Organización Panamericana de Salud.

OMS: Organización Mundial de la Salud, siglas en español.

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua.

CONABIO: La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

SMN: Servicio Meteorológico Nacional

UNICEF: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

SINAVE: Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica

DGE: Dirección General de Epidemiología

IPCC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático

NOAA: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

OMM: Organización Meteorológica Mundial

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

CCG: Cambio Climático Global

BM: Banco Mundial

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

TERMINOS

Epidemia: Se considera una epidemia cuando una enfermedad infecciosa que se descontrola durante un periodo de tiempo determinado afecta a un número de individuos numeroso de una población. En ocasiones se utiliza como sinónimo de brote epidémico.

Distribución geográfica: El área de distribución se define como la fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa de manera no

efímera con el ecosistema. La presencia o ausencia de éstas en el espacio geográfico está definida por factores biogeográficos, fisiológicos, así como ecológicos.

Análisis cartográfico: consiste en utilizar cartografía temática digital de los diferentes aspectos que conforman el medio físico (vegetación, edafología, climatología, entre otras.) y relacionarlos de tal manera que nos permitan aumentar las posibilidades de planificación y soluciones.

Malaria: Enfermedad infecciosa que se caracteriza por ataques intermitentes de fiebre muy alta y se transmite por la picadura del mosquito anopheles hembra.

Anopheles: es un género de mosquito de la familia *Culicidae* que habita en todo el mundo , se encuentra con mayor intensidad en las zonas templadas, tropicales y subtropicales. Existen 465 especies reconocidas de *Anopheles*, de las cuales 50 pueden transmitir las cuatro especies diferentes de parásitos del género *Plasmodium*.

Plasmodium: Son parásitos intracelulares capaces de multiplicarse en el hombre, en el hepatocito (esquizogonia hepática) y, posteriormente, en el eritrocito (esquizogonia sanguínea) la característica más predominante de la enfermedad es la fiebre, normalmente en accesos periódicos cada 48 horas o cada 72 horas.

Parasito: Un parásito es un organismo que vive sobre un organismo huésped o en su interior y se alimenta a expensas del huésped.

Vector : se le llama vector o vector de transmisión a un mecanismo, generalmente un organismo, que transmite un agente infeccioso o infestante desde los individuos afectados a otros que todavía no son portadores de ese agente.

Meteorología: La meteorología estudia los cambios atmosféricos que se producen a cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones.

Capítulo 1. Aspectos generales del riesgo a malaria en el Sur-Sureste de México por variables climáticas

1.1 Introducción

La malaria es una de las enfermedades infecciosas más importantes del mundo ya que es la más mortal transmitida por mosquitos, ejerce efectos devastadores en la salud y el modo de vida de las personas en todo el mundo. De acuerdo al Informe Mundial sobre Paludismo 2018 emitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que hubo 228 millones de casos de malaria en todo el mundo y 405 000 muertes por malaria. Los niños menores de 5 años son el grupo más vulnerable afectado; en 2018, representaban el 67% (272 000) de todas las muertes por paludismo en el mundo (OMS, 2018). Es transmitida por un parásito llamado *Plasmodium* que se alberga únicamente en los mosquitos del género *Anopheles*, dentro del cual existen aproximadamente 40 especies que lo pueden transmitir. Existen cuatro especies de *Plasmodium*, *Pl. falciparum*, *Pl. vivax*, *Pl. ovale* y *Pl. malariae* (Roncero, 2015).

Actualmente la malaria sigue matando a miles de personas alrededor del mundo y millones se siguen infectando. México se considera de acuerdo a la OMS como un país endémico de la malaria, por lo que todas las entidades federativas tienen riesgo ante esta enfermedad, “se estima que el 33.1% de la población vive en áreas donde puede darse la transmisión de malaria, es decir, alrededor de 34 millones de personas” (Rodríguez et al., 2004: 602). Los focos principales están ubicados en la vertiente del Pacífico donde se delimitan cuatro focos persistentes en el país: dos de ellos al sur-sureste, en Chiapas, frontera con Guatemala y al sur en la costa del estado de Oaxaca y dos más al noroeste del país. En México actualmente el mosquito que transmite la malaria es el *Plasmodium Pl. vivax*. Según la Secretaría de Salud, la transmisión de la malaria se ubica en diez entidades federativas: cuatro del sureste: Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo y Tabasco, y seis del noroeste:

Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora (Secretaria de Salud, 2016).

Mapa 1.1. Distribución Geográfica de la Malaria en México.



Fuente: Centers of Disease Control and Prevention.

Los elementos climáticos a las que responde la distribución geográfica de la malaria son la temperatura y la precipitación. La temperatura mínima para el desarrollo del *Plasmodium vivax* es de 15°C y puede sobrevivir hasta una temperatura máxima de 33 °C, cabe señalar que "... ocurre un acortamiento del periodo de incubación extrínseca a temperaturas entre 20°C y 27°C" (Ramal *et al.*, 2009 :10), además de la temperatura los niveles de precipitación que exceden los 15 mm3 /mes (Brower, 2001) permiten que el ciclo de reproducción del patógeno sea el adecuado para su reproducción y trasmisión. De acuerdo con la OMS, el cambio climático global comienza a ser un problema en el aumento de casos por enfermedades transmitidas por mosquitos, tal como la malaria, entre otras enfermedades que responden al clima. En el estudio realizado en Irán por (Mohammadkhani *et al.*, 2016) , se comprobó que el aumento en la temperatura está incidiendo en una ocurrencia mayor de la malaria, ya que un aumento en la temperatura rompe el equilibrio de

transmisión del vector y su distribución geográfica volviéndolo más resistente y con la capacidad de adaptarse mejor ante tales cambios. (IPCC, 2014). En el estudio realizado por (Devi & Jauhari, 2006) , se descubrió que el aumento de temperatura hace que el plasmidium sobreviva mas tiempo y pueda dispersarse mas facilmente.

En lo que respecta al aumento en los niveles de precipitación y su relación con la malaria, en el estudio realizado por Kim y colaboradores que se hizo en la República de Corea se comprobó que la presencia de humedad durante una semana género que los casos de malaria aumentaran un 10,4% (Kim *et al.*, 2012). Los eventos meteorológicos tales como fuertes lluvias, extremas temperaturas, sequias, huracanes, tormentas eléctricas, etc., se están presentado en el mundo con mayor frecuencia e intensidad debido al cambio climático, por lo que zonas que no eran húmedas hoy lo están siendo, generando las condiciones propicias para la reproducción y maduración de la larva.

En lo que concierne a los estudios realizados de malaria en México, algunos son de corte histórico epidemiológico, donde se aborda la malaria desde sus inicios prehispánicos hasta la actualidad (Blancarte & Cabrera, 1959). Otros estudios abordan la situación de la malaria a nivel nacional y los controles de su erradicación, así como su relación con el clima (Reyes, 2010). Por otro lado, se han hecho estudios que abordan la malaria desde un corte taxonómico (Casas,2004), (Gonzáles & Hernández, 2017). También se han hecho estudios sobre la relación de la malaria y la migración (Reyes *et al.*, 2012). Sin embargo, no se han realizados estudios profundos que hablen de la relación de la malaria y el clima en México. En la presente investigación interesa investigar esa relación existente entre la temperatura y precipitación con la distribución geográfica de la malaria, específicamente en la región Sur-Sureste del país.

1.2 Justificación

Esta investigación se justifica en los pocos estudios realizados respecto a la relación de la temperatura y precipitación en la ocurrencia de malaria en México, pese al auge e importancia que está tomando en el mundo el tema del clima y enfermedades transmitidas por vectores. Una de las razones por las que existen pocos estudios de este tipo en el país puede ser porque la malaria se encuentra controlada en los estados endémicos, gracias a los programas de erradicación y control del vector, por lo que aún no representa una epidemia grave para el país a comparación del Dengue. En Europa estos estudios se han venido realizando desde hace ya algunos años, así como en América Central, del Sur y Estados Unidos, aportando datos contundentes del aumento en la malaria y su expansión a nuevas zonas.

De acuerdo al informe Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático 2020-2030, México es uno de los países que son considerados vulnerables ante el Cambio Climático Global por sus características geográficas (Gobierno de México, 2015), por lo que una investigación respecto al clima y su relación con la distribución de vectores como la malaria aportará información útil, abriendo así el panorama sobre la influencia del clima en los vectores y el papel que está jugando el cambio climático global en su distribución geográfica. En México existe un estudio cartográfico realizado por el Instituto Nacional de Ecología que muestra la relación de temperatura y precipitación con la ocurrencia de malaria en el país, con el fin de conocer los efectos en la salud humana (Instituto Nacional de Ecología, 2006). El presente estudio tiene como objetivo aportar nueva cartografía sobre dicha relación, todo esto con el fin de que se cuente con información que genere alternativas y una capacidad para enfrentar en un futuro próximo las enfermedades transmitidas por vectores.

1.3 Objetivo General

Conocer la relación que existe entre la temperatura y precipitación con la distribución geográfica de la malaria en la región Sur-Sureste de México. Actualmente en el sur-sureste del país existen dos de los cuatro focos principales

de malaria, uno está ubicado al sur-sureste, en Chiapas, frontera con Guatemala y el otro al sur en la costa del estado de Oaxaca. Esta zona presenta altas temperaturas y alta precipitación, condiciones propicias para la reproducción y transmisión de la malaria.

En el siguiente apartado se hace mención de los objetivos particulares de la investigación.

1.4 Objetivos Particulares

- Identificar cuáles son los estados del sur-sureste que presentan un mayor número de casos por malaria y analizar sus registros de temperaturas y régimen de pluviosidad.
- Conocer cómo el cambio climático global está jugando un papel importante en la alteración del clima y dicha alteración en una mayor ocurrencia de malaria.
- Identificar cuáles estados dentro de esta región están libres de malaria y sin embargo presentan las condiciones de temperatura y precipitación para el resurgimiento de un nuevo brote.

1.5 Estructura de la Tesina

La presente investigación está estructurada en 7 capítulos. En el primer capítulo se aborda de manera general la situación en la que se encuentra el mundo ante la malaria y las variables climáticas a las que responde este vector, así como el papel que está jugando el Cambio Climático Global (CCG) en el desequilibrio de la transmisión de la malaria. En el segundo capítulo se presenta el marco analítico, contiene la información teórica de la relación existente de la temperatura y precipitación con la distribución geográfica de la malaria. En el tercer capítulo se presenta la metodología que comanda la investigación, se describe la importancia

de la geografía ambiental y médica en estudios epidemiológicos vistos de manera espacial. Se presenta la región sur-sureste de México como zona de análisis a escala regional, y por último se muestran los métodos cuantitativos en estudios a escala regional y la utilidad de los sistemas de información geográfica (SIG's) en análisis cartográficos.

En el cuarto capítulo se aborda de manera breve una descripción histórica de la malaria en México, así como la situación actual de América Latina frente a esta enfermedad. En el quinto capítulo se presenta el análisis cartográfico de la relación entre la temperatura y la distribución geográfica de la malaria en la zona de análisis, así como la alteración de la temperatura debido al CCG y las conclusiones. En el sexto capítulo se presenta el análisis cartográfico de la relación entre la precipitación y la distribución de la malaria en la zona de estudio, así como la alteración de la precipitación debido al cambio CCG y sus respectivas conclusiones. En el séptimo capítulo se presentan las conclusiones generales de la investigación y la urgencia de iniciar nuevas investigaciones que tomen en cuenta las variables climáticas en la distribución de la malaria no solo en México sino en todo el mundo.

Capítulo 2. Marco Analítico

2.1 Introducción

Como se vio anteriormente, la malaria mata a miles de personas alrededor del mundo, anualmente, se produce un estimado de 584.000 muertes y conduce a más de 198 millones de casos a nivel mundial (World Health, 2014). Vectores como la malaria tiene un claro carácter territorial ya que su distribución geográfica obedece a ciertos factores ambientales como la temperatura y el régimen de precipitaciones, dichas variables que se presentan en zonas ya sea de forma separada o en conjunto generan lugares propicios para que exista la malaria (Herrera, 2003). Lo antes mencionado muestra que las enfermedades transmitidas por vectores presentan una serie de complejas interacciones entre ecosistema, clima y sociedad. En este apartado se analizan las posturas teóricas que ayudaran a entender de una manera más clara la relación que existen entre la temperatura, y el régimen de pluviosidad en la distribución geográfica de la Malaria o Paludismo.

El apartado comprende tres secciones: en la primera se aborda el tema áreas de distribución de una especie para posteriormente abordar la definición central de la investigación que es la distribución geográfica de la malaria. En la segunda parte se presenta una marcada relación entre la distribución geográfica de la malaria y el aumento de la temperatura, y por último la relación con el régimen de pluviosidad. Se aborda además en cada sección que la presencia de algunas de estas variables en ciertas zonas genera un riesgo potencial de contraer Malaria.

Por último, se presentan las conclusiones referentes a este apartado, enfatizando en la importancia de los conceptos claves para el desarrollo de la investigación.

2.2 Área de distribución geográfica de una especie

En este apartado se abordará el concepto de área de distribución para entender a qué se refiere cuando se habla de distribución geográfica de la malaria, concepto central de la investigación.

“El área de distribución es el área habitada por una especie donde las poblaciones de una especie han sido observadas y registradas. Puede caracterizarse en términos de su tamaño, su ubicación geográfica y su continuidad” (López & Arenas, 2009). En una determinada área geográfica, estas localidades se representan como puntos en un mapa. Una vez establecidos todos los puntos, es posible delinear un polígono con aquellos que se encuentran en los límites “exteriores” del conjunto de localidades, delimitando así su área de distribución (Lomolino & Brown, 2004). “El área de distribución de las especies es aquella fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema” (Zunino & Zullini, 2003). El concepto involucra no sólo el lugar, sino también la forma en como la especie se presenta, es decir, “de manera no efímera con el ecosistema”. Ahora bien, existen barreras naturales las cuales determinan la distribución de los animales, mosquitos, bacterias, etc.

En cuanto a su naturaleza, dichas barreras pueden ser físicas y climáticas (temperatura, humedad), topográficas (cuerpos hídricos, cordilleras, valles) o biológicas (competidores, falta de elementos tróficos) (Zunino & Zullini, 2003). Entonces, el área de distribución de cada especie se restringe dada su tolerancia ambiental, producto de distintos procesos evolutivos que han moldeado a los organismos y que, en consecuencia, han determinado su presencia a ciertos espacios (Wiens & Graham, 2005). Por otro lado, cuando una población experimenta tasas de natalidad e inmigración mayores a las tasas de mortalidad y emigración, se espera un incremento poblacional que puede traducirse en un aumento en el área de distribución, ya que hay un excedente de población que puede colonizar más áreas. Sin embargo, la magnitud del incremento depende de otra condicionante intrínseca: la capacidad de dispersión (Gaston, 1996). Algunas

especies necesitan vectores para dispersarse (Okubo & Levin, 19989) otras utilizan sus propios medios para hacerlo (Beehler & Pruett, 1983) siempre en relación con la talla de los individuos, así como con el medio que utilizan para desplazarse (agua, viento o tierra), generando un potencial de dispersión diferencial (Lester *et al.*, 2007).

A continuación, se aborda el área de distribución geográfica de la Malaria, concepto central de la investigación.

2.2.1 Distribución geográfica de la Malaria

Actualmente la distribución geográfica de la malaria se limita a zonas en las que el clima es templado y húmedo, situadas entre los trópicos de Cáncer y Capricornio (paralelos 20 latitud Norte y Sur) sin embargo hay algunas zonas situadas en estos puntos que no presentan casos de malaria tal es el caso del norte de Australia, de Venezuela, de Pakistán y Afganistán (Gómez, 2017). En el pasado existen registros de malaria en zonas tan distantes como en el paralelo 64 latitud norte y 32 latitud sur, en alturas desde los 400 y los 2,800 metros sobre el nivel del mar (WHO, 2004). La distribución y transmisión de la malaria está relacionada con factores ambientales, físicos y biológicos. Los factores ambientales incluyen temperatura, lluvia, humedad (Devi N. P & Jauhari RK., 2006) afectan la incidencia de la malaria, ya sea a través de cambios en la duración de los ciclos de vida de los mosquitos y parásitos o influencias en el comportamiento humano, vectorial o parasitario (Gumber *et al.*, 2004).

La malaria se produce en más de 100 países endémicos (Mokuolu *et al.*, 2017). De acuerdo a la OMS:

Más del 40% de la población mundial está en riesgo, en su mayor parte, se concentran en África (excepto en sus regiones más al norte y al sur), Asia, América Central y del Sur (excluidas sus latitudes más meridionales), Haití, República Dominicana, Asia del Sur (desde el Oriente Medio hasta sus regiones más

orientales), el Sudeste de Asia, Medio Oriente y algunas islas de Oceanía” se consideran zonas de riesgo de malaria (OMS, 2017)

Los países endémicos de malaria han sido agrupados en 4 regiones, África, América, Asia-Pacífico, Oriente Medio y Eurasia (Roll Back Malaria Partnership, 2017), pero es la región del Mediterráneo Oriental la que incluye el 60% de la población mundial de la malaria (Mohammadi *et al.*, 2011). Las características climáticas entre estas zonas son similares, pues tienen climas templados, tropicales, tropicales húmedos y subtropicales, climas en los que habita la malaria. El mosquito *Anopheles* en América Latina se ha registrado en alturas que va desde los 500 hasta los 3600 msnm (Aristides, 1937). Se ha estudiado que a estas alturas se presentan las condiciones climáticas, ambientales y epidemiológicas que favorecen la aparición de la enfermedad. Sin embargo este parámetro ya no representa una barrera para la malaria pues ha sido rebasada, el cambio climático global ha generado que el mosquito pueda habitar zonas más altas, ya que estas están presentando temperaturas más cálidas (Morelle, 2014).

En el siguiente apartado se abordará la relación que tiene la temperatura con la distribución geográfica de la malaria.

2.3 Relación de la distribución geográfica de la Malaria con la Temperatura

La teoría que sostiene que la distribución geográfica de la malaria tiene una estrecha relación con la temperatura ha sido sustentada en múltiples estudios científicos, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en diferentes partes del mundo donde se ha presentado dicha enfermedad. En el análisis realizado por Parham & Michel (2010) “ Se identificó una ventana de temperatura clara dentro de la cual la tasa de propagación de la malaria es significativamente mayor alrededor de 32-33 ° C para *Plasmodium falciparum* y *Plasmodium vivax*” (p. 620). Los efectos de la temperatura, al afectar en múltiples partes del ciclo de vida del patógeno, tienen una

relación más compleja con la transmisión y una mayor influencia en la tasa de propagación de la enfermedad.

En un estudio que se hizo al sur-este de Irán, tanto en el análisis multivariado como uni-variado mediante el aumento de la temperatura media, mínima y máxima, la tasa de incidencia de malaria aumenta significativamente. También el aumento de la temperatura máxima en un mes definido tuvo un efecto positivo (Mohammadkhani *et al.*, 2016). Esta relación entre la temperatura y la malaria ha sido estudiada en variados casos de estudio de las regiones tropicales y semi-tropicales del mundo y los resultados fueron consistentes. Así mismo en el estudio realizado por (Wangdi *et al.*, 2010) en las regiones endémicas de Bhután, la media de la temperatura máxima con un mes de retraso fue un positivo y fuerte predictor de la incidencia de la malaria. En un estudio realizado en una región templada de China, la temperatura máxima y mínima tuvo la mayor relación positiva con la incidencia mensual y esta relación fue también observada con un retraso de un mes y un aumento de 1°C en la temperatura mínima que resultó en un incremento de 12 a 16% en la incidencia de la malaria en dicha región (Ying & Peng, 2010). En el estudio realizado en la ciudad de Motou, en el Tíbet, se observó la máxima correlación cruzada positiva entre la incidencia de la malaria y media de temperatura y máximo y mínimo de temperatura con un mes de retraso (Ying & Peng, 2011).

En otro estudio realizado por Kim y colaboradores en Corea se utilizaron parámetros semanales para estimar la relación entre la incidencia de la malaria y datos meteorológicos. Este estudio mostró que la incidencia de malaria tenía una relación positiva con la media, la temperatura mínima y un aumento de 1 ° C en la temperatura se asoció con un aumento de 17,7% y 16,1% en la incidencia de la malaria después de 3 semanas y en la misma semana respectivamente (Kim. *et al.*, 2013). El aumento de la temperatura en algunas regiones aumenta la supervivencia de los plasmodios y anofeles en invierno y por lo tanto los resultados en la transmisión y distribución más rápidas de la malaria en las poblaciones (Devi & Jauhari, 2006). La temperatura está entre los parámetros climáticos efectivos en la

incidencia de la malaria que debe ser considerado en la planificación para el control y la prevención de la enfermedad (Mohammadkhani *et al.*, 2016).

En la siguiente sección se aborda el efecto que tiene el aumento de la temperatura a nivel global en el cambio del patrón de distribución geográfica de la malaria.

2.3.1 Cambio en el patrón de distribución geográfica de la malaria por aumento de la temperatura a nivel global

Actualmente las enfermedades transmitidas por vectores, están cambiando tanto su frecuencia como distribución hacia áreas periurbanas y no endémicas, entre los factores que han provocado esto nos encontramos con el aumento de la temperatura a nivel global. El incremento de la temperatura ha sido distinto alrededor del mundo. Con respecto a la temperatura terrestre, "... entre 1983 y 2012 ocurrió el periodo más cálido de los últimos 1 400 años, el cual ha generado un aumento en la frecuencia de ondas de calor en Europa, Asia y Australia" (IPCC, 2013:10)

El aumento de la temperatura por el cambio climático contemporáneo expande la malaria a tierras más altas, según un estudio de casos en Etiopía y Colombia realizado por científicos de las universidades de Denver (UD) y Michigan (UM), entre otras (El Universal, 2014). Las tierras altas de las regiones tropicales han proporcionado, históricamente, una protección contra el parásito *Plasmodium* que causa la enfermedad, porque su ciclo de reproducción se hace más lento a mayor frío, sin embargo con el aumento de las temperaturas, el patrón del paludismo, está cambiando (El Universal, 2014). En la región Debre Zeit, de Etiopía, en elevaciones mayores a los 2000 metros, se podrían presentar casos de contagio por malaria ya que las temperaturas están siendo más cálidas.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en Inglés, Intergovernmental Panel on Climate Change), conformados por científicos de varias partes del mundo, indican que "en los últimos 100 años la temperatura del aire

superficial aumentó en promedio 0.6° Celsius (1.1°F) en su mayor medida causado por el efecto invernadero” (IPCC, 2014). En el caso de los vectores un aumento en la temperatura rompe el equilibrio de transmisión, y su distribución geográfica volviéndolo más resistente y con la capacidad de adaptarse mejor ante tales cambios (IPCC, 2014). El calentamiento global modificará la distribución de la fauna y flora del planeta. Ello conllevará la extensión de enfermedades de las que algunos de estos animales son portadores. Tal es el caso de la malaria, el dengue o la fiebre amarilla (Gutman, 2009).

En el siguiente apartado se mostrará la relación del régimen de pluviosidad y la distribución geográfica del paludismo.

2.4 Relación de la distribución de la Malaria con el régimen de pluviosidad

Algunas teorías afirman que: “Una Tierra más húmeda puede resultar en un aumento de incidencia de enfermedades sin precedentes” (Urdaz, 2016: 4). Se ha comprobado que el aumento de la temperatura representa un incremento en los procesos meteorológicos extremos (huracanes, granizo, heladas, sequías, ciclones)¹. Algunos de estos eventos meteorológicos provocan una mayor humedad en lugares donde ocurren, potenciando las condiciones ambientales que se necesitan para la reproducción del mosquito, además comienza a darse una modificación en la distribución del mismo, ya que en zonas donde no había humedad suficiente comienza haberla provocando que los mosquitos se diseminen hacia estas zonas.

Las tasas de transmisión de la malaria pueden variar en función de factores locales como las precipitaciones ya que los mosquitos se crían en condiciones húmedas (AIM, 2016). En un estudio que se hizo en la República de Corea se comprobó que

¹ Domínguez, J. (2002). Las enfermedades transmitidas por vector en México. Revista de la Facultad de Medicina UNAM. Extraído de <http://www.ejournal.unam.mx/rfm/no45-3/RFM45307.pdf>

la presencia de humedad durante una semana género que los casos de malaria aumentaran un 10,4% (Kim *et al.*, 2012). En el estudio de (Gao *et al.*, 2012) en la provincia de Anhui, las lluvias en China ($r_s = 0,48$) tuvieron la mayor relación con la incidencia de la malaria. El paludismo es una enfermedad reemergente en esta provincia y la lluvia es conocida como un factor meteorológico importante en el resurgimiento de esta enfermedad en la región. En este estudio, además del efecto de las precipitaciones del mismo mes en la transmisión de la malaria, los dos meses anteriores también influyeron en la incidencia de la malaria (Gao *et al.*, 2012). Los datos analizados de un estudio que se hizo en Bostwana muestran que los años en los que ha habido las tasas más bajas de malaria coinciden con la época en la que se han producido menos precipitaciones. La probabilidad obtenida con el sistema DEMETER sobre el pronóstico de lluvias puede transformarse en una probabilidad de la incidencia de malaria (López, 2006). Por otro lado los resultados de estudios que se hicieron en Tanzania muestran la fuerte dependencia de la abundancia del vector en la precipitación (Parham & Michael, 2010). Los cambios en los patrones de precipitación en particular gobiernan fuertemente la endemidad, la invasión y la extinción del paludismo (Parham & Michael, 2010). También se han considerado patrones cambiantes de incidencia de la malaria debido a condiciones ambientales cambiantes en escalas de tiempo más largas, por ejemplo, los efectos de El Niño-Oscilación Austral (Bouma & van der Kaay, 1996)

El estudio que se llevó a cabo en Jodhpur muestra que la tendencia anual de los casos de malaria aumentó gradualmente durante la temporada de lluvias (Lingala, 2017). Los resultados obtenidos del estudio hecho en Rajasthan revelan que la lluvia es un factor climático predominante en la transmisión de la malaria. La lluvia no sólo permite la reproducción de los vectores, sino que también modifica la temperatura, lo que resulta en el aumento de la humedad relativa (Lingala, 2017). El análisis de correlaciones cruzadas que se hizo en las tierras altas de África muestra que la precipitación mensual y la temperatura máxima y mínima se correlacionaron significativamente con las incidencias mensuales de malaria con un lapso de tiempo

de 1-2 meses y 2-5 meses, respectivamente (Guofa *et al.*, 2004). Así mismo Warrell & Gilles (2002) explican:

“La función de supervivencia de los mosquitos adultos con temperatura se basa aquí en Martens (1998), suponiendo una humedad constante del 70-80%, sin embargo, sabemos que la longevidad de los mosquitos Anopheles es menor en humedades <50%.” (p. 80).

Esto muestra que es importante comprender no sólo qué variables ambientales impulsan la transmisión, sino también cómo interactúan estas variables (Warrell & Gilles , 2002). Por último y de manera general se presentan las conclusiones de los conceptos claves de la investigación.

2.5 Conclusiones

Los conceptos presentados en el marco analítico tienen como objetivo mostrar la compleja relación que existe entre la distribución geográfica de la malaria y la temperatura, el régimen de precipitación, para determinar cuáles son las zonas que con base en estas variables climáticas y sociales tienen un riesgo potencial de presentar casos de malaria. El paludismo se puede presentar en regiones con una sola de estas variables o bien con las tres, sin embargo, el conjunto de ellas genera un riesgo aun mayor del que tendría alguna zona o región con solo una de las variables. La malaria se presenta como una enfermedad peligrosa a nivel mundial de ahí la importancia de entender a qué factores climáticos y sociales obedece su distribución. Como se abordó en el marco teórico la temperatura influye directamente en la distribución de ella, además como consecuencia del cambio en el aumento de la temperatura a nivel global, el patrón de distribución geográfica de la malaria está cambiando por lo que países o estados en los que no se consideraba un aumento en el brote de la malaria o bien no existía la enfermedad pueden estar en riesgo de, por un lado presentar una mayor distribución geográfica de la malaria o bien presentar los primeros casos de ella.

Por ultimo en lo que respecta a la humedad y su relación con la malaria , los eventos meteorológicos cada vez más frecuentes están propiciando que haya más humedad tanto en zonas donde es endémica la malaria pero también de zonas que no habían presentado dicha enfermedad, la humedad es una condición climática en la que la malaria se reproduce, por lo que lugares húmedos tiene un riesgo potencial de desarrollar la enfermedad, las zonas que de por si son húmedas lo serán más si se presentan eventos meteorológicos contantemente, lo que se traducirá en la expansión de distribución geográfica de la malaria dentro de dicha zona. Ahora bien, es importante tener en cuenta que un aumento en la temperatura genera que a su vez haya un aumento en la precipitación generando mayor humedad por lo que ambas variables, temperatura y humedad van acompañadas.

En el siguiente capítulo se abordará la estrategia metodológica que comanda la investigación.

Capítulo 3. Metodología

3.1 Introducción

En este capítulo se presenta la metodología que guía la investigación. La utilización y aplicación de esta metodología tuvo como objetivo, la obtención de datos e información necesaria para el desarrollo de cada uno de los capítulos de la investigación. Dada la naturaleza de la investigación el método que se utilizó fue el método cuantitativo porque se hizo uso de fuentes secundarias² (estadísticas y la utilización del SIG) para el análisis a escala regional. El presente capítulo está estructurado de la siguiente manera: En el apartado 3.2 se aborda de manera general la utilidad que tienen los estudios y métodos de la geografía ambiental y médica en temas epidemiológicos como lo es la distribución geográfica de la malaria. En el apartado 3.3 se abordan los métodos cuantitativos de los que se hizo uso para el análisis de información, así como el análisis cartográfico de la zona a escala regional. Y por último se presentan las conclusiones del capítulo.

A continuación, se exponen los estudios de la geografía ambiental y médica.

3.2 Estudio de la Geografía Ambiental y Médica

3.2.1 Geografía Ambiental

La Geografía Ambiental, estudia las relaciones espaciales para describir y entender el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente. En este contexto, abordar que la relación entre espacio y ambiente queda establecida porque los procesos sociales y naturales ocurren en sitios o lugares específicos (Bocco & Urquijo, 2013).

A continuación, se presentan los métodos de la geografía ambiental.

² Las fuentes secundarias permiten conocer hechos o fenómenos a partir de documentos o datos recopilados por otros.

3.2.2 Métodos de la geografía ambiental.

La geografía ambiental tiene un enfoque metodológico holístico, que permite identificar los tres componentes del ambiente: naturales, culturales y socioeconómicos, lo cuales se analizan por medio de indicadores y variables espacio-temporales (Ramírez *et al.*, 2014). Abordando problemáticas tanto sociales como naturales con un referente espacial (con una dimensión de análisis a escala local, regional y nacional). En el caso de la investigación el método holístico de la geografía ambiental ayuda a vincular las variables ambientales y sociales (en un tiempo y con un referente espacial) que tiene una relación con la distribución geográfica de la malaria, pero también ayudando a entender cómo las actividades del ser humano afectan al clima ocasionando un cambio climático global y cómo este a su vez altera el comportamiento de vectores (cuya distribución obedece a factores ambientales) tales como la malaria que representa un problema de salud mundial cada vez más agudo. Por otro lado, la vinculación ambiental con la social, permite estudiar aquellos factores sociales que inciden de manera directa o bien indirecta en eventos epidemiológicos.

A continuación, se presenta el estudio de la geografía Médica.

3.2.3 Estudio de la Geografía Médica.

Max Sorre planteo que la geografía médica tiene un enfoque ecológico, espacial y social. El enfoque ecológico sostuvo que la geografía médica debe abordar el estudio de las áreas de incidencia de los complejos patógenos, de sus movimientos de avance y retroceso y de las características ambientales que condicionan su configuración y evolución (Sorre, 1933). Las variaciones del medio físico determinan los límites del área de máxima expansión de los complejos, en cuyo interior se localizan las áreas de óptimo ecológico en las que cada enfermedad se presenta de forma endémica Desde un enfoque más sistémico, algunos autores escandinavos vinculados a la escuela de Lund han aplicado en sus estudios de geografía médica la teoría de la difusión de Torsten Hägerstrand, según la cual cualquier innovación se difunde espacialmente a través de sucesivas olas de innovación susceptibles de

ser analizadas mediante técnicas cuantitativas (Gerard Jori, 2013). Como ejemplo de este tipo de estudios se puede citar el trabajo de Markku Löytönen sobre la difusión del sida en Finlandia entre los años 1982 y 1988 (Urteaga, 2015). En el caso de la investigación los estudios de la geografía medica son útiles para el análisis de localización y distribución de vectores como la malaria, además de que su vinculación ecológica, espacial y social permiten hacer un análisis más completo de los patrones de comportamiento a los que obedece la malaria.

A continuación, se abordan los métodos cuantitativos para el análisis a escala regional.

3.3 Región Sur-Sureste de México como zona de análisis a escala regional

La escala es una herramienta muy utilizada en diversas disciplinas para referirse a las cualidades y extensión geográfica de los objetos de estudio, así como para precisar algunos factores metodológicos de la investigación científica, particularmente en relación con los procesos de muestreo e inferencia (Rivera & Galicia, 2016). “La escala geográfica se refiere a “las dimensiones espaciales, temporales, cuantitativas o analíticas usadas para medir y estudiar cualquier proceso” (Gibson *et al.*, 2000: 218).

En esta investigación se hizo uso de la escala regional para el análisis cartográfico de la zona sur-sureste de México (parte de la región que ocupa Mesoamérica en el país). En el sur abarca los estados de Puebla, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, y Veracruz. En el sureste abarca los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco, y Yucatán. Esta escala se eligió por la naturaleza de la investigación ya que para poder estudiar la relación que existe entre la temperatura y precipitación con la distribución geográfica de la malaria fue necesario tomar como análisis de estudio una región que presentara características climáticas iguales a las que obedece la malaria (altas temperaturas y precipitación abundante), en este

caso fue la región sur –sureste de México, región del país que presenta el mayor número de casos registrados de malaria (Betanzos, 2011).

Mapa 3.1. Región Sur-Sureste de México.



Fuente: Elaboración propia a partir del conjunto de datos vectoriales estatales de INEGI 2010.

La región Sur-Sureste de México se encuentra dentro de la región mesoamericana que comprende México. Su topografía es diversa porque la conforman varias cadenas montañosas y nudos que forman parte del Cinturón de Fuego del Pacífico (CONABIO, 2008). El relieve que tiene la región sur es principalmente montañoso, por la presencia de la Sierra Madre del Sur, la cual corre paralela a la línea costera; es común ver que a lo largo de su litoral las llanuras que hay entre este sistema montañoso y el mar sean muy angostas o que en algunos lugares no existan.

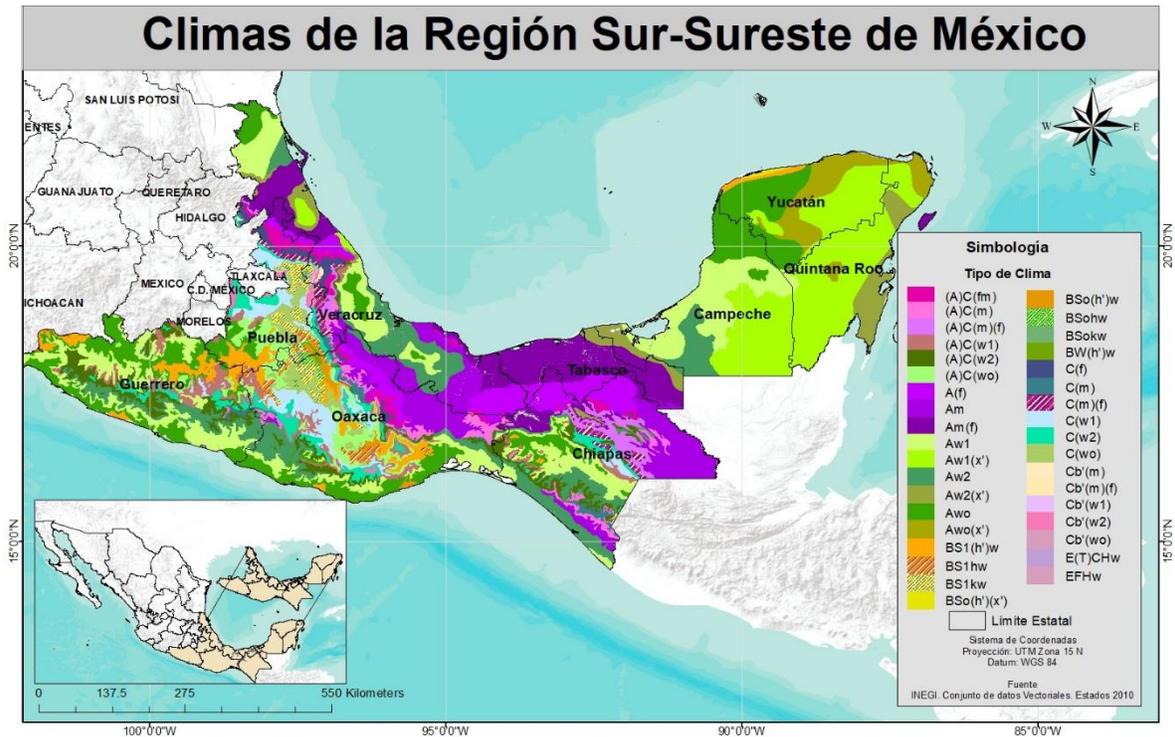
La región del golfo es una región de grandes contrastes físicos; en ella se pueden diferenciar principalmente dos tipos de relieve: el de llanuras o zonas planas en la mayor parte del territorio, y al oeste, el de tipo montañoso (mapa 3.1). Los climas también son principalmente de dos tipos: tropical y semi-seco. La transmisión de la malaria es sensible al ambiente y clima, condiciones climáticas inestables, como

una fuerte tormenta puede incrementar de manera considerable la población del mosquito y en el peor de los escenarios desencadenar una epidemia.

El extremo más septentrional de la región se caracteriza por sus selvas bajas y clima caluroso. La ubicación del sur-sureste de México dentro de las franjas climáticas tropical y subtropical, es en sí mismo un problema si hablamos de la presencia de vectores, el tipo de clima de esta región tiene las características propicias a las que responde la distribución geográfica de la malaria, tales como clima cálido lo que genera altas temperaturas. De acuerdo a los estudios realizados “la temperatura óptima para que el mosquito portador de la malaria se pueda dispersar va desde los 20°C a los 30°C” (Gómez Elipe, 2007: 24). La parte sur del Golfo tiene un clima predominantemente tropical lluvioso, al sur de Veracruz y Tabasco se localizan las partes más lluviosas a nivel nacional, por lo que tiene periodos estacionales de alta precipitación y los huracanes que golpean las costas de Mesoamérica cada año generan las condiciones para que el mosquito pueda incubar sus larvas y reproducirse (Gómez Elipe, 2007), junto con el relieve plano permite que la mayoría de los ríos sean largos y caudalosos; su vegetación es exuberante en la mayor parte de la región. Por otra parte, las intensas lluvias que tienen lugar en Tabasco, su relieve y sus tierras poco permeables han provocado que en esta entidad se ubiquen las áreas pantanosas más extensas de la República.

La región sur del país tiene un clima predominantemente semi-seco, sin embargo, en gran parte de las zonas costeras y en extensas zonas de Chiapas el clima es tropical con lluvias en verano. En las partes altas de las serranías, y en gran parte de la meseta central Chiapaneca el clima es templado con lluvias en verano (mapa 3.2). El agente casi exclusivo de la malaria en el sur-sureste del país es *P. vivax*, Los vectores de la enfermedad que se identifican en la zona son principalmente las especies de mosquitos: *An. pseudopunctipennis*, *An. albimanus*, *An. vestitipennis*, *An. darlingi* y *An. punctimacula*.

Mapa 3.2. Climas de la Región Sur-Sureste de México.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos vectoriales de clima de la CONABIO 1998.

Actualmente en México los focos principales de malaria están ubicados en la vertiente del Pacífico donde se delimitan cuatro focos persistentes en el país: dos de ellos al sur-sureste, en Chiapas, frontera con Guatemala y al sur en la costa del estado de Oaxaca y dos más al noroeste del país (Betanzos Reyes, 2011). Estos dos focos del noroeste están ubicados en los límites fronterizos de Durango y Nayarit, con movimientos de la población en comunidades dispersas y de difícil acceso; el otro, de mayor magnitud, se comparte en los estados de Chihuahua, Sinaloa, Sonora y Durango.

Ahora bien, el cambio climático global contemporáneo está jugando un papel importante en la alteración de la temperatura y precipitación en el país, de acuerdo con los estudios más recientes elaborados para México por parte de NOAA's National Climatic Data Center, en el país se observan los siguientes cambios: El país se ha vuelto más cálido desde la década de 1960. La temperatura promedio a nivel nacional aumentó 0.85° C, el calentamiento observado a nivel nacional se ha

acompañado por el aumento, en las latitudes medias, del número de días cálidos extremos, así como por la disminución de la cantidad de días gélidos extremos y heladas (IPCC, 2013)

Estas alteraciones en los patrones del clima se han mostrado en olas de calor en el país provocando periodos de sequias, según el IPCC, a partir de 1970 se han registrado sequías más intensas y largas en los trópicos y sub trópicos (IPCC, 2007), pero también de la llegada de huracanes de mayor intensidad poniendo en riesgo a la población. En el caso de los ciclones tropicales, el efecto en el aumento de la temperatura sobre el número e intensidad en ellos cada vez más se comprueba que la intensidad de los huracanes es influenciada directamente por el aumento de la temperatura de los océanos. A nivel global los huracanes de las categorías más fuertes 4 y 5 en la escala de Saffir-Simpson³ duplicaron su número durante la década pasada (Webster *et al.*, 2005). Las modificaciones de los ecosistemas debido a desastres naturales generan cambios importantes sobre la diversidad y distribución geográfica de vectores, aumentando su incidencia y modificando su distribución (Cerdeña, 2009) además parte del agua que se queda estancada en ciertos lugares genera un ambiente de poca higiene en donde la malaria se reproduce (OPS, 2012).

A continuación, se presentan los métodos cualitativos utilizados en la investigación.

3.4 Métodos cuantitativos

Para el análisis a escala regional del sur-sureste de México se eligió el método cuantitativo por su carácter experimental y deductivo, utiliza el lenguaje objetivo de las cifras y procesos estadísticos, con énfasis en el punto de vista del investigador. Como propósito de investigación busca describir la magnitud de los fenómenos y sus causas, intenta simplificar la realidad y establecer generalizaciones empíricas

³ La escala de huracanes de Saffir-Simpson es una escala que clasifica los ciclones tropicales según la intensidad del viento, desarrollada en 1969 por el ingeniero civil Herbert Saffir y el director del Centro Nacional de Huracanes (NHC) de Estados Unidos.

(Bacallao & Alerm, 2002). La metodología cuantitativa utiliza el método hipotético deductivo. Parte del planteamiento de hipótesis que se confirman o verifican mediante la obtención de evidencia empírica (Cabrero & Richart, 2002) su diseño es sistemático y apriorístico; su muestreo, estadístico. Como técnicas de recogida de información utiliza los cuestionarios cerrados, la observación, las encuestas y las entrevistas estructuradas, entre otras. Realiza un procesamiento estadístico a sus datos y los presenta en tablas de contingencia y gráficos.

El método cuantitativo ha resultado muy útil cuando se quiere medir la magnitud de un fenómeno, cuando se quiere realizar estudios de casos y controles y se quiere inferir desde los resultados de una muestra la generalización de un fenómeno. La investigación cuantitativa se dedica a recoger, procesar y analizar datos cuantitativos o numéricos sobre variables previamente determinadas. Esto hace darle una connotación que va más allá de un mero listado de datos organizados como resultado; pues estos datos que se muestran en el informe final, están en total consonancia con las variables que se declararon desde el principio y los resultados obtenidos van a brindar una realidad específica a la que estos están sujetos (Domínguez, 2007).

A continuación, se mencionan los datos cuantitativos utilizados para la zona de análisis de la presente investigación.

3.4.1 Datos cuantitativos

En la presente investigación se recurrió a fuentes de información de carácter bibliográfico, hemerográfico, así como de fuentes estadísticas oficiales disponibles en instituciones y organizaciones como WHO, OPS, OMS, CONAGUA, Geoportal de CONABIO, SMN, UNICEF, Secretaría de Salud a través del SINAVE y la DGE, IPCC y NOAA. Las instituciones y organizaciones mencionadas ayudaron para extraer información que se necesitó para el análisis cartográfico a escala regional, aportando información que ayudo a profundizar más en la problemática y así poder explicarla de manera más completa.

Con respecto a la información estadística del número de casos de malaria por estado en el país del año 2015 al 2018 se recurrió a la Secretaria de Salud quien a través del SINAVE emite un boletín epidemiológico semanal publicado en la Dirección General Epidemiológica (DGE). La obtención de estos datos permitió comparar el aumento en la incidencia de malaria en México a lo largo del periodo de análisis. Para la información sobre la temperatura y precipitación del año 2015 al 2018 de la zona de análisis se recurrió a los datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) publicados en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de donde se pudo extraer los resúmenes mensuales de temperatura y precipitación por año, estos resúmenes incluyen los datos por estado y el acumulado a nivel nacional. La obtención de dichos datos permitió hacer una comparación por año, mes y por estado de la temperatura y precipitación, cabe mencionar que para la obtención del acumulado anual por estado de cada variable se contemplaron los datos de los 12 meses. En lo que respecta al análisis de la coincidencia espacial de malaria con dichas variables, se tomaron en cuenta sólo los meses en donde se registraron casos de malaria. Para la información sobre los efectos del cambio climático en México sobre estas variables se recurrió a NOAA, IPCC, SMN, CONAGUA Y SEMARNAT, de estas fuentes se obtuvieron estadísticas de los años 2015 al 2018. Respecto a la información relacionada con la distribución geográfica de la malaria, comportamiento de vectores, situación de México, América Latina y el mundo frente a la malaria se recurrió a la OMS o bien por sus siglas en inglés WHO, OPS, OMM, ODS, Secretaria de Salud y UNICEF.

Los datos geospaciales que se utilizaron fueron: Shapefile de los estados de la República mexicana 1:250000 del 2010 de INEGI. Para el mapa de climas de México se utilizó el shapefile de climas escala 1:1000000. 1998 de CONABIO. Para el mapa de precipitación en el país se hizo uso del shapefile de Precipitación anual en México (1910-2009) de CONABIO. Para el mapa de temperaturas se utilizó el shapefile de Temperatura máxima anual en México (1910-2009) de CONABIO. Respecto a los datos de temperatura y precipitación, así como los casos de malaria del 2015-2018, estos fueron ingresados en formato CSV en el QGIS para hacer el

análisis espacial correspondiente. El Sistema de Información Geográfica que se utilizó para la realización de los mapas fue Quatum gis (QGIS) versión 3.8.

A continuación, se presenta de forma general la importancia de los SIG para investigaciones de carácter geográfico, en especial enfocado a la epidemiología.

3.4.2 Sistemas de Información Geográfica como método de análisis

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) define un conjunto de procedimientos con capacidad de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de datos geográficos de localización cierta y mensurable. Permite cartografiar y hacer diferentes tipos de análisis de importantes indicadores de salud: morbilidad, mortalidad, demográficos, recursos y servicios (Núñez, 2006).

3.4.3 Sistemas de información Geográfica en Epidemiología

En el sector de la salud pública, en particular en la Epidemiología, los SIG ofrecen múltiples oportunidades, a la vez que dan una perspectiva espacial de las enfermedades, constituyen una poderosa herramienta para facilitar los procesos de análisis de información (Serpa, 2001). La utilización de los SIG permite ampliar las posibilidades en el monitoreo y control del fenómeno salud-enfermedad, siendo de gran utilidad para el análisis espacial y temporal de los eventos, así mismo es de utilidad en la administración en salud pública (OPS, 2002).

Los SIG han sido utilizados tradicionalmente por los epidemiólogos para analizar la asociación entre medioambiente y enfermedad, tienen la capacidad de simplificar grandes tareas como la localización de eventos de salud en espacio y tiempo, el monitoreo de eventos de salud y el comportamiento de factores de riesgo en un período de tiempo dado, la identificación de áreas geográficas y grupos de población con grandes necesidades de salud y contribuye a la solución de tales necesidades mediante el análisis de múltiples variables y la evaluación del impacto de intervenciones en salud. En el estudio de la distribución en espacio y tiempo de las enfermedades en epidemiología se han utilizado patrones de puntos, de líneas y de áreas (Serpa, 2001). En el SIG también se pueden integrar y modelar bases de

datos de múltiples fuentes para estimar niveles de exposición, su tecnología puede ser utilizada para probar hipótesis relacionadas con factores ambientales de riesgo para las enfermedades en estudios a nivel individual (estudios de caso-control, de cohorte y transversales) para integrarlos a la información sobre la exposición de cada región geográfica (Lazcano *et al.*, 2001).

En el caso de la investigación la cual aborda un problema epidemiológico, el SIG que se utilizó es el Quatum gis (Qgis) que permitió cartografiar y hacer el análisis cartográfico de la distribución geográfica de la malaria en la región centro-sur-sureste de México con base en las variables climáticas de temperatura y precipitación. Para localizar las zonas más vulnerables de contraer malaria con base en la temperatura y precipitación, se tomaron como parámetros los niveles de precipitación óptimos en los que la malaria se presenta, así como los niveles óptimos de temperatura registrados en los que dicho vector tiene presencia.

A continuación, se presentan las conclusiones de los temas abordados a lo largo del capítulo.

3.5 Conclusiones

Como se vio en el capítulo, las utilizaciones de cada una de los métodos cuantitativos tuvieron como objetivo la obtención y el posterior análisis de la problemática abordada en la zona de estudio. El apoyo de los SIGS para estudios epidemiológicos, como el de la investigación, fue indispensable, si este software para cartografiar no se hubiese podido hacer un análisis cartográfico de la distribución geográfica de la malaria en las zonas elegidas. Ya que permitió procesar datos, y localizar las zonas más vulnerables en la zona de estudio. El SIG es una herramienta para la salud pública que incrementa la habilidad de toma de decisiones, a través de localización de eventos epidemiológicos, etc., así como los factores que influyen y la predicción de dichos eventos, siendo útil para monitoreo de problemas sanitarios o de salud.

Las fuentes de información de la OMS, el SMN, SINAVE de la Secretaría de Salud, CONAGUA, OPS, etc., son indispensables para tener mayor información sobre las variables elegidas y sobre el comportamiento de la malaria en el territorio ya que aportan datos precisos como registros de un periodo de tiempo, así como gráficas, mapas que complementaron la información obtenida en el Qgis.

A continuación, se presenta la importancia de la malaria en México y América latina.

Capítulo 4. Importancia de la malaria en México

4.1 Introducción

El informe por parte de la OMS del 2018 muestra que después de un período de éxito en el control mundial de la malaria, el progreso se ha estancado. Se incrementaron los casos en varios países de la región de las Américas. Nueve países (Colombia, Ecuador, El Salvador, Guyana, Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá y Venezuela) notificaron en 2016 un aumento de casos, y el año pasado, cinco países (Brasil, Ecuador, México, Nicaragua y Venezuela) reportaron un incremento (OPS & OMS, 2018) Los datos de 2015-2017 resaltan que no se lograron avances significativos en la reducción de los casos de malaria en este período.

En este apartado se mostrará de manera general el panorama actual en el que se encuentra América Latina con respecto al paludismo, con el fin de mostrar que se están registrando nuevos casos después de un periodo en el que hubo grandes progresos en su control y erradicación, y por otro lado a través de la historia general de la malaria en México, saber cuál ha sido anteriormente el escenario en que se encontraba el país y actualmente en qué escenario se encuentra ante este vector. El apartado comprende de dos secciones: En la primera sección se aborda el panorama general de la malaria en América Latina, En la segunda sección se presenta la historia general de la malaria en México, y por último se presentan las conclusiones generales.

4.2 Panorama Actual de la malaria en América Latina

Actualmente 11 de los 17 los países endémicos de América Latina tienen el objetivo de lograr una reducción de más del 40% en la incidencia de casos para 2020, mientras que seis (Brasil, Ecuador, Guatemala, Guyana, Haití y México) están en la meta de lograr una reducción de 20 a 40%. Cuatro países (Nicaragua, Panamá,

Perú y Venezuela, la República Bolivariana) vio incrementos en la incidencia en 2017 en comparación con 2010, a pesar del balance general en el progreso, 10 países experimentaron un aumento en los casos entre 2016 y 2017 (OMS & OPS, 2018). Los casos en la Guayana Francesa se han más que duplicado, en Nicaragua y Venezuela (República Bolivariana) se han visto un aumento de más del 70% en casos entre 2016 y 2017, solo Venezuela (República Bolivariana) representó el 53% de los casos notificados, seguido de Brasil (25%), sin embargo, la transmisión en los países es focal; en particular, en Colombia, Loreto en Perú y Bolívar en Venezuela (República Bolivariana) (OMS & OPS, 2018). Países y zonas con un estimado del aumento de más del 20% fueron las siguientes: OMS Región de África (Botswana, Cabo Verde, Comoras, Eritrea, Eswatini, Madagascar, Namibia, Senegal, Sudáfrica y Zimbawe); Región de la OMS América (Belice, Brasil, Costa Rica, Guayana Francesa, México, Nicaragua y Venezuela (República Bolivariana) (OMS & OPS, 2018).

4.2.1 Saneamiento básico y Malaria

Pero no solo el CCGC está relacionado con el aumento de vectores, el saneamiento básico también está jugando un papel importante, de acuerdo al estudio “Agua, Saneamiento y Pobreza” realizado por el (Banco Mundial, 2019), el impacto de la falta de servicios de agua potable y saneamiento recae principalmente en los sectores de mayor pobreza, por lo que este sector se convierte en un foco de enfermedades transmitidas por el agua como el Dengue, el Chikungunya, La fiebre amarilla, Disentería, Cólera, Tifus, Malaria, etc., (Secretaría de Salud, 2016). Dicho lo anterior el no contar con la infraestructura en buen estado o la falta de esta genera un escenario propicio para el aumento en el brote del mosquito *Anopheles* ya que él no contar con suministro de agua potable o de manera irregular hace que las personas tengan que guardar el agua que consiguen en contenedores propiciando la multiplicación de criaderos potenciales, a esto se le añade la falta de drenaje, la cual causa que las aguas negras se mezclen con el agua limpia y se convierta en agua insalubre donde el mosquito encuentra el lugar propicio para su desarrollo.

De acuerdo al informe de la ODS (2018), “sólo 08 países de América Latina cuentan con agua gestionada de manera segura” (p.3), es decir no compartido donde las excretas son tratadas y dispuestas en forma segura in situ o transportadas por una red de alcantarillado y tratadas fuera de lugar en forma segura (ODS, 2018). México se encuentra dentro del 21 al 40 % con saneamiento gestionado de forma segura, lo cual es de suma preocupación, está por debajo del 50 %, junto con Brasil, Perú, y Cuba. Colombia y Venezuela apenas y alcanzan el 20%, por otro lado, Uruguay con el 60 y 80 % y Chile con un porcentaje entre 81-100%, se posicionan como países con un nivel alto de gestión en materia de saneamiento (UNESCO, 2019).

El informe más reciente de la UNICEF en el 2016, mostro que en el año 2015 el 83% de la población de América Latina usaban instalaciones de saneamiento mejoradas, sin embargo 18 millones de personas seguían defecando al aire libre (UNICEF, 2016), así mismo el 95% de la población de América Latina utilizaban fuentes mejoradas de agua para su consumo, sin embargo 34 millones de personas aún seguían usando fuentes no mejoradas de agua para el consumo (UNICEF, 2016). De acuerdo a la ODS “... tan solo 65% de la población de la región tiene acceso al agua potable y 22% al saneamiento” (PAHO, 2018: 6), situación que en el sector rural se agrava, de modo que aún se requiere avanzar en forma significativa en la materia (UNICEF, 2015).

4.2.2 Migración y Malaria.

Otro de los factores socioeconómicos que tiene una relación con la distribución geográfica de la malaria es la migración. En el caso de las migraciones con intención definitiva adquieren mayor importancia no sólo las enfermedades agudas adquiridas en el trópico, previo a la migración, sino también otras enfermedades infecciosas o no, que pueden ser crónicas, ya que esto puede convertirse en una carga adicional para el sistema de salud del país al que se dirige el emigrante. En Latinoamérica existen desplazados internos, ejemplo de esto es Colombia, a consecuencia del negocio del narcotráfico, de la situación violenta de la guerrilla y los paramilitares

para la apropiación de tierras, entre otros; o por ejemplo en Perú, a consecuencia del terrorismo o violencia política (Rodríguez, 2005); forzando a la población a migrar de zonas endémicas a no endémicas o viceversa o entre zonas endémicas de malaria, además, el desplazamiento puede llevar a una gran limitación de las fuentes de ingreso de las familias afectadas, empeorando las condiciones de alimentación y salud de la población (Rodríguez, 2005), fundamentalmente campesina desplazada, que estarían más expuestas a padecer de malaria y otras enfermedades infecciosas.

En Chile, país no endémico de malaria, se reportó entre los años 1997 y 2001, 33 casos de malaria importada procedentes en su mayoría de países cercanos endémicos (Bolivia, Perú, Brasil, Ecuador, Colombia). Entre enero de 2004 a diciembre de 2005 se reportó en Venezuela, 92 331 casos de malaria, de los cuales 55,2% eran de Colombia y 759 (0,9%) fueron casos importados de otros países (Morales *et al.*, 2008). Debido a una relativa mejoría de la economía durante los últimos cinco años en Venezuela, el movimiento de personas del vecino país ha condicionado estas cifras. Los factores socio económicos tales como el saneamiento básico y el tema de la migración y su relación con la incidencia de malaria podría abrir otra línea de investigación en un futuro, mientras en los respecta a esta investigación de corte ambiental nos seguiremos enfocando en la relación de la distribución geográfica de malaria con la temperatura y precipitación.

4.3 Historia general de la malaria en México

México se considera, de acuerdo a la OMS, como un país endémico de la malaria, por lo que todas las entidades federativas tienen riesgo de presentar brotes de esta enfermedad. En el año 2008 se estimó que 16.66% de la población de México (18,265,807 habitantes) se encontraba con algún nivel de riesgo de adquirir la malaria, de los cuales gran parte se ubicaba en los municipios endémicos de la malaria (Betanzos, 2011).

El brote epidémico que inició a finales de 1997 en la costa del estado de Oaxaca, cuya magnitud concentró más de 70% de los casos en el país durante 1998, fue un evento inesperado, detonante, que mostró la realidad sobre la poca capacidad de respuesta de los programas locales de control a cambios repentinos y sobre el exceso de confianza en controlar, con actividades operativas rutinarias y de débil cobertura, la calidad y la intensidad de las acciones del programa. Esto acompañado, además de factores que Betanzos (2011) aborda, tales como:

... La diversidad y los gradientes en las condiciones sobre la receptividad (riesgo de ocurrencia de brotes por condiciones favorables para la transmisión local) y vulnerabilidad (riesgo de introducción de portadores de parásitos humanos o mosquitos infectados) de los focos endémicos y su variación en la reactivación e intensidad de la transmisión (p. 163).

Del año 2006 al 2008 el principal foco de persistencia de malaria se encontró en los márgenes de la frontera de Chiapas con Guatemala, donde se acumuló "... 58.3% de los casos registrados durante los últimos tres años, 14.73% de la población en riesgo y 16.26% de las localidades endémicas del país". (Betanzos, 2011:163). Este foco se caracteriza por un patrón de transmisión persistente con riesgo permanente de brotes asociados a casos recurrentes, a la migración internacional y al movimiento continuo entre las comunidades fronterizas por el intercambio comercial y laboral y actualmente a los cambios en el clima. Esta situación la comparte un reducido foco en los municipios fronterizos de Balancán y Tenosique, en el estado de Tabasco.

Las temperaturas altas de Chiapas durante el periodo del 2006-2009 propiciaron que el 58% de los casos registrados en México por brotes de malaria se concentraron solo en este estado (PAHO, 2015). El municipio de Tapachula en el Estado de Chiapas registró 245 casos, 10% del total del país, y el número más alto de casos registrados para ese año. Estos municipios de los estados de Chiapas y Oaxaca constituyen así el foco principal en el sureste del país, que concentra más de 80% de la transmisión. Siete municipios del país aportaron 50% del total de la carga de enfermedad durante 2008; de ellos, seis se encuentran en los estados de

Chiapas y Oaxaca (PAHO, 2008). El paludismo en México se limita a tres focos ubicados en las regiones del sureste, noroeste y del Pacífico. En estos focos se observa que, a pesar de la disminución significativa del número de casos, aún persiste la transmisión en un número importante de estados como Chiapas, Oaxaca entre otros (PAHO, 2008).

En México se han implementado estrategias orientadas hacia la erradicación (utilización del rociador intradomiciliar de paredes con el DDT⁴) hasta una estrategia de control focalizado que dio resultados satisfactorios. En los años 1988-1999, las viviendas de Chiapas fueron las que mayor cantidad de rociamientos recibieron y en otras cuatro entidades del Pacífico (Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Sinaloa) se han registrado más del 70% de los casos a lo largo de los años y se ha concentrado el 60% de los rociamientos (Secretaría de Salud, 2000). Dichas acciones lograron reducir la transmisión hasta finales del año 1997, cuando se presentó el huracán “Paulina” en las costas de Oaxaca dando paso a un nuevo reto con reemergencia del problema y sus repercusiones, este resurgimiento se debió a la alta precipitación que acompañó al huracán, propiciando las condiciones para la reproducción del vector. El brote epidémico que inició a finales de 1997 en la costa del estado de Oaxaca, concentró más de 70% de los casos en el país durante 1998

En el año 2015 se confirmaron 551 casos de malaria menor que en el año 2014 con 668 casos registrados, lo que muestra que México estaba en un proceso de “pre-erradicación de la malaria”, sin embargo dicha situación parece estar cambiando, estadísticas actuales de la OMS, OPS, SINAVE a través de la DGE muestran que en 2016 y 2017 se vio un aumento en la incidencia del vector, y las consecuencias del cambio climático sobre las variables ambientales que inciden en la presencia de malaria comienzan a mostrarse (Secretaría de Salud, 2000). De acuerdo a los datos del SINAVE registrados en el boletín epidemiológico y publicados en la DGE se notificaron 704 casos de malaria desde la SE 1 a la SE 50 de 2017, lo que representa un incremento con respecto a los 514 casos

⁴ Dicloro Difenil Tricloroetano

notificados en el mismo periodo de 2016 (Secretaria de Salud, 2017). El incremento se observó especialmente en los estados de Chiapas, Chihuahua y Tabasco, y se destaca la ocurrencia de casos en territorios sin transmisión reciente (San Luis Potosí).

En México se estima que "... el 33.1% de la población vive en áreas donde puede darse la transmisión de malaria, es decir alrededor de 34 millones" (Rodríguez et al. 2004: 602). Según la Secretaría de Salud, la transmisión del paludismo se ubica en diez entidades federativas: cuatro del sureste: Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo y Tabasco, y seis del noroeste: Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora (Secretaria de Salud, 2016). Estados en los que se tienen registros de temperaturas que oscilan entre los 25°C - 35°C y un alto régimen de precipitación, o bien la presencia de una de ellas.

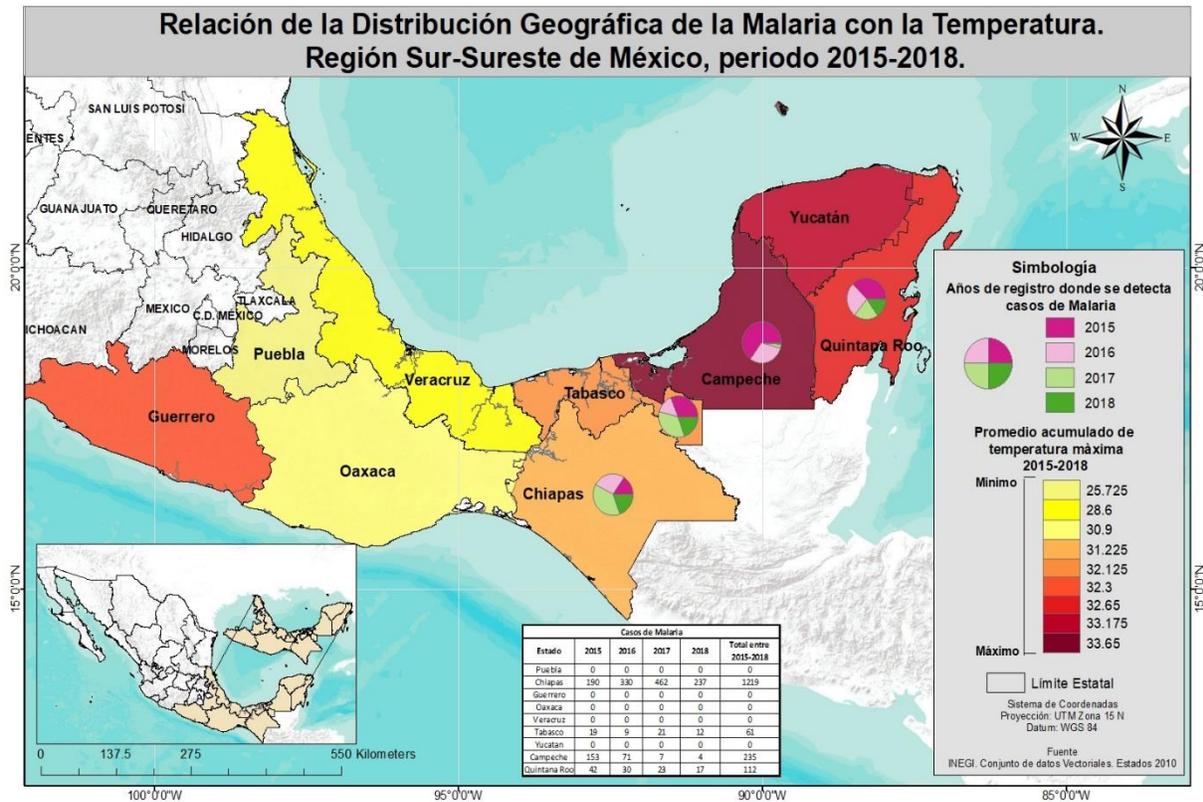
Capítulo 5. Relación de la distribución geográfica de la Malaria con la Temperatura

5.1 Resultados

Con base en el análisis cartográfico y la bibliografía consultada (OMS, OPS, PAHO, CONAGUA, SMN, Secretaria de Salud a través del SINAVE y la DGE) se presentan en este capítulo los resultados obtenidos respecto a la coincidencia espacial entre la distribución geográfica de la Malaria y la temperatura en la región Sur- Sureste de México. Se obtuvieron registros de los casos de malaria del boletín epidemiológico histórico en un periodo comprendido de 4 años: 2015, 2016, 2017 y 2018 del SINAVE publicado a través de la DGE. Así mismo se utilizaron registros de temperaturas de un periodo comprendido de 4 años consecutivos del 2015 al 2018 de CONAGUA publicados en el SMN, esto con el fin de mostrar la relación de la temperatura con la distribución de la malaria en la zona de investigación. Analizar periodos consecutivos permite al investigador ver un patrón de distribución y comportamiento del vector en el espacio y en el tiempo, así como los factores asociados a su aparición en una región. Las numerosas variables que constituyen el complejo causal de una epidemia no son completamente independientes y en ella generalmente se combinan una serie de patrones que, si se reconocen, pueden ser útiles para predecir su potencial evolución e impacto.

Es bien conocido que el clima juega un papel importante como factor determinante en la incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores (WHO 2002; IPCC, 2001). Los cambios climáticos influyen en las condiciones de vida, longevidad y dinámica de los *Anopheles* adultos, repercutiendo de esta manera en la transmisión de la malaria (Carvahol *et al.*, 2002).

Mapa 5.1. Relación de la Distribución Geográfica de la Malaria con la Temperatura en la región Sur-Sureste de México, 2015-2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de 2015-2018 de la DGE y CONAGUA.

Estudios sobre embriogénesis de especies de *Anopheles* han mostrado que estos son susceptibles a la alteración de temperatura, particularmente en zonas deforestadas (Afrane *et al.*, 2006), a eventos de precipitación abundante, y al viento. En forma experimental se ha evidenciado que la temperatura y humedad son factores que pueden alterar la longevidad y tasa de ovogénesis del mosquito transmisor de la malaria (Rúa *et al.*, 2005). De acuerdo al análisis espacial realizado, los resultados respecto a la coincidencia espacial de la distribución geográfica de malaria y la temperatura fueron los siguientes: Durante el periodo 2015-2018 vemos una marcada tendencia en la incidencia de malaria en cuatro estados de la región sur-sureste del país, estos estados son Chiapas, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, ver mapa 5.1. El patrón geográfico de la malaria analizado junto con el promedio de temperatura máxima acumulada durante el periodo mostro una coincidencia espacial entre ambas.

El estado que presento el mayor número de casos de malaria durante el periodo de análisis fue Chiapas con un total de 1219 casos (tabla 5.1), y el promedio de acumulada temperatura máxima fue 31.22°C (grafica 5.1). “La trasmisión de este vector no sucede a temperaturas inferiores a los 16°C, o mayores de 33°C; las condiciones óptimas para su transmisión son alta humedad relativa en el aire y una temperatura ambiente entre 20°C y máximo a 33°C” (Parham Paul Edwar y Michael Edwar, 2010: 620). El segundo estado con mayores casos de malaria registrados fue Campeche con un total de 263 casos acumulados durante dicho periodo (ver mapa 5.1), del total de casos que se presentaron en la entidad federativa 153 casos (tabla 5.1) se registraron en 2015. La temperatura máxima acumulada del 2015 al 2018 oscilo en 30 y 33 °C en dicha entidad, es decir, la temperatura estuvo dentro del rango óptimo para la transmisión de la malaria, ver tabla 5.1.

Tabasco presento en total 61 casos (mapa 5.1) durante el periodo, de los cuales 9 se registraron durante el 2015, en lo que respecta a la temperatura del 2015 en la entidad federativa, tenemos que en promedio oscilo en los 32.10°C y la temperatura máxima acumulada durante el periodo fue de 32.12°C como se muestra en la gráfica 5.1. El estado de Quintana Roo al igual que en el caso de Campeche el mayor número de casos registrados de malaria fue en el 2015 con 153 casos registrados, y acumulo durante el periodo 235 casos. La temperatura máxima promedio de ese año fue de 33.9°C, y la temperatura acumulada del periodo fue de 33.65°C (ver grafica 5.1), es decir que del 2015 al 2018 se mantuvo esa temperatura generando no solo las condiciones climáticas donde la malaria puede dispersarse si no también un foco de persistencia.

Tabla 5.1 Casos acumulados de malaria en el periodo 2015-2018.

Estado	2015	2016	2017	2018	Casos de malaria acumulados 2015-2018
Puebla					0
Chiapas	190	330	462	237	1219
Guerrero					0
Oaxaca					0
Veracruz					0
Tabasco	19	9	21	12	61
Yucatán					0
Campeche	153	71	7	4	235
Quintana Roo	42	30	23	17	112

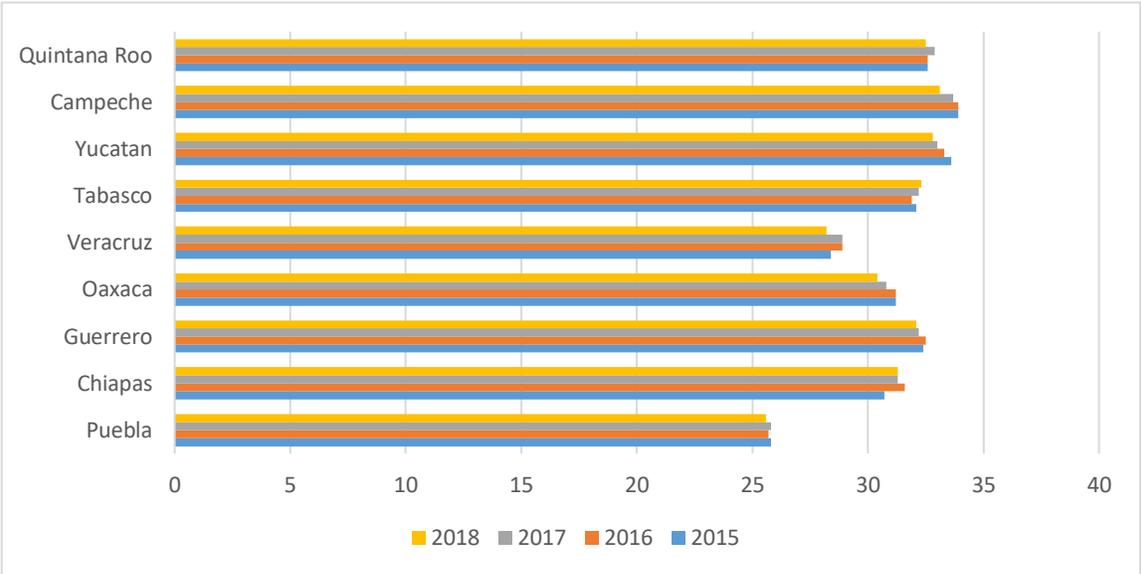
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Secretaria de Salud publicados en la DGE del 2015 al 2018.

Esto mismo ocurre con Chiapas, Campeche, Tabasco, y Quintana Roo, estados declarados por la Secretaria de Salud pertenecientes al foco de persistencia en el sur de México. En especial el año 2015 presento un aumento de malaria con respecto al año 2016, según el informe mundial de malaria de la OMS durante ese año se registró un aumento en la temperatura. La temperatura media mundial aumentó en 1.1°C desde la era preindustrial y en 0.2°C con respecto al período 2011-2015 (OMM, 2016). Así mismo las altas temperaturas sobrepasaron récords de años pasados: fue el año más cálido de los que se tienen datos tanto a nivel mundial como a nivel nacional en muchos países, así mismo en dicho año se registró un total de 451.242 casos de malaria en la Región de las Américas, lo que significó una reducción de 62% con respecto al año 2000, pero un aumento de 16% con respecto a lo observado en 2014 cuando se registró el menor número de casos de malaria en las últimas cuatro décadas (OPS & OMS, 2017).

En un informe conexo sobre la concentración de gases de efecto invernadero elaborado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), señaló que, durante el período 2015-2019, se ha observado un incremento continuo de los niveles de

dióxido de carbono (CO2) y de otros importantes gases de efecto invernadero en la atmósfera, que han alcanzado niveles alarmantes.

Grafica 5.1. Temperatura Máxima en la región Sur-Sureste de México, 2015-2018



FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de temperaturas máximas de CONAGUA publicados en el SMN, 2015-2018.

De acuerdo a la OPS & OMS (2017) el notable aumento en la transmisión de malaria en estas entidades federativas puede estar relacionado con fenómenos ambientales que hablando históricamente han determinado un comportamiento epidémico cíclico de la malaria en las Américas. En el 2016 los estados con mayor tasa de incidencia fueron: Campeche con 9.5 (71 casos), Chiapas 6.5 (330 casos) y, Quintana Roo 2.0 (30 casos) por cada mil habitantes (OPS&OMS, 2017). A principios de 2017, la OPS alertó a los países de la región de las Américas sobre el riesgo de brotes, aumento de casos y defunciones en áreas endémicas, así como el posible restablecimiento de la enfermedad en áreas en las que se había interrumpido la transmisión. En México, la Secretaria de Salud notificó 704 casos de malaria en 2017, lo que representa un incremento con respecto a los 548 casos notificados en 2016.

De los 548 casos presentados en siete entidades federativas, Chiapas y Campeche concentraron el 77% de los casos (OPS & OMS, 2017). A diferencia de los estados

de los que se tiene registro de presencia de malaria en la región Sur-Sureste de México, Chiapas fue el único estado que presentó un aumento de casos en lugar de un descenso (mapa 5.1), en el 2017 con un total de 462 casos de malaria, un considerable aumento con respecto a los 330 casos presentados en el 2016. El promedio de temperatura máxima de ese año en la entidad se registró en los 31.3 °C, tan solo 3 grados por debajo del promedio de temperatura máxima del 2016, lo cual muestra que la temperatura durante el periodo 2015-2016 no varió considerablemente en el estado. El aumento en el número de casos registrados en el año 2017, se debió a un aumento en el régimen pluvial, pero esto se mencionará en el siguiente capítulo correspondiente a la relación de la malaria con la precipitación. En lo que respecta al 2018 se muestra que los casos de malaria han disminuido en los cuatro estados, posicionándose Chiapas en primer lugar con 237 de casos y en segundo lugar Quintana Roo con 17 casos.

El programa de Acción Específico. Prevención y Control del Paludismo 2013-2018 implementado en México, ha obtenido resultados muy significativos en las veintidós entidades, se cambió el uso de insecticidas a gran escala para reducir la pandemia; y en su lugar, se emplea desde el año 2000, la estrategia de control focalizado, basada en un esquema de estratificación que llega a la identificación de “casas palúdicas”, además de contar cada vez más con la participación comunitaria. Este programa ha logrado que estados que son focos de transmisión de malaria tales como Campeche, Tabasco y Quintana Roo, el número de casos registrados año con año disminuyan de manera paulatina, sin embargo, esto no quiere decir que la relación que existe entre temperatura y malaria este desapareciendo, los datos que muestran este detrimento en buena medida se deben al éxito de programas en el control y eliminación de enfermedades transmitidas por vectores implementadas en el país.

El caso de Chiapas es particular ya que, si bien no ha tenido un descenso paulatino en el periodo 2015 al 2018, habiendo un aumento de casos en 2017, gracias a los talleres impartidos en el estado para la eliminación de la malaria, Chiapas ha obtenido datos alentadores, registrando un descenso en el número de casos

durante el 2018 en comparación del año anterior. Los estados de Puebla, Guerrero, Oaxaca, Veracruz, y Yucatán presentaron cero casos en el periodo 2015-2018.

De acuerdo al informe anual de Avances y Retos para la Eliminación de la Malaria en México 2018, los focos de Golonchanes, Piedras Blancas, Tzotzil y Ocosingo y Benemérito de las Américas concentran el 70% de los casos registrados en Chiapas como se muestra en la tabla 5.2. De acuerdo a la Secretaria de Salud el estado de Veracruz desde el año 2005 está libre de transmisión de malaria. Se tiene escasa información respecto a casos presentados en Puebla, considerándola una entidad federativa con pocos y dispersos casos de malaria en la historia de México y actualmente no ha presentado casos desde hace 5 años.

Tabla 5.2. Focos de persistencia de malaria en Chipas por Jurisdicción.

CLASIFICACIÓN	JURISDICCIÓN	NOMBRE
ACTIVO	II. San Cristobal de las Casas	Chalchihuitán
		Tzotzil
		Tzeltal
	V. Pichucalco	Simojovel
	VI. Palenque	Ocosingo-Benemérito
		Palenque
		Tila
		Tumbalá
		Yajaló
		Sabanilla
	VII. Tapachula	Huixtla
		Tapachula
	IX. Ocosingo	Chilón
		Corostic
		Golonchanes
Piedras Blancas		
Samaria		
	San Quintin	

Fuente: Secretaria de Salud 2018.

Lo mismo sucede con el caso de Guerrero, Oaxaca y de Yucatán, estados en los que desde hace años no se han registrado casos de malaria por lo que los programas de erradicación que se han implementado en dichas entidades han sido

exitosos, sin embargo, esto no significa que estén exentos ante un resurgimiento de brotes, sobre todo porque siguen presentando las condiciones ambientales en las que se reproduce y transmite la malaria.

A continuación, se aborda el impacto del CCG y su alteración en la temperatura en el sur-sureste del país.

5.2 Cambio climático Global y su alteración en la temperatura.

De acuerdo al informe dado por el Banco Mundial (2010) México es de los países más vulnerables a los efectos del CCG, ya que 15% del territorio nacional, 68.2% de su población y 71% del producto interno bruto (PIB) están expuestos a sufrir las consecuencias negativas del CC. El cambio climático global está referido a la alteración del clima con respecto al historial climático mundial o regional, producto de las actividades que ha ejercido el hombre en la tierra. Involucra a diversos parámetros meteorológicos como temperatura, precipitaciones, presión atmosférica, nubosidad, aumento en el nivel del mar y variaciones en la ocurrencia de eventos extremos del clima como sequías, inundaciones y tormentas tropicales (Brown *et al.* 2015).

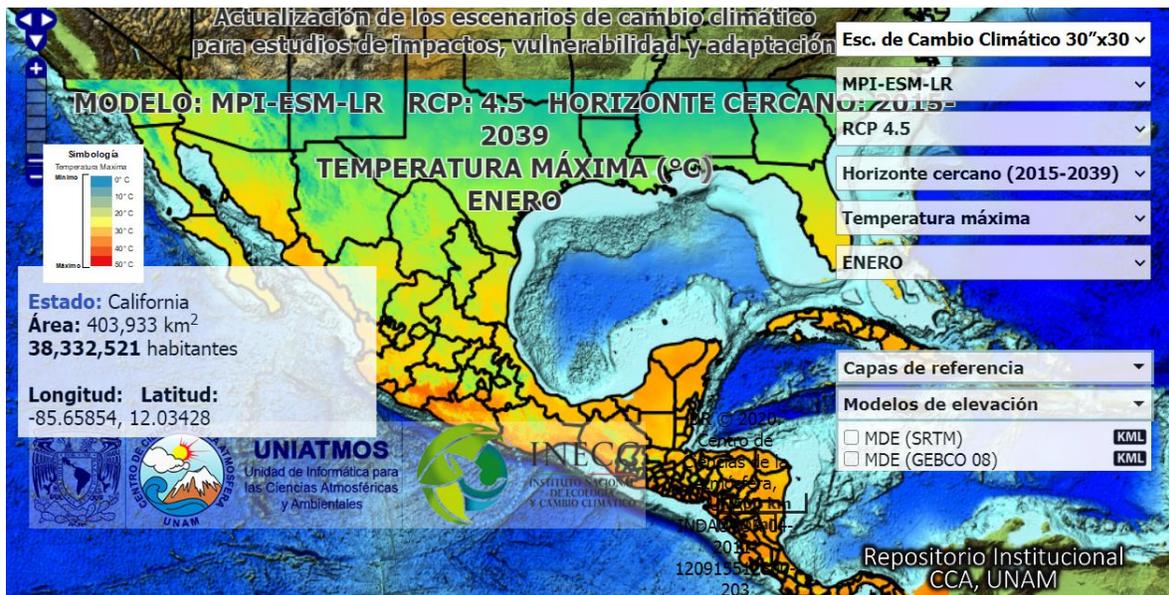
Son diversos los estudios que se han hecho respecto a qué cambios está sufriendo el clima a nivel mundial, mostrando resultados alarmantes. Los eventos meteorológicos son cada vez más extremos ocasionando no solo pérdidas humanas, de flora y fauna o de infraestructura si no también cambios en las precipitaciones, haciendo que estas se presenten con mayor frecuencia e intensidad, por otro lado, las olas de calor que provocan sequias de gran magnitud en todo el mundo tienen mayor ocurrencia alterando los niveles de temperatura. Lo antes mencionado está ocasionando un desequilibrio en las especies que son sensibles a los cambios de clima, tal como los vectores, su capacidad de reproducción y dispersión depende de variables como la precipitación, temperatura,

viento y humedad. Estudios realizados por Epstein en 1995 y Martens en 1997 muestran que la transmisión de la malaria puede verse afectada por el cambio climático global y la variabilidad climática natural.

Así mismo Según el Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, los estudios de detección han demostrado que la influencia de las actividades humanas en el clima ha sido uno de los principales factores del calentamiento del sistema climático mundial observado desde el decenio de 1950. Existen estudios que han mostrado la vulnerabilidad de México ante el cambio climático, debido a esto, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) colaboro con tres instituciones, la Red Mexicana de Modelación del Clima: el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, con la finalidad de conocer cuáles serán las respuestas del clima futuro en el país ante estas modificaciones.

Para hacer una comparación de que cual sería la variación de temperatura en invierno y verano, se tomó como base los meses de enero (invierno) y julio (verano). Como se visualiza en el mapa 5.2, la predicción que se tiene de temperatura máxima para el horizonte más cercano 2015-2039 en invierno rondará en los 25°C a 30°C en la mayor parte de la región sur-sureste de México, se tiene que tener en cuenta que estas temperaturas para invierno son altas, lo que significa que los inviernos serán más cálidos. Lo antes mencionado traerá repercusiones epidemiológicas ya que una tierra más cálida es el escenario adecuado para la transmisión de enfermedades que respondan a la temperatura. Según datos de la Organización Atmosférica y Oceánica norteamericana (NOAA) el pasado mes de enero fue el más caluroso de los últimos 141 años, desde que existen registros, con una temperatura media global de 1,14°C por encima del promedio a lo largo del siglo XX, siendo el 2019 fue el segundo año más cálido a nivel global después del 2016 (NOAA, 2020).

Mapa 5.2 Escenario de cambio climático para México 2015-2039.



Fuente: Repositorio Institucional CCA, UNAM.

En lo que respecta al verano tenemos que en la zona sur-sureste del país la temperatura rondará desde los 25°C hasta los 35°C aproximadamente, en la región central rondará en los 20°C a 30°C y en la zona norte hasta los 50°C. La OMM confirmó que los veranos del 2016 al 2019 han sido los más cálidos desde que se tiene registro, esto muestra claramente la continuidad del CCG. Un análisis realizado por cinco de los mejores conjuntos internacionales de datos, realizado por OMM, reveló que la temperatura media mundial en superficie en 2018 superó aproximadamente en 1,0° grado Celsius (con un margen de error de $\pm 0.13^\circ\text{C}$) a la de la era preindustrial (1850-1900), considerándose el cuarto año más caluroso jamás registrado (SMN, 2019). De acuerdo a informe mensual de la CONAGUA (2020), publicado en el SMN:

El mes de enero de 2020 se ubicó como el enero más cálido del registro, con una anomalía de temperatura del aire a nivel del mar a escala global de $+0.77^\circ\text{C}$ por arriba del promedio, tan solo 0.03°C más cálido que enero de 2016 (p. 14).

Mapa 5.3. Escenario de cambio climático 2015-2039 para México.



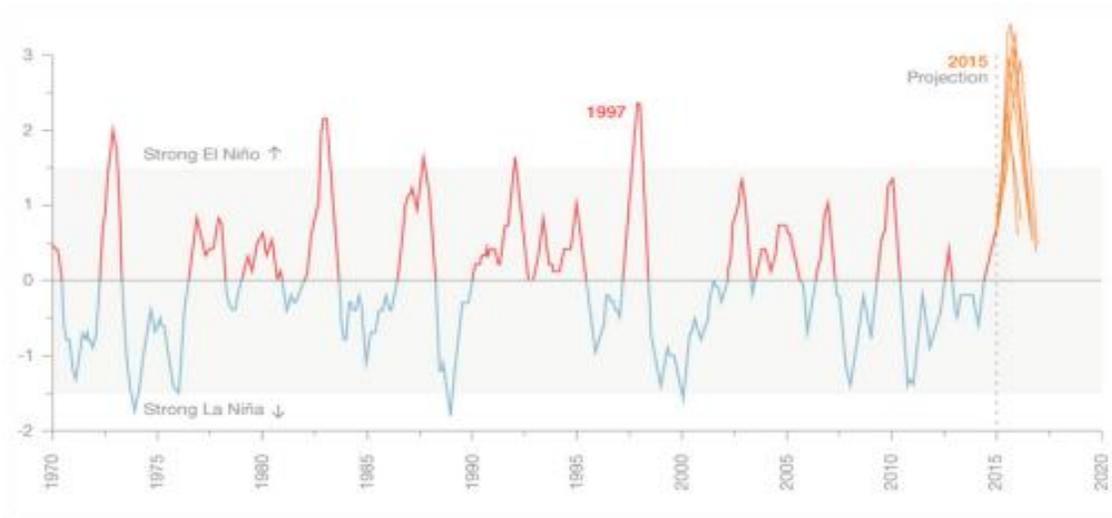
Fuente: Repositorio Institucional CCA, UNAM.

Según el conjunto de datos de temperatura considerado, entre el 20% y el 40% de la población humana mundial vive en regiones que, en el decenio 2006-2015, ya habían experimentado un calentamiento de más de 1,5 ° C por encima del preindustrial en al menos una temporada (IPCC, 2018). Es importante mencionar que en estados como Baja California, Sonora y Chihuahua en los últimos años ya se han registrado temperaturas hasta de 50°C (SMN, 2020).

También el promedio de temperatura superficial registrada en enero de 2020 se ubica como la cuarta más cálida de todos los registros, inclusive más que algunos meses de verano, superándola sólo marzo de 2016, febrero de 2016 y diciembre de 2015, cabe mencionar que estos meses se encontraron bajo condiciones de una fuerte fase cálida de El niño/oscilación del sur (ENOS) presente en el océano Pacífico tropical (CONAGUA, 2020). Eventos cuasi periódicos como el *Niño*, evento climático relacionado con el calentamiento del Pacífico oriental ecuatorial, el cual se manifiesta erráticamente cíclico (Takahashi 2017), y *El Niño-Oscilación del sur* (ENSO), evento de interacción del sistema océano-atmósfera que se presenta en el Pacífico tropical, afectando el clima mundial (CIIFEN, 2016), alteran la temperatura y la precipitación ocasionando una mayor ocurrencia de malaria tras estos eventos.

Durante los años del fenómeno *El Niño* (1997-1998 y 2003-2004) y posteriores, se observa una mejor correlación entre variables climáticas y casos de malaria (César Ramal *et al.*, 2009). Cuando los valores promedio de temperatura son menores, los ciclos esporogónicos⁵ y gonotróficos⁶ del vector podrían verse favorecidos y el potencial de transmisión de la población vectorial podría realizarse, favoreciendo la transmisión en un periodo de abril a julio.

Grafica 5.2. Índice Oceánico de *El Niño*, periodo 1970-2020.



Fuente: NOAA, 2015.

En la gráfica 5.2 se muestra el Índice Oceánico de *El Niño*, el cual mide la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical. Cero es el promedio, los números positivos indican más calor y los números negativos indican más frío. La temperatura que supera a 0.5 indica la presencia de este evento, y una cifra superior a 1.5 indica *que está en fase intensa*.

⁵ Es la reproducción del vector, esta tarda aproximadamente de siete a catorce días.

⁶ El ciclo que comprende desde la ingesta de sangre hasta la ovoposición

En el año 2015 en México se presentó el evento de *El Niño*, según información de la Organización Meteorológica Nacional este evento fue uno de los más potentes de los que se tiene registro desde 1950, inicio en el mes de marzo y se intensificaría en noviembre hasta enero del 2016. Datos registrados por el SMN & CONAGUA (2018), mostraron que durante el mes de agosto en la parte central y oriental del océano Pacífico tropical la temperatura se mantuvo entre los 1.3°C y 2.0°C por encima de lo normal. Estas anomalías en la temperatura superficial del mar han sido significativamente superiores a la media.

De acuerdo a los registros de ocurrencia de malaria obtenidos del Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia realizado por la Secretaría de Salud en 2015, del mes de marzo al mes de agosto fue el periodo que aglomero el mayor número de casos de malaria del total registrados en el sur-sureste del país con 290 casos de los 404 registrados en la región en ese año, es decir más de la mitad de casos de malaria se registraron durante este periodo. Estos datos muestran que en efecto el evento meteorológico del Niño en 2015 ocasiono anomalías en la temperatura habiendo un aumento de las mismas en el país y a su vez un aumento en la ocurrencia de malaria durante esos meses. La declaración sobre el estado del clima mundial en 2016 de la OMM, expuso que el año se caracterizó por sequías intensas, siendo el más cálido jamás registrado en todos los principales conjuntos de datos de la temperatura en superficie a escala mundial. Los estudios de algunos de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos más importantes, en particular el calor extremo, corroboran cada vez más la influencia del CCG. De acuerdo a la OMM (2017):

El intenso episodio de El Niño 2015/2016 ejerció una fuerte influencia sobre el clima, las altas temperaturas continuaron en 2016 y se estableció un nuevo récord de temperatura máxima de aproximadamente 1,1 °C por encima de los niveles preindustriales, lo que representa un aumento de 0,06 °C por encima del récord anterior registrado en 2015 (p. 4).

Según los datos obtenidos del Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia del año 2016, el periodo de junio iniciando en la semana 23 hasta finales

de agosto terminando en la semana 35, fue el que concentro la mayor ocurrencia de malaria en 2016 con 234 casos de los 440 casos registrados de malaria durante todo el año en la región sur-sureste de México. Como se mostró el aumento de los casos registrados en Chiapas tuvo que ver con la llegada del episodio de *El Niño de 2015/2016*. Información del Servicio Meteorológico Nacional mostro que el mes de mayo del 2018 ocupó el 7° lugar desde 1953 de todos los mayos, registrando una temperatura promedio nacional de 24.8 °C, teniéndose al más caluroso en 2018 con 25.4 °C. En la tabla 5.3, se presenta el número de casos de malaria durante el mes de mayo, iniciando el mes en la semana 18 y concluyendo en la semana 22 del 2018, en los estados del sur sureste donde hubo registro de malaria durante dicho mes.

Tabla 5.3 Registro de casos de malaria en el mes de mayo del 2018

Semana	Entidad Federativa	No. Casos
18	Chiapas	3
	Quintana Roo	6
Semana	Entidad Federativa	No. Casos
19	Chiapas	21
	Quintana Roo	3
Semana	Entidad Federativa	No. Casos
20	Chiapas	16
Semana	Entidad Federativa	No. Casos
21	Chiapas	22
Semana	Entidad Federativa	No. Casos
22	Chiapas	23
	Quintana Roo	1

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Secretaria de Salud publicados en la DGE, 2018.

Estos datos obtenidos del Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia, muestran que, de los doce meses del año, mayo fue el mes que registró más número de casos en Chiapas y Quintana Roo. De los 270 casos presentados durante el 2018, en mayo se registraron 85, en lo que respecta a Quintana Roo en este mes se presentaron 10 casos, siendo así mayo el mes que concentro el mayor número

del total de casos registrados de malaria en estas dos entidades federativas durante el 2018, ver tabla 5.3. En lo que respecta al mes de febrero del 2018, se registró una temperatura promedio a nivel global de 0.65 °C por arriba del promedio del siglo XX de 12.1 °C, ubicándose como el 11° mes de febrero más cálido desde 1880 a 2018 (CONAGUA, 2018: 3), durante este mes de presentaron un total de 48 casos registrados en Chiapas de los 237 en el año.

A continuación, se presentan las conclusiones del capítulo abordado.

5.3 Conclusiones

El capítulo analizó la relación existente entre temperatura y la distribución geográfica del vector de la malaria en el sur-sureste de la República Mexicana. Chiapas estado endémico de malaria se sigue coronando como la entidad con el número de casos más alto por malaria en toda la región sur-sureste, las altas temperaturas han generado las condiciones propicias para una mayor dispersión del vector. Campeche que, aunque presenta menos de la mitad de casos por año que Chiapas, es el segundo en presentar más casos por malaria en la región, por lo que no se descarta la probabilidad de un aumento en la ocurrencia de malaria.

Los estados de Guerrero, Veracruz, Yucatán y Oaxaca, presentan un riesgo potencial de un resurgimiento de malaria debido a las condiciones de temperatura adecuadas para la reproducción del vector, las estrategias implementadas en estas entidades de aquí en adelante jugaran un papel fundamental en el control de la malaria. El cambio climático global está cambiando a paso acelerado los niveles de temperatura y esta a su vez alterando los patrones de distribución de los vectores, poniendo en riesgo potencial zonas donde no se han registrado brotes de malaria en el país como lo es el caso de Puebla, entidad que en los últimos años ha registrado temperaturas cada vez más elevadas. Dado que México es un país vulnerable al CCG, las estrategias encaminadas con un enfoque ambiental serán fundamentales para hacerle frente y por ende a las enfermedades transmitidas por

vectores. En este sentido la geografía médica y la geografía ambiental pueden aportar valiosa información espacial acerca del patrón de distribución de vectores.

En el siguiente capítulo se abordará la relación existente entre la distribución geográfica de la malaria y la precipitación.

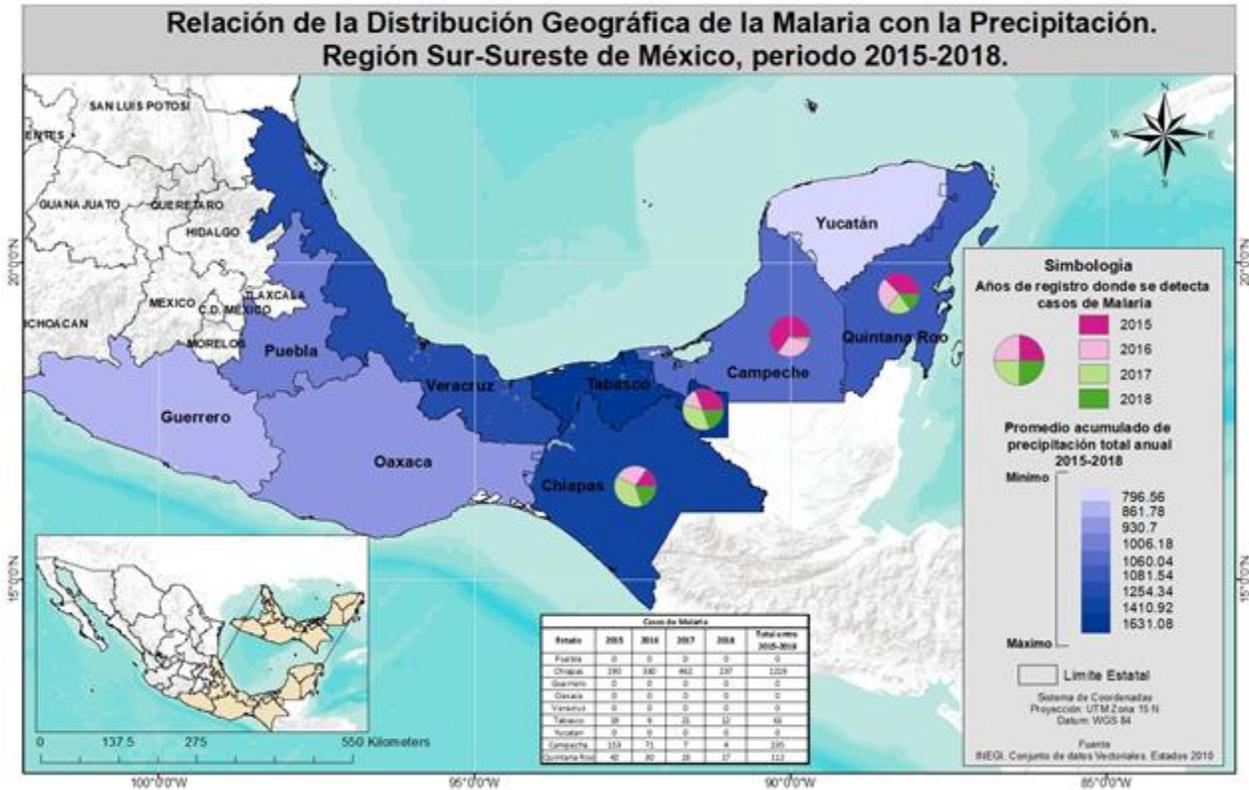
Capítulo 6. Relación de la distribución geográfica de la Malaria con la Precipitación en el Sur-Sureste de México

6.1 Resultados

Las condiciones de precipitación y temperatura del aire son factores ambientales que afectan la ocurrencia de casos de malaria en la región Sur-Sureste de México. Para este análisis espacial se tomaron datos de lluvia durante el periodo comprendido de 2015 a 2018 obtenidos de CONAGUA, y para el número de casos registrados de malaria en la región se tomó la misma periodicidad, estos datos se tomaron del SINAVE publicados en la DGE. Estudios que se han realizado en América Latina respecto a la relación que tiene la precipitación y temperatura con el patrón de distribución geográfica de malaria como el de César Ramal Javier Vásquez, Jesús Magallanes, y Christian Carey en 2009, muestran una asociación de presencia de malaria con las variables de temperatura, humedad y precipitación.

Como se muestra en el mapa 6.1, la región sur sureste de México, es la que concentra los mayores niveles de precipitación del país. La zona más lluviosa, con precipitaciones superiores a 1 500 mm se encuentra al sur del paralelo 22° N y comprende las pendientes montañosas de las porciones central y sur del país que se inclinan al Golfo de México y que se encuentran directamente expuestas a los vientos húmedos del mar asociados con los alisios, los nortes y los ciclones tropicales y huracanes. En el 2015 la precipitación en el estado de Chiapas se registró en un rango de 1741.1mm superior al rango de precipitación de los demás estados de la región sur-sureste de México en los que se registraron casos de malaria, este rango de precipitación se intensificó en el periodo de mayo a noviembre en todo el país, presentado 124 casos de malaria en este periodo, 32 acumulados de enero a abril y 34 casos en el mes de diciembre.

Mapa 6.1 Relación de la Distribución Geográfica de la Malaria con la Precipitación en la región Sur-Sureste de México, 2015-2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la DGE y CONAGUA del periodo 2015-2018.

En algunas regiones el aumento en el número de casos está asociado con cambios en la precipitación debido en parte a eventos climáticos como *El Niño Oscilación del Sur*, que incide en el aumento de la temperatura superficial del mar y en el comportamiento de la atmosfera incidiendo en los vientos y como se vio en el capítulo anterior en la generación de lluvias en las zonas central y oriental del Pacífico Tropical. De acuerdo a los datos oficiales de la CONAGUA, la temporada de huracanes de 2015 fue catalogada como la segunda temporada con mayor actividad de la historia de la cuenca del Pacífico Oriental, la temporada rompió récords con un total de dieciséis y otros once son mayores a Categoría 3 en la Escala de huracanes de Saffir-Simpson (CONAGUA, 2015).

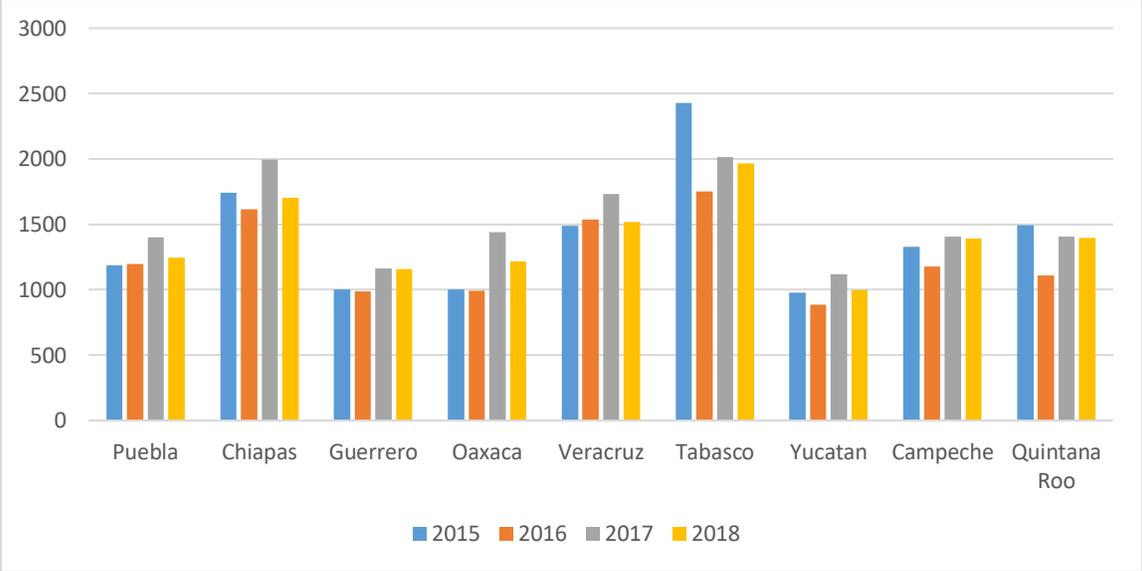
En México la temporada inicio el 15 de mayo y termino el 30 de noviembre, de acuerdo al SMN. En el año 2015 de los 190 casos registrados de malaria en Chiapas 124 casos se presentaron de mayo a noviembre, 32 casos de enero a abril, y 34 en el mes de diciembre, en este último mes hubo más casos confirmados que en el periodo de enero a abril. Lo antes mencionado muestra que el evento meteorológico de huracanes y ciclones en México productos de *EL Niño* altero la ocurrencia de malaria, concentrando la mayoría de casos dentro de este periodo a comparación de los meses en los que no se presentaron estos eventos meteorológicos. Lo mismo se puede decir del caso de Campeche segundo estado de la región en concentrar el mayor número de casos de malaria, de los 153 casos registrados en 2015 (mapa 6.1), 84 se registraron de mayo a noviembre, y 60 de enero a abril.

El ciclón tropical más fuerte de la historia en el hemisferio occidental de la temporada fue el huracán Patricia llegando a las costas mexicanas el 20 de octubre del 2015, alcanzó la categoría 5 en la escala de huracanes de *Saffir-Simpson* en el Océano Pacífico convirtiéndose el huracán más intenso de la historia registrado en la cuenca y el segundo ciclón tropical más intenso a nivel mundial. La temporada presentó varias tormentas de gran alcance. Del 15 de mayo al 30 de noviembre la lluvia acumulada a nivel nacional fue de 668.4 mm, cifra mayor a la media histórica, que fue de 656.6 mm, es decir que en este periodo llovió 1.8% más, de acuerdo a datos publicados por la CONAGUA en el portal oficial del Gobierno de México (CONAGUA, 2015). En lo correspondiente al año 2016 con un registro de precipitación de 1614.2mm, como se muestra en el mapa 6.1, la ocurrencia de malaria aumento considerablemente a comparación del 2015. El estado de Chiapas termino el año con un total de 330 casos registrados de malaria superando los 190 casos del año anterior, se debe tomar en cuenta que en el periodo de 2015/2016, la temperatura y el régimen pluvial a nivel mundial recibió una fuerte influencia del episodio de *El Niño (ENOS) 2015/2016*, y *La Niña*⁷ a su llegada en el invierno del

⁷ De acuerdo a la definición que da NOAA, *la Niña* es un fenómeno climático conocido como *El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)*, el cual tiene dos etapas, una es cálida conocida como *El Niño* y una fase fría conocida como *La Niña*. Los episodios de *La Niña* producen cambios en los vientos atmosféricos sobre el océano Pacífico, generando un incremento en la intensidad de los vientos alisios del Este,.

2016, esto altero los patrones de lluvia en el país y a su vez incidió en el aumento de malaria. En lo que concierne a los estados de Campeche, Tabasco, Quintana Roo, estos presentaron un descenso en el número de casos confirmados de malaria, siendo la provincia de Tabasco la que presento menos casos con un total de 9 en el año. En lo que concierne al 2017, de acuerdo a los datos obtenidos de CONAGUA sobre el régimen pluvial en el país, muestra que dicho año supero al 2016 registrándose un régimen de precipitación mayor en toda la zona sur-sureste de México.

Grafica 6.1 Régimen de Precipitación en el Sur-Sureste de México 2015-2018



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de CONAGUA publicados en el SMN 2015- 2018.

En la gráfica 6.1 se muestra el nivel de precipitación por estado y por año. Los datos obtenidos de CONAGUA muestran que en efecto aunque la temperatura casi no vario con respecto al 2016, manteniéndose casi igual, no así el régimen de precipitación en el que se registró un aumento en esta región del país, Chiapas fue el estado que presento un aumento mayor con respecto al año anterior, en el 2016 se registró una precipitación acumulada de 1195.8 mm y en el 2017 de 1402.3 mm,

así mismo se presentaron 462 casos confirmados de malaria en el año 2017 a comparación de los 330 en el 2016. Este aumento de precipitación y el aumento de casos registrados de malaria muestran una coincidencia espacial entre el régimen de precipitación y la ocurrencia de malaria. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Meteored previó que en el 2018 México presentaría lluvias en mayo y junio por encima de lo usual, específicamente en la mitad centro-sur por huracanes que generarían un aumento en la cantidad de precipitaciones.

Como se muestra en la tabla 6.1, se presenta el número de casos de malaria durante el mes de mayo (iniciando el mes en la semana 18 y concluyendo en la semana 22) del 2018 y del mes de junio (iniciando en la semana 23 y concluyendo en la semana 26) del mismo año, en los estados de Chiapas, Campeche y Quintana Roo, entidades en las hubo casos confirmados de malaria durante estos dos meses.

Tabla 6.1 Casos confirmados de Malaria en el mes de mayo y junio, 2018.

Mes	Entidad	Total de Casos Confirmados
Mayo	Chiapas	90
	Quintana Roo	4
	Campeche	6
junio	Chiapas	60
	Quintana Roo	1

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Secretaria de Salud publicados en la DGE 2018.

De acuerdo a los datos obtenidos de CONAGUA, en 2018 se registró una precipitación acumulada de 1705.3 mm en Chiapas, siendo uno de los años del periodo 2015-2018 con mayor precipitación registrada en dicha entidad, seguido del año 2015 con 1741.1 mm. Los efectos de la lluvia son más evidentes durante las epidemias, en las cuales el aumento en el número de los casos de malaria puede ser proporcionales a la cantidad de precipitación. En las zonas áridas pese a que

tienen la temperatura optima, la transmisión sólo sucede en los periodos estacionales de lluvia que proporcionan lugares temporales para la reproducción de vectores, ejemplo de esto es el Este de África entre otros (Gómez, 2007).

Como se vio en el análisis del capítulo 5, mayo fue el mes más caluroso del 2018 de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional, con una temperatura promedio nacional 25.4 °C, lo dicho anteriormente muestra la incidencia de la temperatura y precipitación en la distribución geográfica de malaria. La presencia de cada una de estas variables por separado en la malaria es indudable, sin embargo, varios estudios muestran que en especial la temperatura incide mayormente en la malaria, como ejemplo tenemos al estado de Chihuahua el segundo estado con mayor número de casos confirmados, su registro de precipitación apenas ronda en los 403 mm al año debido a su ubicación al norte de México el clima se vuelve más árido, sin embargo es uno de los estados que tiene de los registros más altos malaria a nivel nacional. Esto no quiere decir que sólo la temperatura guarde una relación con la malaria, pero si es evidente que tiene una incidencia mayor en su distribución geográfica.

Ahora bien, respecto a los escenarios futuros del CCG y su alteración en la temperatura, de acuerdo a las estimaciones que se tienen para el horizonte que abarca desde el año 2015 hasta el 2039, se tiene datos preocupantes, ya para el 2015 preveían un aumento del hasta del 2°C en el norte del país y una oscilación entre 1°C y 1.5°C para el resto del territorio.

A continuación, se aborda el impacto del CCG y su alteración en la precipitación en el sur-sureste del país.

6.2 Cambio climático Global y su alteración en la precipitación

El actual ascenso acelerado de la temperatura global ha generado a su vez cambios en el patrón de la precipitación a nivel mundial, el exceso de lluvias provoca la extinción de especies tanto animales y vegetales y por consiguiente el desequilibrio en los ecosistemas, las especies comienzan a adaptarse y/o a desplazarse para sobrevivir, tales como los mosquitos cuyo patrón de distribución geográfica obedece a variables climáticas (SEMARNAT, 2016). En lo que respecta a la región de México casi no se dispone de experimentos con modelos de clima regional que permitan estimar de forma directa los cambios en parámetros meteorológicos, por lo que se usan técnicas de reducción de escala (Magaña *et al.*, 2017).

De acuerdo a las proyecciones de escenarios futuros del CCG para México en el horizonte cercano 2015-2039 podemos ver cómo se comportará la precipitación en invierno (enero) y verano (julio), estas predicciones no son 100% seguras sin embargo dan un aproximado. Como se observa en el mapa 6.2, no se muestra un aumento considerable en los niveles de precipitación para el invierno de manera general para el país, sin embargo, al sur en Chiapas se muestra niveles de precipitación que van desde los 200 mm hasta los 350 mm aproximadamente en el mes, lo cual es alto considerándose que es invierno, además que la precipitación promedio anual es de menos 100 mm en esta estación del año. En el caso de Veracruz y Tabasco los niveles de precipitación rondarán en 100 mm hasta 150 mm aprox.

A diferencia del caso de la temperatura, en nuestro país la precipitación no ha seguido un patrón particular ya que ha disminuido y aumentado dependiendo la región. En Oaxaca ha habido un aumento por año de 1.13 mm/año, en Veracruz de 1.89 mm/año, en Campeche de 3.38 mm/año, en Yucatán de 2.45 mm/año y en Guerrero ha disminuido con -2.28mm/año (SEMARNAT, 2018).

Mapa 6.2. Escenario de CC para México, horizonte cercano 2015-2039.



Fuente: Repositorio Institucional CCA, UNAM

En latitudes medias y zonas subtropicales en las que se ubica el territorio mexicano, al contrario, se prevén importantes disminuciones en la precipitación, el IPCC (2008) informo:

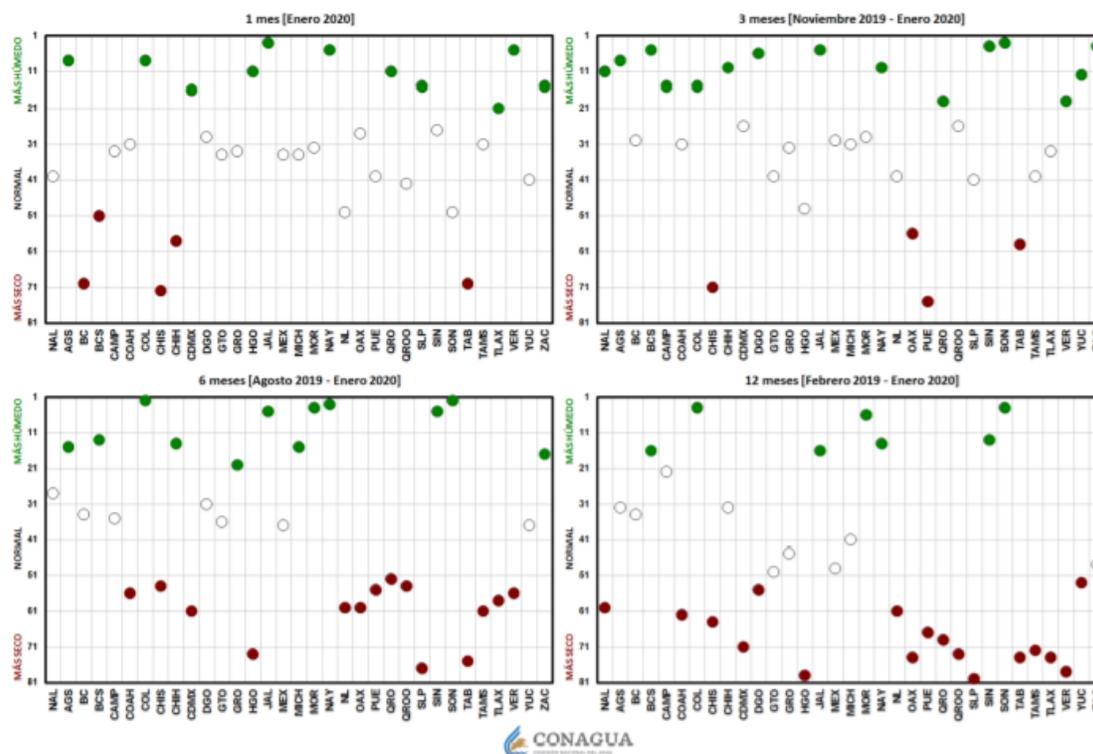
Se han observado disminuciones en la precipitación y escurrimientos en latitudes entre 10° S y 30° N, así como, a nivel global, incrementos en el vapor de agua en la atmósfera y cambios de régimen en las precipitaciones, que han producido lluvias locales de mayor magnitud e intensidad.

Esto significa que se pronostica una disminución en los niveles de precipitación del país trayendo consigo escases de recursos hídricos, sin embargo, aunque haya una disminución se seguirán presentando lluvias más intensas. Según el informe el IPCC (2008) “se ha observado en todo el mundo un aumento de episodios de precipitación intensa, incluso en lugares en que la cantidad total ha disminuido”.

De acuerdo al informe mensual del mes de enero de la CONAGUA (2020) sobre el clima “Las regiones occidente, centro-norte y oriente se observaron por arriba del promedio, el resto del país, mantuvo anomalías por debajo y cercanas a lo normal” (p.26). para el periodo de 12 meses se puede observar que solo siete estados se

mantuvieron con precipitación por arriba del promedio histórico, mientras que 17 entidades federativas han permanecido por debajo de este promedio para el mes de enero de 2020 (CONAGUA, 2020). Entre los estados en los que se registró una precipitación por debajo están Chiapas, Tabasco y Oaxaca.

Grafica 6.2. Clasificación de Lluvias promedio a nivel nacional y estatal para varias escalas de tiempo hasta el 31 de enero de 2020.



Fuente: CONAGUA, 2020.

Cabe mencionar que a pesar que en estos estados hubo baja de precipitación respecto al promedio histórico, durante el año, también se registraron niveles de precipitación máxima que rompieron records, en Oaxaca 97.3 mm el 20 de enero, en Puebla 99.5 mm el 20 de enero, y Veracruz con 95.2 mm el 19 de enero (CONAGUA, 2020). Esto confirma que efectivamente hay menor precipitación total anual, pero con lluvias más intensas.

En lo que respecta al verano, se muestra en el mapa 6.3, los estados que presentarán mayores niveles de precipitación serán del sur y toda la costa del

pacífico, alcanzando niveles hasta de los 1200 mm en una parte de Chiapas, Guerrero y una pequeña parte de Veracruz.

Mapa. 6.3 Escenario de CC para México, horizonte cercano 2015-2039.



Fuente: Repositorio Institucional CCA, UNAM.

“Los estados más afectados, en cuanto a la disminución en el volumen precipitado se ubican en el sureste: Yucatán (18.9%), Quintana Roo (17.6%) y Tabasco (18.87%)” (Martínez y Patiño, 2012). Sin embargo, los efectos en la disminución de precipitación serán menores que en la región norte del país.

En un estudio realizado por Bates *et al.* (2007) se proyectaba que eventos hidrometeorológicos extremos (en particular lluvias torrenciales, ciclones tropicales y huracanes) podrían incrementarse, al igual que la ocurrencia de inundaciones y riesgos a la salud por daños a los sistemas de distribución de agua y drenaje, incrementando las enfermedades de origen hídrico. En el estudio realizado por Montero Martínez *et al.* (2010) la temperatura de la superficie del Mar Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano aumentaría entre 1 y 1.5° C, situación que favorecería la ocurrencia de ciclones tropicales y huracanes en los próximos años. Así mismo de acuerdo a datos de la SEMARNAT la temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano aumentaría entre 1 y 2°C

hacia el año 2020, y surgirían huracanes con categorías superiores a las de la escala Saffir-Simpson, debido en primera instancia a que las aguas calientes de los mares aumentan la fuerza de los huracanes y en consecuencia la magnitud de sus daños (SEMARNAT, 2016). Nueve sistemas se catalogaron en categorías 3, 4 y 5 en la escala de Saffir-Simpson, de los cuales cuatro tocaron tierra en costas de México, informó el SMN, El huracán llamado Patricia fue el más intenso de la historia de las cuencas del Pacífico Nororiental y Atlántico.

De acuerdo a los datos de CONAGUA, durante el 2015 se presentaron un total de 34 ciclones, de los cuales 12 se presentaron en el Océano Atlántico. Lo anterior se puede explicar debido al episodio de *El Niño* quien altera la actividad ciclónica. Respecto al 2016, la temporada de ciclones fue muy activa, aunque menor que la del año pasado, acumulando un total de 15 sistemas de los cuales 8 fueron tormentas tropicales, 4 huracanes moderados y 3 huracanes intensos. De acuerdo a la Declaración sobre el clima a nivel mundial 2016, Las temperaturas registradas del Pacífico ecuatorial estuvieron por debajo del promedio durante la mayor parte de la segunda mitad de 2016, para el término de este año los casos confirmados de malaria aumentaron considerablemente.

En mayo y a comienzos de junio se registraron niveles de precipitación superiores a la media de forma constante en algunas zonas de Europa Occidental, tal como se mostró en el análisis, en especial en estos meses Chiapas acumuló un total de 111 casos de los 330 presentados en el año. Los datos obtenidos de precipitación en el periodo del 2015-2018 en el sur – sureste del país, muestran un claro ascenso en los niveles de precipitación producto de la variabilidad que está presentando el clima a nivel mundial. Durante el periodo de análisis el 2017 tiene el registro más alto de precipitación. De acuerdo al informe de la CONAGUA, para el 2017 se habían pronosticado entre 3 y 5 ciclones que impactarían de forma directamente en el país y se pronosticaban 27 ciclones tropicales en el Golfo de México, el Atlántico el Pacífico, adelantándose así la temporada de ciclones. La temporada de ciclones comenzó el 1 de junio y finalizó el 30 de noviembre, lapso de tiempo en el que se

dispararon los casos por malaria en estados como Chiapas, Quintana Roo y Campeche según los datos obtenidos de la DGE del 2017.

El Servicio Meteorológico Nacional anuncio que durante la temporada de ciclones tropicales 2018, seis de estos sistemas impactaron directamente a la República Mexicana en total se desarrollaron 41 ciclones tropicales en las cuencas del Pacífico Nororiental y del Atlántico Norte, los niveles de precipitación registrados fueron menores a los del 2017, a nivel nacional el mes de febrero de 2018, finalizó con una precipitación promedio de 17.6 mm (102.8% de lo normal) lo que permitió que se clasificará como el 36° febrero más húmedo en el periodo de 1941-2018, sin embargo las lluvias del mes se distribuyeron por arriba del promedio en regiones del noroeste, centro-norte, centro-occidente y oriente del país (CONAGUA, 2018), los sistemas que ocasionaron las lluvias fueron la entrada de humedad del Pacífico que transportó la corriente en chorro, seis frentes fríos y la cuarta tormenta invernal.

En la región sur-sureste del país se presentaron lluvias por debajo de los registros normales durante este mes, causando un desequilibrio en los niveles de precipitación. De acuerdo a la CONAGUA (2018):

En Chiapas llovió 37.7% por debajo de lo normal, Quintana Roo 46.7% de lo normal. La precipitación nacional del invierno (diciembre 2017 a febrero 2018) fue de 67.7 mm, 2.8 mm por debajo del promedio de 1941-2017 y se clasificó como el 42° invierno más seco de los últimos 78 años (p.11).

Sin embargo, al iniciar la temporada de ciclones el 9 de mayo del 2018 en este mes Chiapas registro un total de 90 casos de malaria y en junio presento un total de 60 casos, lo antes mencionado evidencia que a la llegada de los ciclones al país la incidencia de malaria se disparó considerablemente en este estado pero por otro lado, los demás estados de la región que presentan casos de malaria no se vieron afectados ya que no presentaron un aumento considerable de la misma, esto tiene que ver en buena medida por el descenso en los niveles de precipitación en la región como se hizo mención antes, siendo estados como Campeche y Quintana Roo de los más afectados.

Es ineludible el impacto que tiene el CCGC en los niveles y el patrón de distribución de la precipitación en la república mexicana. En el periodo 2015-2018 ciclones, huracanes, tormentas, episodios de *El niño* ENOS se presentaron con mayor intensidad que años anteriores, pero también periodos de sequias por altas temperaturas y escasez de lluvia en partes de México, instituciones como el IPCC, NOAA, muestran en estudios realizados que los efectos del CCG van en aumento y por ende el desequilibrio en el clima global será en los futuros años cada vez mayor.

A continuación, se presenta las conclusiones del capítulo.

6.3 Conclusiones

En el capítulo se analizó la relación existente entre la precipitación y la distribución geográfica de la malaria en la zona sur-sureste del país y como el CCG esa afectando los niveles de precipitación. Existe una coincidencia espacial entre la humedad y la ocurrencia del vector, sin embargo, para obtener datos que muestren una correlación se necesitan incluir más factores, tales como la migración y saneamiento básico, sin embargo, ambientes húmedos durante un largo tiempo son propicios para la reproducción del vector. Algo que es importante mencionar es que Chiapas tiene índices altos de marginación social, por lo que la infraestructura de saneamiento básico es deficiente y parte de la población tiene contenedores de agua lo que genera la proliferación de estos mosquitos, así como no cuentan con agua potable eficiente en muchas localidades.

De acuerdo al Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018, la zona sur-sureste esta carente de una buena infraestructura en materia de saneamiento básico. Lo antes mencionado tiene serias implicaciones ya que como se mencionó la gente al no tener las suficientes instalaciones de agua la tienen que guardar en contenedores y esto genera la proliferación de mosquitos. Al respecto son varios los estudios que se están realizando respecto al saneamiento básico y su relación con enfermedades

transmitidas por vectores, conviene estudiar y analizar esta relación en otra investigación.

A continuación, se presenta el capítulo correspondiente a las conclusiones generales.

Capítulo 7. Conclusiones Generales

La presente investigación mostro la utilidad de los sistemas de información geográfica en análisis espaciales de corte epidemiológicos. Estos análisis cartográficos permiten conocer, estudiar el comportamiento y patrón de distribución de un vector de manera más específica ya que al permitir utilizar una serie de datos y espacializarlos brinda un panorama más amplio del tema. Así mismo estos análisis permiten alertar sobre posibles pandemias, ya que al saber a qué condiciones obedece alguna enfermedad epidemiológica o las regiones en las que se encuentra distribuida permite identificar las zonas que están vulnerables al contagio para así poder tomar las mejores decisiones a la hora de plantear estrategias para su control y su posterior erradicación.

Con base en el análisis espacial realizado en la región sur-sureste de México se comprobó a partir de los datos obtenidos de CONAGUA, del SMN y la Secretaria de Salud a través del SINAVE existe una coincidencia espacial entre la distribución geográfica de la malaria con la temperatura y precipitación, estos datos permitieron mostrar que los estados de la zona de análisis con registros de casos de malaria presentan las condiciones de temperatura y precipitación a las que obedece el vector, mostrándose espacialmente dicha relación mediante una yuxtaposición de los datos de temperatura y precipitación con los datos de registros de malaria durante el periodo 2015-2018. Así mismo se identificaron los estados vulnerables ante posibles contagios, que, aunque no se han registrado casos en los últimos años presentan las condiciones óptimas para un brote de malaria.

Se mostró que el cambio climático global está afectando la ocurrencia de la malaria en el mundo y en México. Los eventos meteorológicos que se presentan con mayor intensidad y en mayor número están generando un desequilibrio en el clima y este a su vez en la distribución de la malaria, disparándola a zonas donde antes no se habían registrados casos. Aunque este tema aun no esté muy abordado en México no significa que no sea lo suficientemente importante para no abordarlo, ya que es

un problema de índole ambiental que si no se estudia con profundidad no se podrá afrontar una posible epidemia de malaria en el país, pero también de otras enfermedades que responden a variables climáticas como el dengue. Actualmente sigue siendo muy debatido el como el calentamiento global está influenciando a la malaria, según el IPCC existen escenarios para el 2080 en donde se muestra un movimiento de malaria hacia zonas donde no hay, pero también fuera de otras por lo que no se sabe el número neto de personas vulnerables en zonas de malaria, por otro lado, hay escenarios donde se predice zonas de malaria extensas y expandiéndose por lo que cientos de miles de personas quedarían expuestas.

En especial México por ser vulnerable ante el CCG debe prestar atención e incentivar los estudios que impliquen enfermedades epidemiológicas y clima, ya que el país tendría grandes pérdidas no solo humanas si no también económicas. Aunque la información obtenida producto de los resultados de la investigación es básica, es útil para la planificación de intervenciones y políticas de salud pública. La información sobre la malaria en México no es mucha por lo que se tuvo que apoyar en estudios extranjeros, esto fue una limitante ya que estos estudios no abordan de manera más específica el problema de la malaria en México y sus implicaciones, no hay escenarios o predicciones futuras ante posibles brotes de malaria en el país, considero que en buena medida es porque no se ha convertido en un problema de salud grave como lo es por mencionar un ejemplo en África, además estos estudios de predicción de brotes epidemiológicos requieren mayor información con la cual no se contó en esta investigación y que ayudaría a saber qué nivel de vulnerabilidad tiene la región sur-sureste ante un brote de malaria futuro.

Aunque en la presente investigación se analizó la relación de la malaria con factores climáticos, también hay factores sociales que inciden en la ocurrencia y propagación de esta enfermedad como la falta de saneamiento básico, pero también la migración, por la naturaleza de este estudio no se abordaron estos factores, sólo a manera de mención se expuso que la falta de una buena estructura de saneamiento básico en la región sur-sureste de México hace a la región más vulnerable a la malaria, por lo que fortalecer los programas de construcción de infraestructura de

saneamiento básico en esta región sería un buena estrategia para disminuir los casos de contagio, sin embargo sería bueno realizar estudios que hablen al respecto, el tomar en cuenta todos los factores que inciden en la presencia de malaria ayudarían a plantear estrategias y programas de erradicación más exitosos.

Bibliografía

Afrane YA, Zhou G, Lawson BW, Githeko AK, Yan G. (2006). Effects of microclimatic changes caused by deforestation on the survivorship and reproductive fitness of *Anopheles gambiae* in western Kenya highlands. *Am J Trop Med Hyg*, 74(5): 772-78.

AIM. (2016). Invirtiendo por un mundo libre de malaria. *Roll Back Malaria Alianza*. Retrieved from http://www.rollbackmalaria.org/files/files/aim/RBM_AIM_Advocacy_pull-out_AW_ES-lores.pdf

Alberto Gómez Elipe. (2007). Dinámica de la Malaria En Karuzi, Burundi 1997–2003: Descripción de la Epidemia De 2000–2001 y Creación de Modelos Predictivos de Incidencia a través de la Asociación con Variables Medioambientales (Tesis Doctoral). *Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Medicina*.

Agencia Angola Press (2012). Reducción de malaria en el país depende de saneamiento básico - garantiza político. ANGOP. Retrieved from http://www.angop.ao/angola/es_es/noticias/sociedade/2012/2/12/Reduccion-malaria-pais-depende-saneamiento-basico-garantiza-politico,81fac5c4-a4fa-4ddf-8d25-79f9e7034f99.html

ANGOP. (2013). Combate a malaria pasa por mejoría de calidad de diagnóstico. *Agencia Angola Press(ANGOP)*. Retrieved from http://www.angop.ao/angola/es_es/noticias/saude/2013/10/46/Combate-malaria-pasa-por-mejoria-calidad-diagnostico,ff714b8d-f6d3-4354-9285-827e0187e5ac.html

Antea Roncero Benavente. (2015). *Enfermedades Infectocontagiosas Transmisibles por Vectores: La Malaria* (tesis de grado). Facultad de Veterinaria, Cáceres. Retrieved from <https://normasapa.com/como-referenciar-trabajo-de-grado-o-tesis-con-normas-apa/>

Aristides A. Moll. (1937). Anópeles y Paludismo de Altura. *Oficina Sanitaria Panamericana*. Retrieved from:

<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/15576/v16n12p1133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Banco Mundial. (2019). Agua, Saneamiento y Pobreza. Retrieved from: <https://www.bancomundial.org/es/who-we-are>

Banco Mundial. *Mexico leading the agenda on mitigation and adaptation to climate change*. Washington, BM, 2010. Retrieved from <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/588351544812277321/pdf/Mexico-Systematic-Country-Diagnostic.pdf>

Beehler, B. & Pruett-Jones, S. G. (1983). Display dispersion and diet of birds of paradise: a comparison of nine species. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 13(3), 229-238. <https://doi.org/10.1007/BF00299927>

Betanzos, R. A. F. (2011). La malaria en México. Progresos y desafíos hacia su eliminación. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 68(2): 159-168. Retrieved from: <http://www.scielo.org.mx/pdf/bmim/v68n2/v68n2a13.pdf>

Bocco, G., Urquijo, P. S. Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y Sociedad*. 2013, XXV (56), 75-101. ISSN: 1870-3925. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10225596001>

Bouma MJ & van der Kaay HJ. (1996). The El Niño Southern Oscillation and the historic malaria epidemics on the Indian subcontinent and Sri Lanka: an early warning system for future epidemics? *US National Library of Medicine National Institutes of Health*, 86–96. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8673827>

Brower V. Vector-borne diseases and global warming: are both on an upward swing? Scientists are still debating whether global warming will lead to a further spread of mosquitoes and the diseases they transmit. *EMBO Rep*. 2001; 2(9): 755-57.

Carvalho SC, Martins Junior AJ Lima JB Valle D. (2002). Temperature influence on embryonic development of *Anopheles albitarsis* and *Anopheles aquasalis*. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 97(8): 1117-20.

Cerda LJ, Valdivia CG, Valenzuela MT, Venegas LJ. Climate change and infectious diseases. (2009). A novel epidemiological scenario. *Rev Chilena infectol.* 447-52. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19194609>

Cervantes, R., Franco G.M.C., Juárez, G. A. M. (2014). Geografía ambiental de México. *UNAM*. Retrieved from <http://ru.ffyl.unam.mx/handle/10391/4415>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. (2008). Conocimiento actual de la biodiversidad. En *Capital Natural de México* (621). México: *CONABIO*. Retrieved from <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/6456.pdf>

CONAGUA & SMN. (2018). Reporte del clima en México febrero 2018. *SMN*.

CONAGUA. (2015). Comunicado de Prensa, Temporada de Ciclones Tropicales 2015. *SMN*. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/files/pdfs/comunicados-de-prensa/Comunicado811-15.pdf>

CONAGUA. (2016). Comunicado de Prensa, Temporada de Ciclones Tropicales 2016. *SMN*. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/files/pdfs/comunicados-de-prensa/Comunicado783-16.pdf>

CONAGUA. (2017). Comunicado de Prensa, Temporada de Ciclones Tropicales 2017. *SMN*. Retrieved from <https://www.gob.mx/conagua/prensa/inicio-de-la-temporada-de-lluvias-y-ciclones-tropicales-2017-109000>.

CONAGUA. (2020). Reporte del Clima en México. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/RC-Enero20.pdf>

Devi N. P y Jauhari RK. (2006). Climatic variables and malaria incidence in Dehradun, Uttaranchal, India. . *J Vector Borne Dis*, 43(1). Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Climatic+variables+and+malaria+incidence+in+Dehradun%2C+Uttaranchal%2C+India>

DIGESA / MINSA. (2011). Política Nacional de Salud Ambiental 2011-2020, 26. Retrieved from <http://www.digesa.sld.pe/publicaciones/descargas/POLITICA-DIGESA-MINSA.pdf>

Domínguez, Y. S. (2007). El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. *Rev Cubana Salud Pública*, 33, 11. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rcsp/v33n3/spu20307.pdf>

Gaston, K. J. (1996). Species range size distribution: patterns, mechanism and implications. *Journal of Animal Ecology*, 71(3), 390-399. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=162258&pid=S0188-6266201500020000100043&lng=es

Gerard Jori. (2013). El estudio de la Salud y la Enfermedad desde una perspectiva Geográfica: temas, enfoques y métodos. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, XVIII, 742-98. Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1029.htm>

Gibson, C., E. Ostrom., T. K. Ahn (2000), The concept of scale and the human immersions of global change: a survey. *Ecological Economics*, vol. 32, 217-239. Retrieved from [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921-8009\(99\)00092-0](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921-8009(99)00092-0)

Gilberto Silva-López y Luis G. Abarca Arenas. (2009). Distribución geográfica de las especies animales. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*, XXII, 34. Retrieved from: <https://www.uv.mx/iib/m-c-gilberto-silva-lopez/>

Gómez, E. A. (2007). Dinámica de la malaria en karuzi, burundi 1997–2003: descripción de la epidemia de 2000–2001 y creación de modelos predictivos de

incidencia a través de la asociación con variables medioambientales. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/7471/a37f1beaa8583dc8730ba54b8660862fec0a.pdf>

González, M., Ríos-Osorio, L., & Cardona-Arias, J. (2015). Casos de malaria importada en un municipio no endémico del nordeste antioqueño. *Archivos de Medicina*, 1–6. <https://doi.org/10.3823/1238>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Resumen para responsables de políticas, 10–40. Retrieved from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf

Guofa Zhou, Noboru Minakawa, Andrew K. Githeko, and G. Y. (2004). Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *PNAS*, 101(8). <https://doi.org/10.1073/pnas.0308714100>

Gutman, K. (2009). El Calentamiento Global, realidades y desafíos. Retrieved from <http://www.cambioclimatico.org/content/calentamiento-global-de-la-tierra-i>

Hernández, S. R., Fernández, C. C., Baptista, L. P. (2010). Metodología de la investigación. México: *McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.* Retrieved from http://jbposgrado.org/material_seminarios/HSAMPIERI/Methodologia%20Sampieri%205a%20edicion.pdf

Herrera, J. V., Epidemiología, P. S., Medicina, F. De, & Vectores, T. P. O. R. (2003). Prevención y control de la Malaria y otras enfermedades transmitidas por vectores en el Perú, 11(1).

Huang F., Zhou S., Zhang S., Wang H, T. L. (2011). Temporal correlation analysis between malaria and meteorological factors in Motuo County, Tibet. *Malaria Journal*. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-54>.

IPCC. (2018). Reporte especial, Calentamiento Global de 1.5°C. IPCC Retrieved from <https://www.ipcc.ch/sr15/>

IPCC. *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom y USA.* 2013. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf

IPCC. *The AR4 Synthesis Report.* France.2007. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>

J. Bacallao, A. Alern, L Artiles. (2002). Texto complementario de metodología de la investigación educacional. *La Habana.* Retrieved from <http://files.mytis.webnode.cl/200000014eeb34efad3/Bacallao%20y%20otros%3B%20La%20investigaci%C3%B3n%20cualitativa.pdf>

Kinley Wangdi, Tassanee Silawan, Pratap Singhasivanon, Saranath Lawpoolsri. (2010). Development of temporal modelling for forecasting and prediction of malaria infections using time-series and ARIMAX analyses: A case study in endemic districts of Bhutan. *Malaria Journal.* Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/46123558_Development_of_temporal_modelling_for_forecasting_and_prediction_of_malaria_infections_using_timeseries_and_ARIMAX_analyses_A_case_study_in_endemic_districts_of_Bhutan

Kim, J.-Y., Kim, H.-H., Na, B.-K., Kim, Y.-J., Sohn, Y., Kim, H., ... Lee, H.-W. (2012). Estimating the malaria transmission of Plasmodium vivax based on serodiagnosis. *Malaria Journal*, 11(1), 257. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-11-257>

Lazcano, P. E., Salazar M. E., Hernández A.M. (2001). Estudios epidemiológicos de casos y controles. Fundamento teórico, variantes y aplicaciones. *Salud Pública de México*, 43, 135-150. Retrieved from <https://www.scielosp.org/pdf/spm/2001.v43n2/135-150>

Lester, S. E., Ruttenberg, B. I., Gaines, S. D., & Kinlan, B. P. (2007). The relationship between dispersal ability and geographic range size, *10*(June).

Lingala, M. A. L. (2017). Effect of meteorological variables on Plasmodium vivax and Plasmodium falciparum malaria in outbreak prone districts of Rajasthan, India. *Journal of Infection and Public Health*. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2017.02.007>

Lomolino, M.V. y Brown, J. (2004). Foundations of Biogeography: Classic Papers with Commentaries. *Chicago and London: University of Chicago Press* . Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/248908408_Lomolino_M_V_Sax_D_F_Brown_J_H_Foundations_of_Biogeography_Classic_papers_with_commentaries_Chicago_and_London_University_of_Chicago_Press_2004_1291pp_some_black_and_white_illustrations_US_4500_3150_I

López Angeles. (2006). El clima de la malaria. *El Mundo. Es Salud*. Retrieved from <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2006/02/01/medicina/1138815471.html>

MalariaPartnership, B. (2017). Fore a Malaria- Freeworld. *Partnership, BackRoll Malaria*. Retrieved from <http://www.rollbackmalaria.org/about-malaria/key-facts>

Manos Unidas Campaña contra el Hambre. (2015). Luchamos para que 750 millones de personas tengan acceso al agua potable. *Manos Unidas Campaña Contra El Hambre*. Retrieved from <http://www.manosunidas.org/noticia/luchamos-para-750-millones-personas-tengan-acceso-al-agua-potable>

Martínez-Austria, Polioptro F.; Patiño-Gómez Carlos. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México Tecnología y Ciencias del Agua. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Morelos, México*, 3(1), 5-20. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531976001.pdf>

Mohammadi, M., Ansari-Moghaddam, A., Raiesi, A., Rakhshani, F., Nikpour, F., Haghdost, A., Saffari, M. (2011). Baseline results of the first malaria indicator survey in Iran at household level. *Malaria Journal*, 10, 6. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-277>

Mohammadkhani, M., Khanjani, N., Bakhtiari, B., & Sheikhzadeh, K. (2016). The relation between climatic factors and malaria incidence in Kerman, South East of Iran. *Parasite Epidemiology and Control*, 1(3), 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2016.06.001>

Mokuolu, O. A., Coker, A. O., Adejumo, M., & Sridhar, M. K. C. (2017). Modeling a covered drainage system for the reduction of malaria prevalence. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.07.009>

Morelle, R. (2014). La malaria sube a las montañas por el calentamiento global. Retrieved from http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140307_salud_malaria_calentamiento_global_altitud_np

NOAA. (2016). Global Climate Report - Annual 2015. NOAA. Retrieved from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513/supplemental/page-1>

NOAA. (2019). Global Climate Report - Annual 2018. NOAA. Retrieved from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813/supplemental/page-5>

NOAA. (2020). EL NIÑO/OSCILACION DEL SUR (ENSO por sus siglas en inglés) DISCUSION DIAGNOSTICA. NOAA. Retrieved from https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc_Sp.shtml

Núñez, H. M. (2006). SIG-ESAC: Sistema de Información Geográfica para la gestión de la estadística de salud de Cuba. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/262742699_SIG-ESAC_Sistema_de_Informacion_Geografica_para_la_gestion_de_la_estadistica_de_salud_de_Cuba

Okubo, A. & Levin, S. A. (1998). A theoretical framework for data analysis of wind dispersal of seed and pollen.

OMM. (2016). Declaración sobre el estado del clima mundial en 2016. *OMM*. Retrieved from https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3516

OMM. (2017). Declaración sobre el estado del clima mundial en 2017. *OMM*, 1212, 10. Retrieved from https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4454

OMM. (2018). Declaración sobre el estado del clima mundial en 2018. *OMM*: 8. Retrieved from https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5845

OMS & OPS. (2012). La Alteración del Medio Ambiente. *OMS/OPS*. Retrieved from http://www.paho.org/salud-en-las-americas-2012/index.php?option=com_content&view=article&id=56%3Athe-environment-and-human-security&catid=24%3Achapters&Itemid=162&lang=es#ref59

OMS. (2017). Paludismo: información para viajeros. *OMS*. Retrieved from <http://www.who.int/malaria/travellers/es/>

OMS. (2018). INFORME MUNDIAL SOBRE EL PALUDISMO 2019. *OMS*:10. Retrieved from <https://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2019/World-Malaria-Report-2019-briefing-kit-es.pdf?ua=1>.

OPS. (2012). Lineamientos para prevención y control de malaria en poblaciones en circunstancias ESPECIALES. *OPS/Brasil*. Retrieved from <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/LINEAMIENTOS-con-PCE.pdf>

Parham Paul Edwar y Michael Edwar. (2010). Modeling the Effects of Weather and Climate Change on Malaria Transmission. *Environ Health Perspectv.*, 118(5). Retrieved from <https://doi.org/10.1289/ehp.0901256>

Rúa G, Quiñones ML, Vélez ID, Zuluaga JS, Rojas W, Poveda G, et al. (2005). Laboratory estimation of the effects of increasing temperatures on the duration of gonotrophic cycle of *Anopheles albimanus* (Diptera: Culicidae). *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 100(5): 515-20.

Rodríguez. (2006). Estudio diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México. México. *Instituto Nacional de*

Ecología.

Retrieved

from

<http://www2.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2006h.pdf>

Ruiz, R. N., Galicia, L. (2016). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientales. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, ISSN 0188-4611, 137-157. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-46112016000100137&lng=es&nrm=iso

Salud, O. P. (2016). Brasil - Recomendaciones de salud para quienes viajen a los Juegos Olímpicos y Paralímpicos de verano del 2016. *Salud, Organización Panamericana de La Salud*. Retrieved from http://www2.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12226%3Abrazil-health-advice-for-travellers-2016-summer-olympic-paralympic-games&Itemid=135&lang=es

Secretaria de Salud. (2015). *Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia. DGE*. Retrieved from <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/historico-boletin-epidemiologico>

Secretaria de Salud. (2016). *Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia. DGE*. Retrieved from <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/historico-boletin-epidemiologico>

Secretaria de Salud. (2017). *Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia. DGE*. Retrieved from <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/historico-boletin-epidemiologico>

Secretaria de Salud. (2018). *Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia. DGE*. Retrieved from <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/historico-boletin-epidemiologico>

SEMARNAT. (2015). Cambio Climático. ATMOSFERA. Retrieved From https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_2_3.html

SEMARNAT. (2016). México, Territorio Vulnerable ante Huracanes. *Gobierno de México*. Retrieved From <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-territorio-vulnerable-ante-huracanes>

Serpa, M. I. (2001). Los Sistemas de Información Geográfica en Epidemiología. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 2. Retrieved from http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/aparevista.html

SMN & CONAGUA. (2018). Reporte del Clima en México. Reporte del Clima en México. *SMN* 8, 29. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/R-C-Febrero18.pdf>

Sorre, M. (1933). Complexes pathogènes et géographie Médicale. *Annales de Géographie*, XLII, 18. Retrieved from https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1933_num_42_235_10619

Takahashi K. (2017). Física del Fenómeno El Niño "Costero". Fenómeno El Niño: "Global" vs "Costero". *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, octubre, 4, 10, 4-7. Retrieved from http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/Divulgacion_PPR_El_Nino_IGP_201710.pdf

UNESCO. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. Retrieved from <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

El Universal. (2014). El cambio climático expande la malaria a latitudes más altas. *El Universal*. Retrieved from <http://www.eluniversal.com/vida/140308/el-cambio-climatico-expande-la-malaria-a-latitudes-mas-altas>

Warrell D.A & Gilles HM. (2002). Essential Malariology. *Hodder Arnold*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2866676/#b18-ehp-118-620>

Webster, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry y H. R. Chang. (2005). Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science* 309: 1844-1846. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16166514>

WHO. (2004). The World Health Report 2004: Changing History. Geneva: World Health Organization.

Wiens, JJ & Graham, C. (2005). Nicho de conservadurismo: evolución integrerande, la ecología y la biología de la conservación. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 36, 519–539. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=162444&pid=S0188-6266201500020000100136&lng=es

Yan Bi, Weiwei Yu, Wenbiao Hu, Hualiang Lin, Yuming Guo, X.-N. Z. and S. T. (2013). Impact of climate variability on Plasmodium vivax and Plasmodium falciparum malaria in Yunnan Province, China. *Parasites & Vectors*. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-357>

Ying Zhang & Peng Bi, J. E. H. (2010). Meteorological variables and malaria in a Chinese temperate city: A twenty-year time-series data analysis. *Environment International*, 36(5), 439–445. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412010000383>

Zunino, M. y Zullini, A. (2003). Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución. México. *Fondo de Cultura Económica*.

