

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador

Departamento de Asuntos Públicos

Convocatoria 2018-2019 (Modalidad Virtual)

Tesina para obtener el título de especialización en Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades

Cambio climático y salud pública. Guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes Aegypti* como transmisor de enfermedades infecciosas por efecto del cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

Ana Belén Ortega Mora

Asesora: Yolanda Rojas

Lector: Pablo Cabrera

Quito, junio de 2020

Dedicatoria

A mis 4 abuelitos.

A todos los mártires ambientales cuyas vidas han sido injustamente arrebatadas a causa de sus acciones de defensa de la casa común.

A todos quienes me dieron una o varias palabras de apoyo y motivación durante el proceso de esta tesina.

A mi asesora Yoli Rojas.

Tabla de contenidos

Resumen	VI
Introducción	1
Capítulo 1	3
Cambio climático y salud pública	3
Contexto, marco teórico conceptual y metodológico	3
1.1. Contexto.....	3
1.2. Marco teórico conceptual	6
1.3. Marco metodológico.....	13
Capítulo 2	17
Proyecciones climáticas y presencia de <i>Aedes aegypti</i> en el DMQ	17
2.1. Selección de fuentes secundarias en base a criterios	17
2.1.1. Criterio de adecuación temática	17
2.1.2. Criterio de suficiencia mínima	18
2.1.3 Criterio de fiabilidad de la fuente y Criterio cronológico de la información	19
2.2. Proyecciones climáticas del DMQ	20
2.3. Presencia de enfermedades transmitidas por <i>Aedes aegypti</i> en el DMQ	26
2.4. Temperatura que soporta el vector <i>Aedes aegypti</i>	32
2.5 Sensores Remotos.....	32
Capítulo 3	34
Propuesta de guía metodológica para estimar la presencia de <i>Aedes aegypti</i> a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura	34
3.1. Consideraciones previas a la guía metodológica para estimar la presencia de <i>Aedes aegypti</i> a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura	34
3.2. Guía Metodológica	37
Recomendaciones	46
Apéndices	47
Anexo 1: Características de las fuentes secundarias	47
Lista de referencias	56

Ilustraciones

Tablas

Tabla 1. Campos del cuadro comparativo y ejemplo del uso de colores para fuentes con.....18	18
criterio de suficiencia mínima	18
Tabla 2: Fuentes bibliográficas con criterio de fiabilidad de la fuente y criterio cronológico de la información	19
Tabla 3. Parroquias urbanas y rurales del DMQ	21
Tabla 4. Casos totales de dengue confirmados y tasas de incidencia en Pichincha y Quito,...27	27
períodos 2017 a 2019	27
Tabla 5. Casos totales de chikungunya confirmados y tasas de incidencia en Pichincha y28	28
Quito, períodos 2014 a 2019	28
Tabla 6. Casos totales de zika confirmados y tasas de incidencia en Pichincha y Quito,.....29	29
períodos 2017 a 2019	29
Tabla 7. Formato de tabla para colocar los datos necesarios en el cálculo de la regresión.....41	41
lineal múltiple.....	41

Figuras

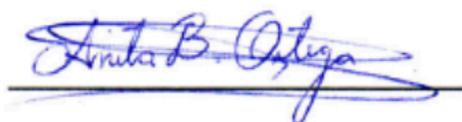
Figura 1. Parroquias rurales del DMQ	22
Figura 2. Temperatura histórica (1961-2010) y proyectada del DMQ.....	24
Figura 3. Proyección espacial a 2050 de los cambios en la temperatura promedio en el.....27	27
DMQ.....	25
Figura 4. Casos totales de enfermedades vectoriales en Ecuador desde el año 2015 a 2019..	27
Figura 5 Comportamiento del Dengue por Semanas Epidemiológicas 01 hasta 52 de los.....29	29
años 2017-2018; y SE 01 hasta SE 32 año 2019.....	28
Figura 6: Mapa con los tipos de clima del noroccidente del DMQ en 2015	31

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesina

Yo, Ana Belén Ortega Mora, autora de la tesina titulada “Cambio climático y salud pública. Guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes Aegypti* como transmisor de enfermedades infecciosas por efecto del cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)” declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de especialización en Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades, concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, junio de 2020



Ana Belén Ortega Mora

Resumen

Uno de los principales riesgos para la salud pública como consecuencia del cambio climático son las enfermedades vectoriales. Históricamente, América Latina y el Caribe han estado en situación de riesgo frente a estas enfermedades de origen vectorial, especialmente en lo que respecta a Dengue, cuyo vector es el mosquito *Aedes aegypti*. Para esta especie de mosquito, numerosos estudios han demostrado que las variables de temperatura, precipitación y aspectos socioeconómicos de la población son determinantes para estimar la presencia de este vector en las ciudades. El alto índice de vulnerabilidad al cambio climático de la ciudad de Quito evidencia la necesidad de estimar la presencia de *Aedes aegypti* como transmisor de enfermedades infecciosas por efecto del cambio climático a través del diseño de una guía metodológica que facilite su estimación y que sea una herramienta para prevenir futuros episodios entomológicos en el distrito.

Tras una revisión de veinte fuentes bibliográficas secundarias seleccionadas en base a criterios, se definió que la metodología de la guía siguiera el siguiente proceso: recolección de datos entomológicos para *Aedes aegypti*, obtención de datos de variables ambientales del sensor remoto MODIS, cálculo de la ecuación del modelo usando regresión lineal, validación de la ecuación del modelo y estimación a futuro de la presencia de *Aedes aegypti*. Se sugirió la aplicación de la guía en las parroquias de Nono, San José de Minas, Nanegal y Calacalí, considerando el aumento de temperatura que experimentarán según las proyecciones a 2050 del distrito.

Se concluye que la guía metodológica propuesta permitirá estimar a futuro la presencia de *Aedes aegypti* bajo condiciones de cambio climático en el DMQ, debido a que el procedimiento empleado usa la información que dispone el distrito junto con la data de libre acceso de un sensor remoto; y se construyó en base a la metodología usada y validada para un estudio en una ciudad de Argentina. Además, se determinó la importancia de que el distrito comience a realizar esfuerzos hacia un efectivo control de las enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti*, que son dengue, zika y chikungunya. La implementación de esta guía metodológica permitirá una mayor claridad en la toma de decisiones de las autoridades correspondientes frente a las parroquias más vulnerables a la expansión o colonización del mosquito. De esa manera, se podrá direccionar los recursos y presupuestos a los sitios más

expuestos a la presencia de *Aedes aegypti* a futuro dentro del distrito, en lugar de designarlos arbitrariamente sin criterio alguno.

Introducción

Se conoce que, hasta mediados de siglo, el cambio climático hará que incremente el rango de afectación de enfermedades ya existentes, entre ellas aquellas que son transmitidas por vectores. Se ha demostrado que los cambios en la precipitación y temperatura han modificado la distribución de enfermedades vectoriales. El DMQ al presentar distintos pisos climáticos, proyecciones con marcados incrementos de temperatura a 2050 y actividad vectorial en las parroquias con climas más cálidos, coloca a la vigilancia entomológica como una acción pendiente de abordar dentro del distrito.

De esta manera, la presente investigación busca responder la siguiente pregunta: ¿Cómo estimar prospectivamente la presencia de *Aedes aegypti* como transmisor de enfermedades infecciosas en el Distrito Metropolitano de Quito por efecto del cambio climático?, para abordar directamente uno de los impactos del cambio climático a nivel de ciudad en lo que concierne a salud pública, que corresponde a las enfermedades vectoriales. La investigación plantea como objetivos: a) Correlacionar los cambios en la temperatura del DMQ con la futura colonización de *Aedes aegypti* a partir de las proyecciones climáticas existentes, b) Identificar las zonas y niveles de riesgo del DMQ ante la presencia prospectiva de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* por efecto del cambio climático, c) Determinar la mejor metodología, aplicable al DMQ, para estimar la presencia de *Aedes Aegypti* bajo escenarios de cambio de temperatura. Estos objetivos se desarrollaron a lo largo de los capítulos de esta tesina.

El enfoque metodológico se concentró en una revisión de fuentes secundarias bajo criterios de selección como adecuación temática, suficiencia mínima, fiabilidad de la fuente y cronológico de la información. En base a las fuentes que cumplían con todos los criterios se desarrolló la guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura. Se realizó finalmente una revisión de pares que aprobaron el proceso paso a paso de la guía, la cual constó de las siguientes etapas: muestreo de huevos de *Aedes aegypti* con el uso de ovitrampas, descarga de data de variables ambientales desde el sensor remoto MODIS, cálculo de la ecuación de regresión lineal múltiple, validación de la ecuación del modelo, estimación de la presencia a futuro del vector a través del reemplazo de variables proyectadas en la ecuación del modelo.

En el primer capítulo se presentó los conceptos relacionados con cambio climático, salud pública, enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* y su relación entre ellos y el marco metodológico. El segundo capítulo describe el desarrollo metodológico, los criterios de selección de fuentes secundarias, las proyecciones climáticas a futuro del DMQ, la actividad vectorial de *A. aegypti* dentro del distrito, los límites biológicos del vector en cuanto a temperatura y una aproximación a los sensores remotos. El tercer y último capítulo se constituye en el aporte de la investigación a través del diseño de la “guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura”, que muestra el procedimiento a seguir dentro de sus cinco etapas (recolección de datos entomológicos para *Aedes aegypti*, obtención de datos de variables ambientales del sensor remoto MODIS, cálculo de la ecuación del modelo usando regresión lineal, validación de la ecuación del modelo y estimación a futuro de la presencia de *Aedes aegypti*), donde también se incluyeron consideraciones técnicas para su aplicación.

Capítulo 1

Cambio climático y salud pública

Contexto, marco teórico conceptual y metodológico

Este capítulo aborda la relación que existe entre cambio climático, salud pública y enfermedades vectoriales, específicamente aquellas transmitidas por la especie vector *Aedes aegypti*, los factores de distribución geográfica de enfermedades vectoriales y los posibles escenarios bajo influencia de cambios en la temperatura y precipitación. Además, describe la metodología a seguir para la construcción de la guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ.

1.1. Contexto

Los impactos del cambio climático generan cambios sustantivos en sectores como: “agricultura, bosques, turismo, desarrollo urbano, salud de la población, recursos hídricos, biodiversidad, servicios ecosistémicos” (Carlino, y otros 2016, 49). Uno de estos impactos, y quizás el más importante, es en el campo de la salud, ya que, si bien las causas antropogénicas del cambio climático se han justificado a sí mismas bajo la bandera del desarrollo de la sociedad, es ahora la misma población humana la que se ve afectada en su bienestar. Los eventos meteorológicos extremos provocan inundaciones, sequías, olas de calor, estrés hídrico y alimentario que generan a su vez riesgos para la salud, entre ellos enfermedades de origen vectorial (Andradas y García 2017). Por consiguiente, si un clima estable ofrece salud a la población (OMS 2003), el cambio climático deberá ser considerado en lo que respecta a temas de salud pública en las ciudades, como una prioridad.

A nivel global, los científicos establecen que el impacto del cambio climático en la salud de las personas será mayormente adverso, pero en las ciudades los impactos dependerán de las condiciones ambientales propias de la zona de estudio, situación socioeconómica y acciones sociales que reduzcan las amenazas en el sector de la salud (OMS 2003). Respecto a las condiciones ambientales, estudios científicos han encontrado que cambios en la temperatura y el aumento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos podrían influenciar a nivel global la presencia de enfermedades transmitidas por vectores (Schvoerer, y otros 2008). Igualmente, la información de escala planetaria, confirma la amenaza de este tipo de enfermedades, especialmente dengue, malaria y fiebre amarilla, al colocarlas dentro de las dos

principales alteraciones sobre la salud humana como consecuencia del cambio climático, junto con la alteración de la latitud y altitud (OMS 2003).

El cambio climático trae nuevos escenarios de relación dinámica de la presencia de vectores entre los entornos urbanos, sin embargo, las condiciones climáticas no son las únicas que deben ser tomadas en cuenta para la proyección de escenarios futuros, factores como: disponibilidad de agua potable, disposición final de desechos, niveles de educación ambiental, infraestructura de salud, ordenamiento territorial (Sáez y Colmenares 2013) y pérdida de áreas forestales por el cambio en el uso de suelo, también influyen (Forshey, y otros 2010).

Las enfermedades transmitidas por vectores son aquellas que se propagan a través de insectos, los cuales actúan como medio de transmisión de la infección desde una persona a otra, o desde un animal huésped a una persona. Son muchas las enfermedades que pueden ser transmitidas por vectores, ya sean estas virales (virus), bacterianas (bacterias) o parasitarias (parásitos), y sus vectores representan la mayor causa microbiana de morbilidad y mortalidad en el mundo (Hunter 2003). Un ejemplo, es el virus del dengue que está presente en todo el mundo; por lo general, las enfermedades virales emergentes comparten la capacidad de expandirse tanto en sus huéspedes como en el rango geográfico y las zonas con condiciones de calor y humedad son propicias para que estas emerjan y perjudiquen a los asentamientos humanos (Forshey, y otros 2010).

En varios lugares del mundo las alteraciones climáticas (precipitaciones y temperatura) han estado directamente relacionadas con la presencia o ausencia de vectores portadores de enfermedades, por lo general, con lluvias extremas, también han incrementado los episodios de enfermedades de arbovirus (Sáez y Colmenares 2013). Además, estudios científicos han demostrado que los cambios en la temperatura afectan a la distribución geográfica de las enfermedades transmitidas por vectores, por ejemplo, un aumento de temperatura proporciona condiciones climáticas favorables para que se transmitan ciertas enfermedades, como la malaria, desde vectores (Hunter 2003).

Por otro lado, entre las enfermedades tropicales a nivel mundial, el dengue es aquella de más rápida propagación, y el clima junto con las actividades antropogénicas influencia las dinámicas poblacionales del vector que transmite el dengue, *Aedes aegypti* (A. Stewart, y otros 2013). En América Latina y el Caribe, la realidad no se aleja de lo que sucede en el

contexto global, ya que el dengue es la enfermedad transmitida por vectores más ampliamente distribuida, afectando a 51 países y territorios de la región, y colocando a 562 millones de personas en situación de riesgo, con 483 muertes por año entre 1999 y 2014 (PAHO/WHO 2014).

Sin embargo, muy poco se sabe sobre la dinámica de las enfermedades transmitidas por vectores a nivel mundial, a pesar de ser un tema de salud pública, especialmente en lo que respecta a la distribución geográfica, impacto relativo y factores de riesgo de la infección (Forshey, y otros 2010). Y cuando se relacionan estas enfermedades con el fenómeno de cambio climático, la dinámica se vuelve mucho más interactiva, ya que intervienen las “condiciones climáticas, desplazamientos demográficos, deforestación, cambio en el uso de suelo, pérdida de biodiversidad (ejemplo: predadores de mosquitos desaparecen), las configuraciones superficiales de aguas dulces y densidad de la población humana” (OMS 2003, 11).

Según un estudio de la CAF, Ecuador presenta un Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVCC) de 3.76, lo cual lo posiciona en una categoría de IVCC alto, según su grado de exposición al peligro, el grado de sensibilidad en el sistema y la capacidad de adaptación al cambio. Por otro lado, la ciudad de Quito, “con una población de 2.7 millones de habitantes” (Quito Alcaldía 2017, 11), tiene un IVCC de 0.90, el cual hace referencia al nivel más alto de IVCC, la categoría extrema (CAF 2014). Por esta razón es necesario comprender la dinámica de interacción entre vectores y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), relacionando el IVCC de Quito con la información que se cuenta a escala regional sobre los cambios en el clima a futuro, los cuales muestran que “las temperaturas mínimas incrementarán proporcionalmente más que las temperaturas máximas en el área de estudio provocando la expansión, reducción o cambio en la distribución de poblaciones de insectos vectores” (León, y otros 2015, 8). Y Ecuador cuenta con muy pocos estudios específicos y complementarios que abordan el riesgo de transmisión de enfermedades por vectores (Navarro, y otros 2015).

De acuerdo al Ministerio de Salud Pública del Ecuador, las enfermedades transmitidas por el vector *Aedes aegypti* han causado preocupación en la provincia de Pichincha. En el 2008 se reportaron 478 casos de dengue que disminuyeron a 155 en el 2014, mientras que en el 2015 hubo 9 casos sospechosos de Chikungunya; ambas enfermedades transmitidas por *A. aegypti*

(León, y otros 2015). Siendo este vector propio de actividad doméstica hace que el ambiente de las urbes no implique dificultades para su desarrollo (Carrada, Vázquez y López 1984), sobre todo si se suman variables climáticas que favorezcan a su especie.

Desde esta perspectiva y al comprender la compleja relación de los entornos urbanos y los efectos que el cambio climático pueden provocar en la salud pública, es fundamental empezar a generar guías metodológicas que permitan estimar la presencia *de Aedes aegypti* por efecto del cambio climático en el DMQ, que puedan ser incluidas de manera integral en el Plan de Acción Climática 2050 y en los programas del sector salud, además de generar nuevas reflexiones e interrogantes para ser investigados.

Por estas razones, la tesina aporta con una guía confiable para entender la dinámica entre las variables de cambio climático y presencia de *Aedes aegypti*. La guía diseñada en el marco de esta investigación puede ser aplicada por entidades distritales o incluso la misma academia, ahorrando tiempo que por defecto hubiera sido invertido en su diseño.

1.2. Marco teórico conceptual

Se conoce como cambio climático a los cambios en el clima, debido a causas naturales o por la actividad humana, que modifican la composición atmosférica del planeta y cuya variabilidad reflejada puede ser comparada durante períodos de tiempo (IDEAM 2014). “La influencia del ser humano ha alterado los ecosistemas locales y modificado los climas regionales; y estos cambios causan que a largo plazo la salud de la población dependa de la estabilidad y correcto funcionamiento de los sistemas ecológicos, físicos y socioeconómicos de la biósfera” (OMS 2003, 5). Y la adaptación biológica y social que se requerirá para garantizar la salud de la población, será sin duda más difícil de alcanzar bajo las condiciones de un clima variable (Smith, y otros 2014).

A pesar de que el clima y el tiempo han influenciado desde siempre sobre la salud y el bienestar humano, los efectos sobre la salud de la población fueron reconocidos mucho después de los impactos sobre las actividades económicas, infraestructuras y ecosistemas; y, sin embargo, el cambio climático global representa una seria amenaza para la salud humana (OMS 2003). Por ejemplo, se conoce que, hasta mediados de siglo, el cambio climático exacerbó los problemas de salud y enfermedades ya existentes, e incluso podrá causar que

se extienda su rango de difusión a zonas que actualmente no se ven afectadas (Smith, y otros 2014).

La relación de cambio climático y salud ya fue considerada en el primer informe del IPCC¹ (1990), donde se mencionaba que los ecosistemas y la salud de la población iban a ser afectados por contaminantes químicos, parásitos, olas de calor, enfermedades transmitidas por vectores, radiación ultravioleta, cambios en la calidad del aire y del agua (Hashimoto, Styrikovich y Nishioka 1990). Sin duda, a lo largo del tiempo la relación entre cambio climático y salud ha ido evolucionando, incluso la misma concepción del IPCC, que en su quinto informe² clasifica a los efectos del cambio climático sobre la salud, en directos e indirectos. Los efectos directos se deben a cambios en la temperatura y precipitación que generan olas de calor, inundaciones, sequías e incendios. Los efectos indirectos se refieren a los impactos en la salud ocasionados por perturbaciones ecológicas (fallos en los cultivos, cambio en los patrones de vectores que transmiten enfermedades), o a respuestas sociales (desplazamiento de poblaciones) debido al cambio climático (Smith, y otros 2014).

Por otro lado, algunos efectos del cambio climático se muestran beneficiosos sobre la salud humana, por ejemplo, inviernos menos intensos reducirían la mortalidad debido a olas de frío extremo, y temperaturas más elevadas en regiones cálidas harían descender a las poblaciones de mosquitos que transmiten enfermedades. Si bien, algunas consecuencias del cambio climático indican que podrían favorecer a las condiciones de salud de ciertas poblaciones, los episodios donde suceda lo contrario, superarán en gran medida a los efectos positivos sobre la salud (OMS 2003).

En este sentido, la salud pública es una variable fundamental porque estudiar la salud de las poblaciones, desde las condiciones y el modo de vida de las sociedades (Alcántara Moreno 2008). Por tanto “necesita de los servicios de la biósfera que sustentan la vida” (OMS 2003, 6). En su definición original el sanitarista norteamericano Winslow establece en 1920 que la salud pública:

¹ IPCC First Assessment Report (FAR): *Chapter 5: Human settlement; the energy, transport and industrial sectors; human health; air quality; and changes in ultraviolet-B radiation*. Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group II (Camberra, 1990).

² IPCC Fifth Assessment Report (FAR): *Chapter 11: Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits*. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group II (Cambridge, 2014).

(...) es la ciencia y arte de prevenir las enfermedades, prolongar la vida, y fomentar la salud y la eficiencia física, mediante esfuerzos organizados de la comunidad para sanear el medio ambiente, controlar las infecciones en la comunidad y educar al individuo en cuanto a los principios de la higiene personal, organizar servicios médicos y de enfermería para el diagnóstico precoz y el tratamiento preventivo de las enfermedades, así como desarrollar la maquinaria social que le asegure a cada individuo de la comunidad un nivel de vida adecuado para el mantenimiento de la salud (Márquez 2013, 3).

Si la salud pública tiene como núcleo central que los ciudadanos dispongan de las condiciones para disfrutar su derecho a la salud, de qué formas este propósito elemental puede verse afectado?, considerando que “la alteración de los ecosistemas naturales, modificación de los cultivos que producen alimentos, el aumento del nivel del mar, desplazamientos demográficos por peligros físicos, pérdida de tierras, perturbaciones económicas y conflictos civiles” (OMS 2003, 7), tendrán consecuencias en la salud pública.

Cuando se aborda el cambio climático y salud pública, desde las enfermedades transmitidas por vectores, se conoce que en términos generales la naturaleza y magnitud de los efectos en la salud de la población dependerá de la exposición de la población, es decir de su vulnerabilidad, que es el “nivel al que un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático” (Secretaría de Ambiente DMQ 2016, 309), o a la capacidad de adaptación individual y colectiva que refiere a “la habilidad para cambiar el comportamiento o la infraestructura de salud para reducir los potenciales impactos negativos o aumentar los potenciales impactos positivos del cambio climático” (McMichael , y otros 2001, 474), como por ejemplo, prestar atención a los sistemas sanitarios (Andradas y García 2017).

Además se incorporan dos variables climáticas, la precipitación que es el vapor del agua en forma condensada, líquida o sólida que cae sobre la superficie de la tierra; y la temperatura que refiere a la cantidad de energía calorífica que se encuentra en el aire, es decir, lo caliente o fría que se encuentra la atmósfera (Brenes y Saborío 1995).

Aunque a nivel global, “el aumento de la temperatura ha incrementado el riesgo en la adquisición de enfermedades y de muertes relacionadas al calor extremo, a nivel local, los cambios en la precipitación y en la temperatura han alterado la distribución de algunas

enfermedades transmitidas por el agua y por vectores, y han reducido la producción de alimentos de poblaciones vulnerables” (Smith, y otros 2014, 713).

El IPCC³ menciona que la vulnerabilidad en la adquisición de enfermedades, en ciudades, debido al cambio climático, está sujeta a los siguientes factores de exposición: ubicación y causas geográficas de vulnerabilidad, infraestructura de salud, población en zonas de reporte de enfermedad, y factores de sensibilidad: situación de la salud actual de la población, edad y género, estado socioeconómico, proyecciones de pobreza multidimensional (Smith, y otros 2014).

Respecto a los factores de exposición geográficos, las poblaciones asentadas en los límites de zonas de transmisión de enfermedades vectoriales son más vulnerables a presentar cambios en el rango de transmisión debido al aumento de temperatura y modificaciones en los patrones de lluvia; especialmente con sistemas deficientes de control (Zhou, y otros 2008).

El primer informe del IPCC,⁴ ya establecía en cuanto a las enfermedades vectoriales, que los cambios en la temperatura y en las precipitaciones como consecuencia del cambio climático, producirán alteraciones en la abundancia geográfica y estacionaria de los mosquitos, una de las principales especies de vectores, y especialmente esto ocurrirá en las regiones tropicales y subtropicales (Hashimoto, Styrikovich y Nishioka 1990), como en la que se encuentra el Ecuador.

La distribución geográfica de las enfermedades transmitidas por vectores depende de dos factores, uno es la presencia del huésped y el segundo es la distribución de los vectores de interés, los cuales pueden ser: mosquitos, garrapatas, pulgas, moscas y piojos (Hunter 2003). Este segundo factor, que corresponde a las dinámicas poblacionales de los vectores transmisores de enfermedades, está influenciado a su vez por variables climáticas y antropogénicas, que en el caso de *Aedes aegypti*, las dos variables dependen de la ecología local y el contexto social del territorio de estudio (A. Stewart, y otros 2013).

Sobre los factores de sensibilidad como el género, existen diferencias en los riesgos sobre la salud, que se evidencian en las amenazas directas e indirectas del cambio climático. En cuanto

³ IPCC Fifth Assessment Report, *Chapter 11*.

⁴ IPCC First Assessment Report, *Chapter 5*.

a las amenazas directas, o amenazas meteorológicas, la mayoría de los estudios europeos muestran que, tanto en términos absolutos como en términos relativos, las mujeres tienen mayor riesgo de morir durante las olas de calor. Sin embargo, otros estudios sugieren que los hombres solteros tienen más riesgo, especialmente los ancianos (OMS 2011). Sin duda, la “relación entre género y vulnerabilidad es compleja” (Smith, y otros 2014, 718).

Por otro lado, las diferencias en las amenazas indirectas también varían, por ejemplo, las mujeres y niñas sufren más las consecuencias de las sequías, pero en contraste, hay evidencia que las tasas de suicidio son mayores entre los hombres bajo episodios de sequías (OMS 2011). Sin embargo, la compleja interacción entre cambio climático y género también varía regionalmente y según la edad (Smith, y otros 2014).

Respecto a las enfermedades transmitidas por vectores y género, un estudio⁵ de la OMS (2011) demostró que las mujeres embarazadas son dos veces más vulnerables a contraer malaria que aquellas mujeres que no están embarazadas.

Esta relación entre exposición y sensibilidad en áreas con humedad relativa y con alta vegetación crean las condiciones ideales para la fase adulta del mosquito *Aedes aegypti* (Hayden, y otros 2010), mientras que “temperaturas más calientes de aire y agua puede producir el incremento de las tasas de desarrollo de larvas, las tasas de episodios de mordidas de mosquitos adultos, el desarrollo gonotrófico y el período de incubación extrínseca del virus en el mosquito” (A. Stewart, y otros 2013, 1). Por ejemplo, la tasa de reproducción del vector (*Aedes aegypti*) aumentaría al incrementarse de 3 a 4°C la temperatura promedio (Yates, y otros 2013). Este escenario es un problema de salud pública, ya que *Aedes aegypti* transmite las enfermedades de Dengue, Zika y Chikungunya, caracterizadas por, episodios de fiebre, dolor muscular, sarpullido, dolor de cabeza, fuertes hemorragias (10% de los casos para Dengue), y conjuntivitis (para Zika y Chikungunya) (Schvoerer, y otros 2008).

Los posibles escenarios para las enfermedades transmitidas por vectores bajo la influencia de cambios en la temperatura serían: el aumento o disminución de la supervivencia del vector, cambios en la tasa de crecimiento poblacional del vector, cambios en el comportamiento de alimentación del vector, cambios en la susceptibilidad del vector hacia los patógenos, cambios

⁵ “Lindsay S et al. Effect of pregnancy on exposure to malaria mosquitoes. *Lancet*, 2000, 355:1972.” (OMS 2016)

en el período de incubación del patógeno, cambios en la actividad vectorial y transmisión de patógenos durante las estaciones (Gubler 2001). Sin embargo, algunas enfermedades transmitidas por vectores han sido más estudiadas que otras (Hunter 2003).

Por otro lado, los cambios en las precipitaciones también son consecuencia del fenómeno de cambio climático, a continuación, se mencionan posibles escenarios bajo la influencia de las mismas: criaderos de vectores por el aumento del agua superficial, sitios de reproducción de vectores por bajas precipitaciones que disminuyen la velocidad del flujo de agua en corrientes, aumento de la vegetación por incremento de lluvias puede permitir una expansión de la población del huésped, las inundaciones pueden eliminar los hábitats tanto de vectores como de huéspedes, y también causar que los huéspedes entren en contacto con las personas (Gubler 2001).

Es por ello que, es complejo considerar a las precipitaciones como una variable climática determinante que influyen en la presencia de enfermedades transmitidas por vectores, ya que los eventos de lluvia pueden aumentar la disponibilidad de hábitats (como contenedores con agua reposada en los patios) y con ello la abundancia de los mosquitos, mientras que eventos de lluvia extrema pueden hacer que disminuya la abundancia del mosquito al expulsar a las larvas de sus criaderos cuando es excedida la cantidad de agua; y por otro lado, las sequías podrían ocasionar que aumente la abundancia con la conducta de almacenamiento de agua en los hogares (Pontes y otros 2000).

Los modelos del clima o modelos climáticos “se aplican a escenarios futuros verosímiles de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero que toman en cuenta diversas trayectorias posibles de los cambios demográficos, económicos y tecnológicos, así como nuevas formas de gobernanza” (OMS 2003, 6). Es por ello que la investigación revisó modelos climáticos ya existentes, que consideran a los vectores transmisores de enfermedades, para estimar a futuro la dinámica poblacional de *Aedes aegypti* en el Distrito Metropolitano de Quito. El término “estimar” según el lenguaje estadístico se refiere al: “empleo de técnicas para evaluar cuantitativamente un resultado probable, que normalmente está precedido por un indicador de factibilidad (Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2012), “a partir de lo observado en una muestra, de modo que lo estimado es el valor generalizado a la población. Consiste en la búsqueda del valor de los parámetros

poblacionales objeto de estudio. Puede ser puntual o por intervalo de confianza” (Montero 2007, 47).

Las estimaciones del potencial de enfermedades transmitidas por vectores son por lo general cálculos que relacionan la capacidad vectorial (VC) basada en datos históricos, junto con la temperatura proyectada en un determinado rango de tiempo que empieza en el pasado y termina en el futuro, por ejemplo, desde 1901 hasta 2099 (Helmerson, y otros 2016). La VC es una ecuación que indica la capacidad de un vector para transmitir enfermedades entre las personas y es usado comúnmente en las proyecciones de enfermedades transmitidas por vectores (Hales, y otros 2002).

Los modelos mejor diseñados que pronostican la presencia de *Aedes aegypti*, bajo la influencia de la variable del clima, usan los siguientes parámetros: “prácticas de almacenamiento de agua en el hogar, acceso al agua por tubería, número de hogares por propiedad, el estado de la casa y del patio, y conocimiento y percepciones sobre el dengue” (A. Stewart, y otros 2013, 1).

El analizar variables sociales como las que se mencionan, hace que varíen los efectos de las variables climáticas, como precipitación y temperatura, sobre la dinámica poblacional de *Aedes aegypti*. Por ejemplo, un estudio realizado en la ciudad de Machala, Ecuador, mostró que tanto la temperatura mínima como las precipitaciones fueron variables significativas para pronosticar la actividad de ovoposición de *Aedes aegypti*, pero de acuerdo al tipo de recipientes de almacenamiento de agua con que contaba la población, el efecto de las precipitaciones variaba (A. Stewart, y otros 2013).

La temperatura proyectada se ajusta a los distintos escenarios o simulaciones del cambio climático, mejor conocidos como Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) (Banco Interamericano de Desarrollo 2015). Las RCP han sido propuestas por la comunidad científica, específicamente por el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC) (IPCC 2019) como el resultado de una “combinación de modelos de evaluación integrados, modelos químicos atmosféricos, modelos climáticos, y modelos del ciclo del carbono” (IPCC 2019). Las proyecciones dependen parcialmente de las emisiones de gases de efecto invernadero, por ende, si se reducen al máximo las emisiones se podrá

disminuir la probabilidad de propagación de enfermedades transmitidas por vectores (Helmersson, y otros 2016).

Estudios científicos muestran la relación entre variables climáticas (precipitación y temperatura) con enfermedades respiratorias y enfermedades transmitidas por vectores; así lo muestra, la Secretaría del Ambiente quien elaboró una proyección al año 2050 de la temperatura media multianual para la ciudad de Quito, basada en la situación del período de 1960 a 1990. Las parroquias con mayores valores de temperatura media proyectada a 2050 son: Pacto, Gualea, Nanegal, Nanegalito, San José de Minas, Chavezpamba, Perucho y Puéllaro. Se evidencia que en 2050 serán más las zonas del DMQ que presenten valores altos de temperatura media multianual en comparación al período 1960-1990 (Secretaría de Ambiente DMQ 2016).

Sin embargo, la ciudad no cuenta con mayor información de estudios integrales de salud en el medio ambiente urbano, a pesar de que la relación que existe entre clima y salud pública ha sido estudiada a escala global (Yates, y otros 2013). Este déficit de producción de información ha permanecido así, incluso, cuando se menciona el garantizar la salud sus habitantes, contar con información en temas de salud pública, gestionar estudios epidemiológicos y promover un ambiente sano (calidad aire y agua, manejo de residuos) dentro de los lineamientos estratégicos de los objetivos de la política S3: “Promover el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de Quito” del Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2025 (PMDOT) (Alcaldía Metropolitana de Quito 2015).

Por estas razones se considera necesario elaborar una guía metodológica aplicable al DMQ para realizar proyecciones sobre los escenarios climáticos futuros para la presencia de vectores que transmiten enfermedades en el Distrito. Considerando que, varios planes y secretarías (Ambiente y Salud) reconocen la necesidad de abordar lo más pronto posible cuestiones relacionadas a vectores y cambio climático.

1.3. Marco metodológico

Se empleó el método de orden cuantitativo deductivo (Calduch 2014), ya que se determinaron las características particulares de una guía metodológica para el DMQ, como resultado del análisis de las características de otras metodologías formuladas y aplicadas previamente. Con

el fin de desarrollar una investigación con resultados confiables se usó la siguiente técnica de recolección cuantitativa de información: fuentes de información secundarias (Hueso y Cascant 2012).

Se usó el tipo de investigación aplicada, ya que se produjo un nuevo conocimiento (Maya 2014), el cual es la identificación de los elementos que debe contener una guía metodológica para obtener estimaciones a futuro sobre la presencia de *Aedes aegypti* como vector de enfermedades infecciosas de acuerdo a escenarios climáticos en el DMQ.

Se usaron fuentes de información secundarias generales y especializadas, para conocer lo que se ha escrito relacionado con el tema, a nivel internacional y nacional (Torres, Paz y Salazar s.f.); se realizó una lectura exploratoria, selectiva, analítica y crítica de las mismas (Maya 2014).

Las fuentes secundarias fueron tomadas de artículos científicos, libros, manuales, etc. que presentaban proyecciones en las que relacionaban variables climáticas y enfermedades transmitidas por vectores. Se realizó un análisis y revisión exhaustiva de las fuentes seleccionadas, especialmente los insumos, datos, cálculos y técnicas que se usaron para desarrollar las proyecciones y así reconocer su aplicabilidad en el DMQ considerando la información climática y de salud pública del Distrito. No se usaron fuentes de información primaria, debido a que este estudio se concentró en proponer una guía metodológica, más no a implementarla.

Los criterios bajo los cuales se seleccionaron las fuentes secundarias, fueron abordados desde el muestreo por conveniencia de información: el criterio de adecuación temática, con base al tema propuesto (Calduch 2014), es decir, toda información que hacía referencia directa y específicamente al desarrollo de modelos de proyecciones futuras para la presencia de vectores de enfermedades infecciosas de acuerdo a escenarios climáticos futuros. Otro criterio fue el de suficiencia mínima, que consistió en la selección de información imprescindible para realizar la investigación (Calduch 2014), sólo se tuvo en cuenta las fuentes que relacionaban las tres variables: a) enfermedades infecciosas transmitidas por *Aedes aegypti*, b) proyecciones climáticas y c) estimación de la presencia de *Aedes aegypti* por variación de la temperatura. Este segundo criterio evitó que se recopile información redundante o innecesaria.

El tercer criterio que se empleó fue el criterio de fiabilidad de la fuente (Calduch 2014), mediante el cual se eligió los textos que procedían de fuentes bibliográficas confiables como revistas científicas indexadas e informes del sector público. Al mismo tiempo, se analizó la información encontrada de acuerdo a su fecha de publicación, con la intención de desarrollar la investigación con base en las técnicas y métodos actualizados. Posteriormente, se verificó la información de acuerdo al criterio cronológico (Calduch 2014), con el fin de desarrollar una propuesta para el DMQ basada, en preferencia, en las técnicas más actuales (publicadas a partir del año 2005) para elaborar proyecciones futuras que estimen la presencia de vectores de enfermedades infecciosas de acuerdo a escenarios climáticos futuros.

Para cumplir con los objetivos específicos, las fuentes de información pertenecieron a las siguientes tres dimensiones: proyecciones de condiciones climáticas (1), condiciones para la presencia de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* (2) y dinámicas de modelos metodológicos sobre clima y enfermedades transmitidas por vectores (3). Estas dimensiones agruparon las siguientes categorías: (1) temperatura a futuro y evaluación de vulnerabilidad climática en Quito, (2) enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* en Quito, (3) validación y descripción de modelos metodológicos y sus variables. Igualmente, estas categorías respondieron a los siguientes indicadores: (1) temperatura media multianual proyectada hacia el 2050 para el DMQ y variables empleadas por el Banco de Desarrollo de América Latina para medir vulnerabilidad en Quito, (2) casos reportados de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* en el DMQ, (3) información disponible en Quito respecto a las variables que usan los modelos climáticos, observaciones y comentarios de dos especialistas en este tema, Juan Carlos Navarro⁶ y José Salazar.⁷

El método que se usó para abordar las cinco categorías mencionadas fue el cuantitativo, a excepción de la categoría de validación de modelos, que empleó el método cualitativo a través

⁶ PhD en Entomología, Biólogo. Investigador en Ecología de Arbovirus Emergentes, Biología de Vectores, Biodiversidad y Salud Ambiental. Docente Titular, Principal 3 Universidad Internacional SEK, y Director de Investigación UISEK, Investigador Invitado *Center for Tropical and Emerging Infectious Diseases -Univ. Texas Medical Branch at Galveston*. *Board Member of World Virus Society*, RECOLZIKA (Colombia) y CONIEIT (Ecuador). 88 publicaciones indexadas en el área. h-index:22, i10 index: 43.

⁷ Mg. José Salazar, Docente tiempo completo en la Universidad Internacional SEK de las cátedras de Sistemas de Información Geográficas y Planificación Territorial. Entre sus títulos se encuentran una ingeniería en Ciencias Geográficas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y una Maestría en Estudios Socioambientales de la FLACSO Ecuador. Colaboró en la elaboración de un capítulo del libro *Big Data for Remote Sensing: Visualization, Analysis and Interpretation. Digital Earth and Smart Earth*. publicado en 2018 por Springer.

de la revisión de dos expertos en el tema, quienes aportaron comentarios para afinar la guía metodológica.

Los criterios bajo los cuales se escogieron a los especialistas o expertos en el tema fueron los siguientes: 1) tener como mínimo 10 años de experiencia en campo ya sea en 1 o varias de las siguientes variables: proyecciones climáticas a futuro, entomología, salud pública; 2) tener un título académico de al menos cuarto nivel que indique un grado de especialización en las variables mencionadas en el criterio previo; 3) haber trabajado o participado en proyectos en el DMQ que hayan involucrado la relación de al menos dos de las variables mencionadas en el criterio 1. Los especialistas para poder ser elegidos cumplieron con al menos 1 de los 3 criterios de selección.

Una vez seleccionada la información bajo los criterios establecidos, se procedió a realizar un análisis de su contenido, especialmente en lo que respecta a los insumos, variables, datos, ecuaciones, programas que se emplearon, etc. para realizar las proyecciones. Posteriormente, se relacionó los resultados del análisis con la información que cuenta el DMQ, como son datos temperatura, registro de casos de enfermedades infecciosas, entre otros datos adicionales que según la bibliografía son necesarios para el desarrollo de la guía metodológica que esta investigación aporta.

La guía metodológica propuesta para el DMQ fue el resultado de la adaptación de los datos que el DMQ dispone con base en las metodologías existentes ya implementadas, sin perder el nivel de confiabilidad en el momento que se implemente.

Capítulo 2

Proyecciones climáticas y presencia de *Aedes aegypti* en el DMQ

El capítulo describe el desarrollo metodológico, incluye el proceso de selección de las fuentes secundarias bajo los criterios ya mencionados. Describe las proyecciones climáticas para el DMQ y la actividad que el vector *A. aegypti* ha tenido en Pichincha y Quito, además de algunas limitaciones ambientales para el vector como la temperatura y la altura. Por último, presenta una breve introducción a los sensores remotos como herramienta de apoyo en el monitoreo de variables ambientales relacionadas con el tema.

2.1. Selección de fuentes secundarias en base a criterios

2.1.1. Criterio de adecuación temática

Se revisaron 20 fuentes secundarias que contenían al menos una de las variables de pertinencia (*Aedes aegypti*, proyección climática, variación de la temperatura). Las fuentes fueron introducidas a un cuadro comparativo (Anexo 1), con los siguientes campos:

1. Número de ítem
2. Título del Estudio
3. Autores
4. Pertenencia autores (organismo al que pertenecieron al momento de realizar el estudio)
5. Año
6. Tipo de fuente (revista indexada, libro, tesis, etc.)
7. Lugar donde se realizó el estudio (ciudad/país)
8. Variables consideradas
 - a. Enfermedades vectoriales
 - i. Otros vectores
 - ii. *Aedes aegypti*
 - b. Proyección climática
 - c. Estimación presencia de vectores
 - i. Otras variables
 - ii. Variación de la temperatura

Se usó el instrumento del cuadro comparativo con la finalidad de sistematizar el abordaje de cada fuente de las variables consideradas (enfermedades vectoriales, proyección climática, estimación presencia de vectores). No se colocaron en el cuadro aquellas fuentes que no abordaban ninguna de estas variables.

Se usó una “X” dentro de las casillas de las variables consideradas para mostrar la correspondencia de cada fuente respecto a estas.

2.1.2. Criterio de suficiencia mínima

Para verificar el cumplimiento de este criterio, se asignaron dos colores para identificar de mejor manera aquellas fuentes que contaban con la información imprescindible para la investigación, traducida en el cumplimiento de la presencia de las siguientes tres subvariables: a) enfermedades infecciosas transmitidas por *Aedes aegypti*, b) proyecciones climáticas y c) estimación de la presencia de *Aedes aegypti* por variación de la temperatura. Estas tres subvariables pertenecen a las variables consideradas.

Aquellas fuentes que cumplían con cualquiera de las subvariables mencionadas, además de colocar la “X” en la celda correspondiente, se asignó el color salmón en la misma celda, para que la selección de las fuentes que cumplieran con este criterio. De esta manera, las fuentes que presentaron las tres celdas color salmón, fueron inmediatamente identificadas como fuentes que cumplían con el criterio de suficiencia mínima, y se pintó de azul su celda de numeración que correspondía a la primera columna del cuadro comparativo. Existieron fuentes que únicamente presentaron el cumplimiento de una o dos de las tres variables, a estas fuentes no se las consideró bajo este criterio.

Tabla 1. Campos del cuadro comparativo y ejemplo del uso de colores para fuentes con criterio de suficiencia mínima

N°	Título del Estudio	Autores	Pertenencia autores	Año	Tipo de fuente	Lugar donde se realizó el estudio	Variables consideradas				
							Enfermedades vectoriales		Proyección climática	Estimación presencia de vectores	
							Otros vectores	A. <i>aegypti</i>		Otras variables	Variación de la temperatura
n	(ABC)	(ABC)	(ABC)	n	(ABC)	(ABC)	-	X	X	-	X

Fuente: Trabajo investigativo

Se constataron 8 fuentes que cumplían con este criterio, algo que se evidenció de las mismas es que establecían que los procedimientos de estimación a futuro de la presencia de *Aedes aegypti*, y mosquitos vectores en general, requieren de procesos previos de vigilancia entomológica y de monitoreo ambiental (Cleckner, Allen y Bellows 2011).

2.1.3 Criterio de fiabilidad de la fuente y Criterio cronológico de la información

De las 20 fuentes secundarias seleccionadas, el 90% pertenecieron a artículos de revistas indexados, el 5% a tesis y el otro 5% a informes de investigación. Además, todas estas fuentes cumplieron con el criterio cronológico de la información ya que parten del año 2005 hasta el año 2019. Mientras que, de las 8 fuentes secundarias que cumplían con el criterio de suficiencia mínima, el 71% (6) correspondieron a artículos de revistas indexados, el 13% (1) a tesis y el otro 13% (1) a informe de investigación. Estos 8 documentos también cumplieron con el criterio cronológico partiendo sus fechas de publicación desde el año 2009 hasta el año 2019 como muestra la tabla 2.

Las fuentes bibliográficas de los textos con criterio de suficiencia mínima, cumplieron con el criterio de fiabilidad de la fuente al provenir de: *Ecological Society of America*, Universidad Central de Venezuela, Centro de Transferencia y Desarrollo de Tecnologías de la Universidad San Francisco de Quito CTT-USFQ, *Remote Sensing*, *International Journal of Environmental Research Public Health*, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* y *PLoS Neglected Tropical Diseases*. Todas estas fuentes tienen un alto grado de confianza, debido a que todas han desarrollado investigaciones con alcance internacional y su mínimo de trayectoria recorrida es 10 años como muestra la siguiente tabla.

Tabla 2: Fuentes bibliográficas con criterio de fiabilidad de la fuente y criterio cronológico de la información

Fuentes bibliográficas	Inicio de trayectoria	Año del documento seleccionado
Universidad Central de Venezuela	1721	2011
<i>Ecological Society of America</i>	1915	2009
<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	2004	2016

Centro de Transferencia y Desarrollo de Tecnologías de la Universidad San Francisco de Quito CTT-USFQ	2005	2015
<i>PLoS Neglected Tropical Diseases</i>	2007	2019
<i>IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing</i>	2009	2016
<i>Remote Sensing</i>	2009	2016

Fuente: Trabajo investigativo

2.2. Proyecciones climáticas del DMQ

“El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se ubica en los Andes ecuatorianos, a 2.800 metros de altura, la ciudad se asienta entre volcanes y se encuentra rodeada de valles. Cuenta con aproximadamente 2.7 millones de habitantes” (Quito Alcaldía 2017, 11). Se ubica en una zona ecuatorial templada, cuya variación altitudinal va de 500 a 4.780 metros sobre el nivel del mar (msnm). Su humedad relativa es del 75%, y las precipitaciones varían de acuerdo a las zonas entre 400 a 4.500 mm/año. Presenta una temperatura promedio de 14.78°C según el PNUMA, sin embargo, el aumento de la temperatura y cambios en la distribución e intensidad de las precipitaciones se han evidenciado en Quito durante los últimos 30 años (Secretaría de Ambiente DMQ 2016).

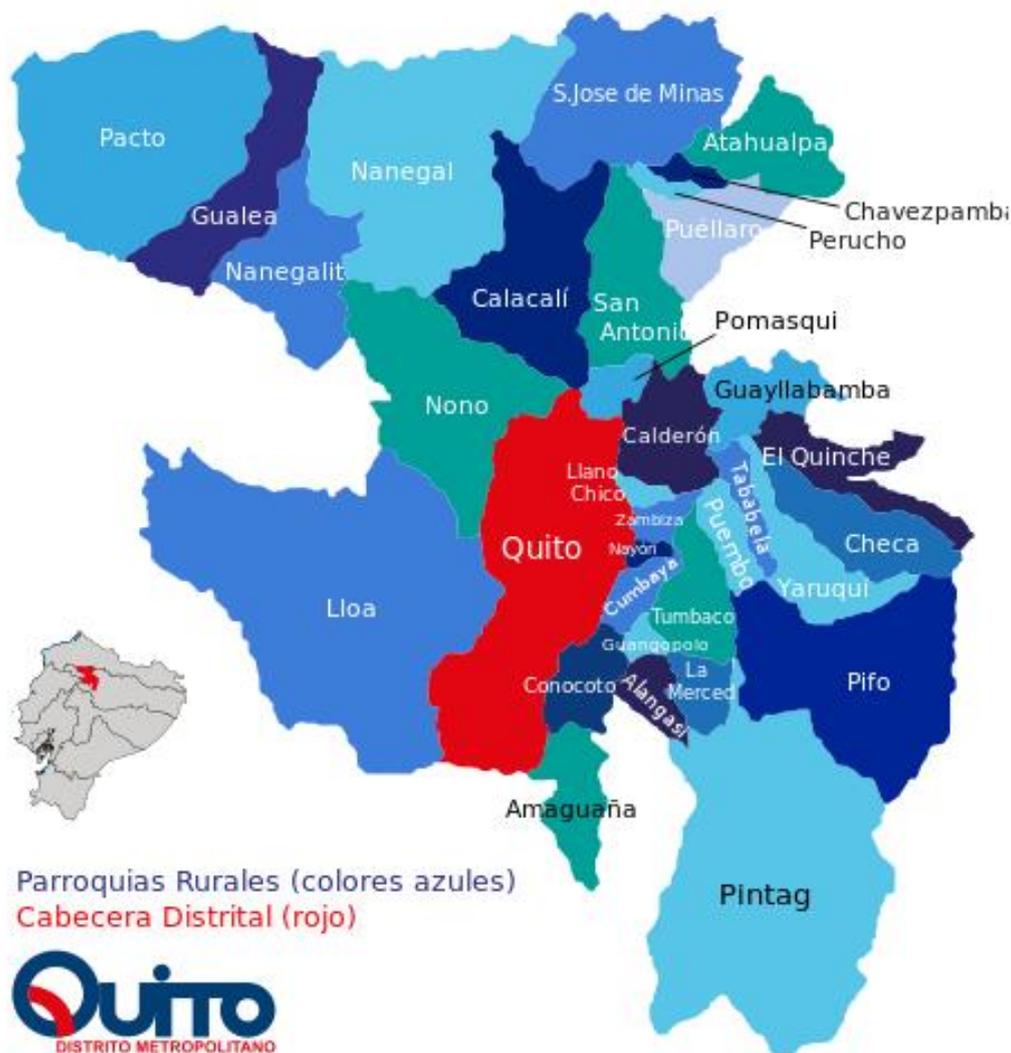
El DMQ cuenta con un total de 9 administraciones zonales (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito 2019), subdivididas en 65 parroquias, 32 de ellas son parroquias urbanas y 33 parroquias rurales (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha 2017); estas últimas se muestran en la figura 1. La Tabla 3 indica cuáles son las administraciones zonales y las parroquias.

Tabla 3. Parroquias urbanas y rurales del DMQ

Administraciones Zonales	Calderón, Eloy Alfaro, Eugenio Espejo, Los Chillos, La Delicia, Manuela Sáenz, Quitumbe, Tumbaco y Turística La Mariscal.
Parroquias Urbanas	Belisario Quevedo, Carcelén, Centro Histórico, Chilibulo, Chillogallo, Chimbacalle, Cochapamba, Comité del Pueblo, Concepción, Cotocollao, El Condado, El Inca, Guamaní, Iñaquito, Itchimbía, Jipijapa, Kennedy, La Argelia, La Ecuatoriana, La Ferroviaria, La Libertad, La Mena, Magdalena, Mariscal Sucre, Ponceano, Puengasí, Quitumbe, Rumipamba, San Bartolo, San Juan, Solanda, Turubamba
Parroquias rurales	Alangasí, Amaguaña, Atahualpa, Calacalí, Calderón, Chavezpamba, Checa, Conocoto, Cumbayá, El Quinche, Gualea, Guangopolo, Guayllabamba, La Merced, Llano Chico, Lloa, Nanegal, Nanegalito, Nayón, Nono, Pacto, Perucho, Pifo, Pintag, Pomasqui, Puéllaro, Puembo, San Antonio de Pichincha, San José de Minas, Tababela, Tumbaco, Yaruquí, Zámbiza

Fuente: Trabajo investigativo a partir de Municipio del Distrito Metropolitano de Quito 2019 y Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha 2017.

Figura 1. Parroquias rurales del DMQ



Fuente: Ciudades del Ecuador 2016

Es importante conocer cómo el cambio en la temperatura influye en las dinámicas de desarrollo de *Aedes aegypti*, hasta incluso hacer que la variable de la altura no sea un limitante para la presencia del vector. Por ejemplo, a pesar de ser 2.200 msnm la altura más alta registrada con presencia de *A. aegypti* a nivel de Sudamérica, en 2016 un estudio en Colombia registró a esta especie de vector a una altura de 2.302 msnm (Ruiz, y otros 2016).

Para el caso particular de Quito, es necesario conocer las dinámicas y las condiciones ambientales que hacen que *Aedes aegypti* sobreviva a alturas superiores a los límites registrados. Si bien, la altura máxima de Quito es 2.800 msnm (Quito Alcaldía 2017), existen parroquias del distrito que presentan alturas inferiores como la parroquia de Pomasqui que tiene 2.400 msnm (GAD Pomasqui 2019), Puenbo con 2.415 msnm (GAD Puenbo 2013),

Nanegal con 1.199 msnm, Nanegalito con 1.533 msnm, pacto con 1.123 msnm y Gualea con 1.293 msnm (León, y otros 2015). Es así que se puede constatar que el DMQ cuenta con distintas alturas, algunas inferiores a los niveles límites para que sobreviva el vector *A. aegypti*, y “otras superiores que bajo escenarios donde cambie la temperatura, podrían dejar de representar una barrera para el mosquito” (Ruiz, y otros 2016, 307).

En 2013, el Distrito Metropolitano de Quito, el *Stockholm Environment Institute* (SEI), *Climate and Developed Knowledge Network* (CDKN) y la Secretaría de Ambiente del DMQ trabajaron juntos en el desarrollo del documento “Análisis Integrado de Amenazas Relacionadas con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos” donde se muestran las proyecciones climáticas que el DMQ maneja actualmente (Yates, y otros 2013). En 2013, existían varios limitantes para realizar las proyecciones a nivel de ciudades, ya que solamente a nivel regional se presentaban incertidumbres. Los modelos de circulación general (MCG) en aquel año eran aún insuficientes para representar el clima a escala regional, considerando en especial las gradientes topográficas. Por esta razón el DMQ realizó una reducción en escala de los MCG disponibles en ese entonces (Yates, y otros 2013).

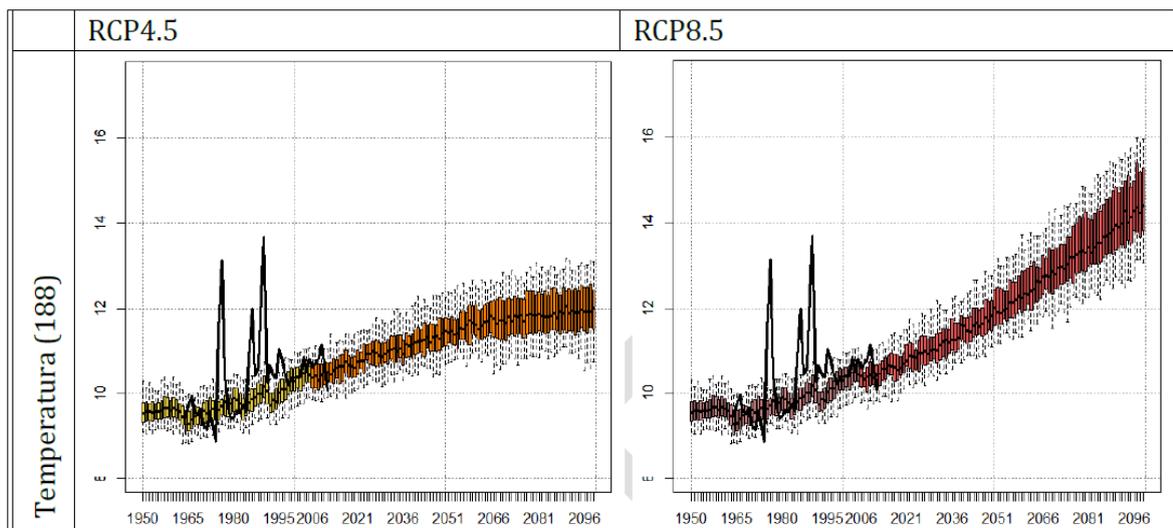
Se emplearon métodos estadísticos para reducir la escala de los MCG, a través de la “aplicación de relaciones empíricas entre variables climáticas de la resolución de los MCG y datos del clima local” (Yates, y otros 2013, 14). Para ello, se procesaron los datos del *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5), que es la quinta fase de un marco colaborativo que busca aportar en el conocimiento sobre cambio climático para los MCG océano-atmosféricos globales acoplados. El CMIP5 como fase vigente abarcó el período entre 2010 y 2014 y fue validado en la doceava Sesión del Grupo de Trabajo sobre Modelado Acoplado (WGCM) del Programa Mundial de Investigación Climática (WCRP – *World Climate Research Programme*) (World Climate Research Programme 2019).

El método estadístico usado sobre el CMIP5, para el período 1950-2100, fue el de Corrección de Sesgo – Desagregación Espacial (BC SD), “para obtener datos de tres variables: la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación total mensual de cada celda del MCG del sitio de estudio” (Yates, y otros 2013, 15). Es así que a partir de los modelos CMIP5 se realizaron combinaciones de MCG con las Rutas de Concentración Representativas (RCP), constatando que el modelo Comunidad de Sistemas Terrestres (CCSM4) del Centro

Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR) fue el que más se ajustaba a las observaciones históricas entre el año 1961 y 2010 (Yates, y otros 2013).

La figura 2 muestra las proyecciones de temperatura del DMQ en los escenarios de RCP 4.5 y RCP 8.5, siendo el segundo el escenario más drástico, donde se proyecta que a finales de siglo las temperaturas incrementen de 4 a 5°C en el distrito (Yates, y otros 2013).

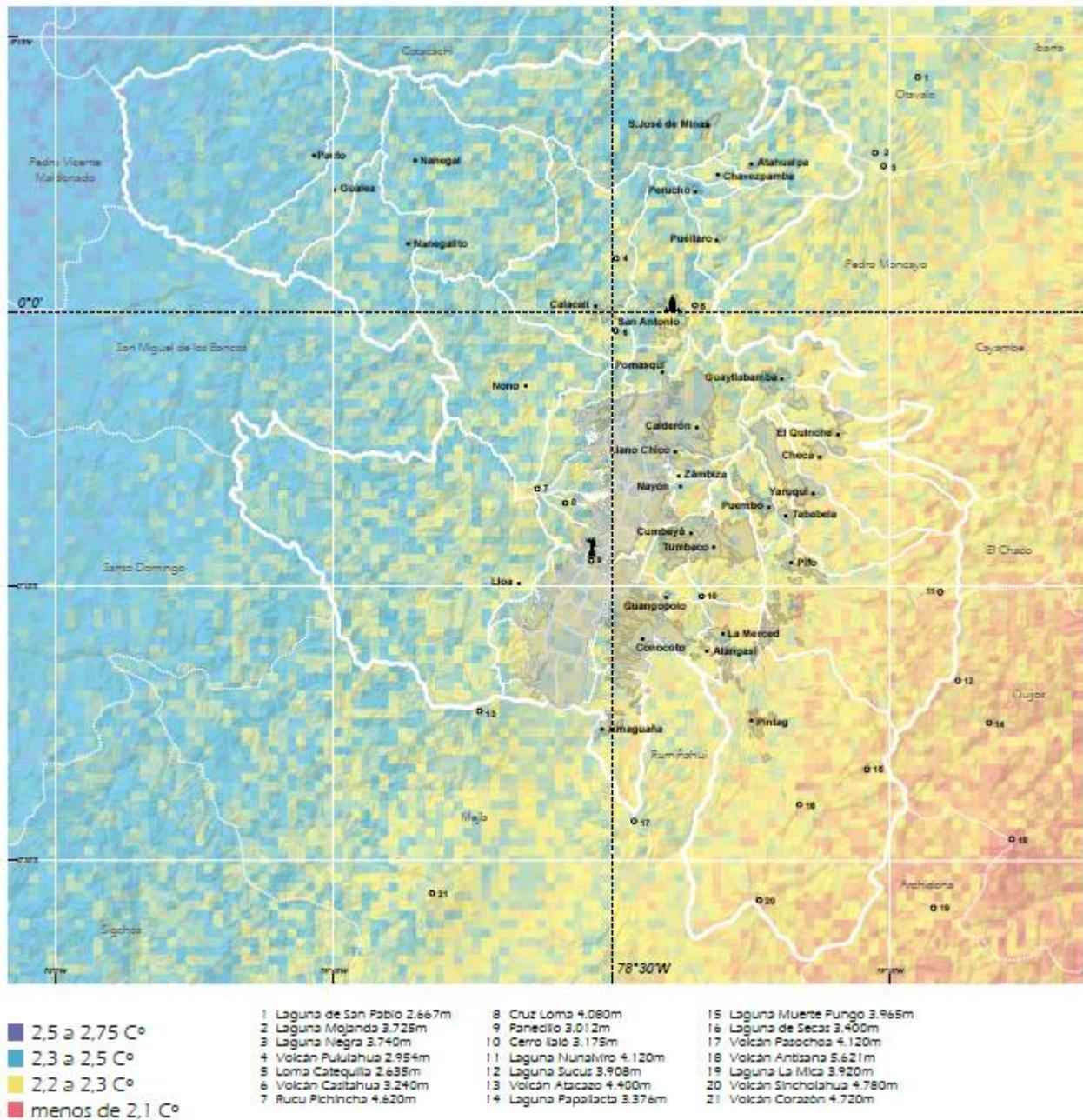
Figura 2. Temperatura histórica (1961-2010) y proyectada del DMQ



Fuente: Yates, y otros 2013

En 2016, la Secretaría del Ambiente publicó el Atlas Ambiental del DMQ, el cual ofrece una proyección climática a 2050 (figura 3) basada en la investigación de David Yates que desarrolló para la misma Secretaría en 2013, bajo el documento titulado Análisis Integrado de Amenazas Relacionada con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos. Esta nueva proyección determinó que la temperatura aumentará un máximo de 2.5°C a 2.75°C para el año 2050 en el DMQ.

Figura 3. Proyección espacial a 2050 de los cambios en la temperatura promedio en el DMQ



Fuente: Secretaría de Ambiente DMQ 2016

La figura 3 muestra claramente que en 2050 las parroquias del DMQ que presentarán mayor aumento en su temperatura promedio serán: Pacto, Gualea, Nanegal, Nanegalito, Lloa, San José de Minas, Nono y Calacalí. Tanto las parroquias de Lloa como Nono bordean el lado oeste de las parroquias urbanas del DMQ, y en caso de que ambas parroquias a futuro sean lugares donde *Aedes aegypti* pueda habitar, el desplazamiento o intercambio de productos con las parroquias urbanas del distrito facilitará la entrada del mosquito y las enfermedades

infecciosas que porta a la zona urbana, independientemente de que cumpla o no con las condiciones climáticas (Johansson, Dominici y Glass 2009).

Considerando que la variación de la temperatura influencia en el ciclo de transmisión del mosquito *Aedes aegypti*, especie endémica de la región tropical y subtropical del planeta, especialmente, el aumento de temperatura y precipitación ocasiona que aumente la tasa de desarrollo y por lo tanto también la población de este vector, que disminuya la duración de los ciclos reproductivos, que se estimule la eclosión de los huevos y que se acorte el período de incubación de los virus que transporta el mosquito (Johansson, Dominici y Glass 2009).

Algunos estudios sugieren que aquellos lugares donde la temperatura y las precipitaciones ya son altas, un incremento en las mismas, no hará que la población sienta mayoritariamente los cambios en la transmisión de las enfermedades que porta *A. aegypti* (Johansson, Dominici y Glass 2009), he aquí la importancia de implementar programas de vigilancia entomológica y desarrollar más estudios alrededor de este tema en aquellas ciudades cuyo clima no es tropical o tropical muy húmedo, como es el caso del DMQ, ya que bajo el efecto del cambio climático, la ciudadanía si podrá evidenciar el cambio en la transmisión de este tipo de enfermedades.

2.3. Presencia de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* en el DMQ

El Ministerio de Salud pública del Ecuador dispone de gacetas vectoriales únicamente para las enfermedades transmitidas por vectores de: dengue, zika, chikungunya, malaria y leishmaniasis (figura 4) (Ministerio de Salud Pública 2016). Entre ellas, las enfermedades de dengue, zika y chikungunya son transmitidas por el mosquito *Aedes aegypti*, que también transmite la fiebre amarilla (Ruiz, y otros 2016). Asimismo, los principales vectores objeto de estudio en Ecuador respecto a las enfermedades que estos transmiten han sido: *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Ministerio de Salud Pública 2017). Los números que muestra la figura 4, podrían estar “subestimados debido a que los casos subclínicos sin síntomas no son detectados y no todos los enfermos acuden a un hospital” (León, y otros 2015, 27).

Figura 4. Casos totales de enfermedades vectoriales en Ecuador desde el año 2015 a 2019

Evento	2015	2016	2017	2018	2019*
Dengue	42.459	14.159	11.387	3.094	5.530
Chikungunya	33.619	1.860	196	8	0
Zika	1	2.947	2.413	10	0
Fiebre amarilla	0	0	3	0	0
Malaria	686	1.191	1.291	1.806	1.566
Leishmaniasis	1.382	1.397	1.654	1.336	733
Mal de Chagas	45	44	61	74	66
Mayaro	-	-	-	-	5

*Datos 2019 correspondientes a las semanas epidemiológicas 1 a 32

Fuente: Subsecretaría de Vigilancia de la Salud Pública 2019

“En Ecuador, el dengue es un problema prioritario de salud pública debido a la cantidad de casos que se presentan anualmente” (Ministerio de Salud Pública 2017, 5), las gacetas vectoriales para dengue de 2017 a 2019 indican que a pesar de haber reducido en 2018 la tasa de incidencia para Quito, la tasa de 2019 ya ha superado la del año anterior, incluso aun sin contar con las semanas que aún faltan de evaluar (tabla 4):

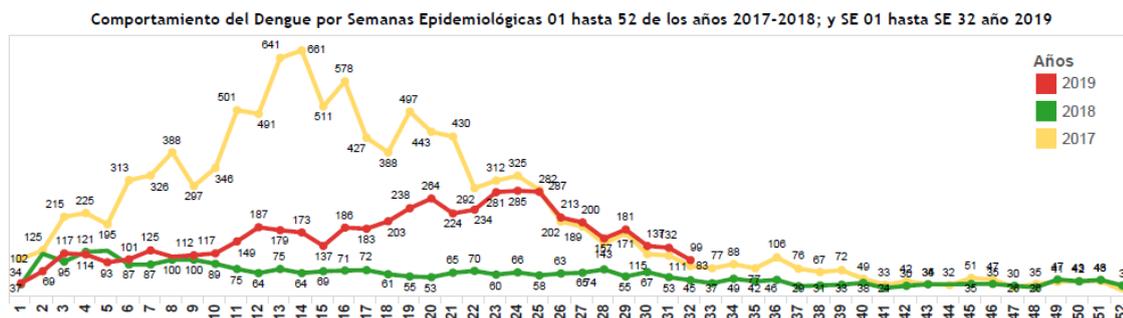
Tabla 4. Casos totales de dengue confirmados y tasas de incidencia en Pichincha y Quito, períodos 2017 a 2019

AÑO	Casos totales confirmados en Pichincha	Tasa de incidencia por 100.000 habitantes	
		Pichincha	Quito
2017 (hasta semana 52)	113	3,7	4
2018 (hasta semana 52)	81	2,6	2
2019 (semana 32)	80	2,9	2,3

Fuente: Trabajo investigativo a partir de Subsecretaría Nacional de Vigilancia de la Salud Pública 2017-2018-2019

A pesar de que la siguiente figura muestre que el año con mayores casos de dengue por semana epidemiológica fue 2017, también muestra que los casos de 2019, aún incompletos, dado que las cifras van hasta la semana 32 del año, superan a los casos de 2018 (figura 2).

Figura 5. Comportamiento del Dengue por Semanas Epidemiológicas 01 hasta 52 de los años 2017-2018; y SE 01 hasta SE 32 año 2019



Fuente: Subsecretaría de Vigilancia de la Salud Pública 2019

Respecto a la enfermedad de chikungunya, en Ecuador su virus apareció por vez primera en 2014 y siendo 2015 el año en que los casos confirmados alcanzaron su pico más alto (Ministerio de Salud Pública 2016). Sin embargo, en 2018 los mismos casos bajaron drásticamente a un total de 8 en todo el Ecuador, mientras que en la provincia de Pichincha a partir de ese año y hasta la fecha no se han reportado nuevos casos confirmados para la enfermedad (Subsecretaría de Vigilancia de la Salud Pública 2018). Las gacetas vectoriales para chikungunya de 2014 a 2019 indican (tabla 5):

Tabla 5. Casos totales de chikungunya confirmados y tasas de incidencia en Pichincha y Quito, períodos 2014 a 2019

AÑO	Casos totales confirmados en Pichincha	Tasa de incidencia por 100.000 habitantes	
		Pichincha	Quito
2014	5	-	-
2015	711	-	-
2016	85	-	-
2017 (hasta semana 52)	11	0,36	0,23
2018 (hasta semana 52)	0	0	0
2019	-	-	-

Fuente: Trabajo investigativo a partir de Subsecretaría Nacional de Vigilancia de la Salud Pública 2017-2018

En cuanto al zika, Ecuador presentó dos picos durante 2016 y 2017, sin embargo, la cifra se redujo a 10 casos confirmados en todo el territorio nacional en 2018 (figura 4), y esta enfermedad no ha representado un mayor problema de salud pública en la provincia de Pichincha, siendo que desde 2018 hasta la fecha no se han reportado casos confirmados de zika (tabla 6) (Subsecretaría de Vigilancia de la Salud Pública 2019).

Tabla 6. Casos totales de zika confirmados y tasas de incidencia en Pichincha y Quito, períodos 2017 a 2019

AÑO	Casos totales confirmados en Pichincha	Tasa de incidencia por 100.000 habitantes	
		Pichincha	Quito
2015	0	-	-
2016	35	-	-
2017 (hasta semana 52)	10	0,03	Mínimo
2018 (hasta semana 52)	0	0	0
2019	-	-	-

Fuente: Trabajo investigativo a partir de Subsecretaría Nacional de Vigilancia de la Salud Pública 2017-2018

Según los datos de la Subsecretaría Nacional de Vigilancia de la Salud Pública, se puede concluir que el virus del dengue, transmitido por el mosquito *Aedes aegypti*, es el más importante entre los virus de las enfermedades que transmite este vector, ya que desde 2018 no ha habido casos confirmados de zika y chikungunya en la provincia de Pichincha. Sin embargo, se considera alto el riesgo de que a futuro lleguen al DMQ estas dos últimas enfermedades por casos importados y que su transmisión se vea beneficiada por la presencia del mosquito que las transmite (*A. aegypti*) (León, y otros 2015). Incluso, al estar Quito ubicado en un área de elevación en la cordillera de los Andes, lo coloca en una posición donde pudiera experimentar mayor exposición a la presencia de mosquitos bajo condiciones del cambio climático, según lo que sugieren los mejores subconjuntos de modelos (Lippi, y otros 2019).

Por otro lado, a nivel del Distrito Metropolitano de Quito, el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial (PMDOT) menciona que la ciudad aumenta la sensibilidad social respecto a temas de salud, y establece que han sido insuficientes las acciones a favor de promover la salud y de prevenir los riesgos y enfermedades (Alcaldía Metropolitana de Quito 2015). En términos generales, es bastante baja la notificación de enfermedades transmitidas por vectores en la sierra ecuatoriana, a pesar de que el DMQ presente valles con alturas menores adecuados, para la transmisión de este tipo de enfermedades (Lippi, y otros 2019). El Ministerio de Salud Pública del Ecuador dirige todas sus acciones respecto a este tema hacia las poblaciones actualmente e históricamente en situación de riesgo, como las ciudades costeras de Guayaquil y Machala (Lippi, y otros 2019), decidiendo no realizar acciones que permitan prevenir y controlar la presencia a futuro de mosquitos vectores de enfermedades en sitios de la región Sierra donde actualmente no están presentes. Sin embargo, la falta de información sobre enfermedades transmisibles por vectores y cambio climático en el DMQ,

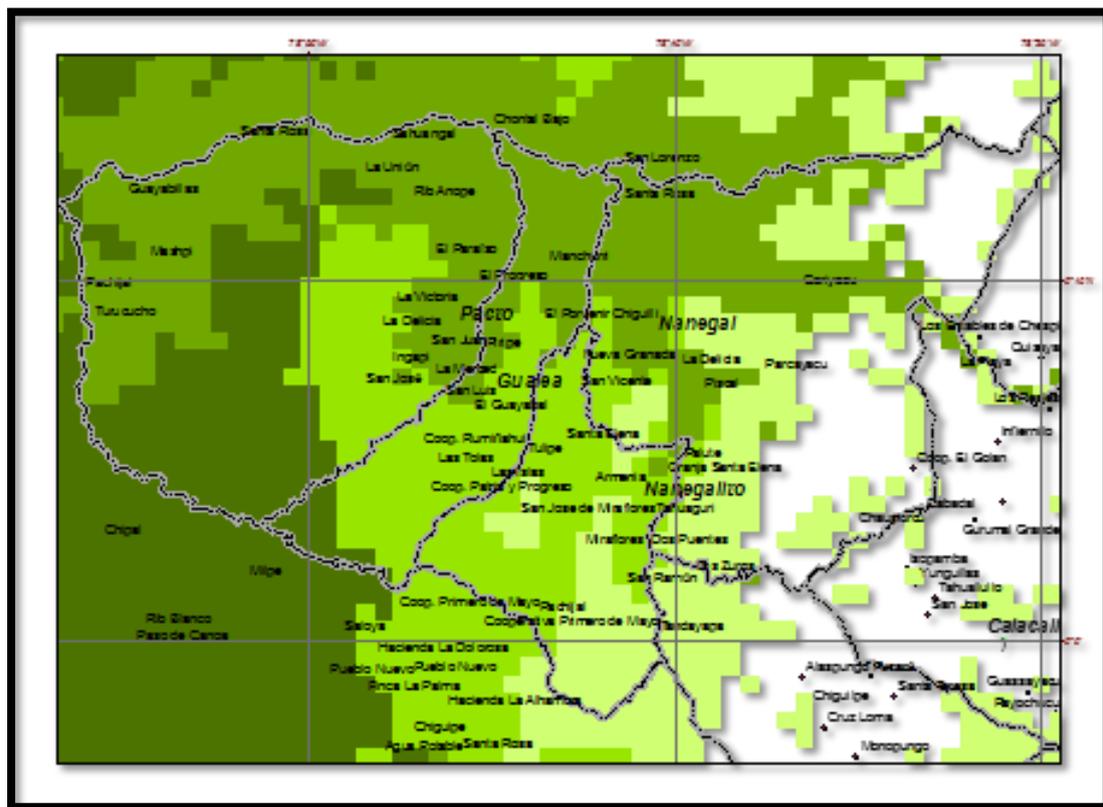
no es el único problema dentro del sector de la Salud, también requiere especial atención lo que respecta a equipamientos, pues la mayor concentración de equipamientos de salud de carácter público está en el hipercentro del DMQ, las áreas menos equipadas son los valles y las parroquias rurales. La mayor demanda de estos equipamientos se encuentra en el extremo sur y al noroccidente de la ciudad, Calderón y Conocoto (Distrito Metropolitano de Quito 2012).

En el Plan de Acción Climático de la ciudad de Quito, en su programa de Salud y Clima, se establece reducir la vulnerabilidad de zonas sensibles frente a cambios en el clima, reproducción de vectores y altos niveles de contaminación (Secretaría de Ambiente DMQ 2015). Es por ello, que en el marco de alcanzar la reducción de la vulnerabilidad frente a los vectores, que durante 2015 y 2016, se realizó el estudio “Vulnerabilidad Climática del Sector Salud en Quito: Facilitando los datos técnicos para que sean asequibles a los tomadores de decisiones” dirigido principalmente por el Laboratorio de Entomología Médica & Medicina Tropical de la Universidad de San Francisco de Quito, bajo el acompañamiento y respaldo de la Dirección de Cambio Climático de la Secretaría del Ambiente del DMQ (León, y otros 2015).

Este estudio abordó variables de carácter epidemiológicas, entomológicas, climáticas y socio ambientales de las parroquias de Nanegal, Nanegalito, Pacto y Gualea del Distrito Metropolitano de Quito, para, a través de un modelo de nicho ecológico, evaluar la vulnerabilidad de su población respecto a la adquisición de enfermedades vectoriales (Leishmaniasis, Chagas, Malaria, Dengue y Chikungunya) y cuánto esta vulnerabilidad se ve influenciada por el cambio climático (León, y otros 2015).

El monitoreo entomológico dentro de las cuatro parroquias del área de estudio, arrojó la presencia in situ de tres especies de mosquitos transmisores de enfermedades vectoriales como resultado, y una de estas tres especies era *Aedes aegypti*, las trampas capturaron a este mosquito en las zonas de las parroquias donde se presentaba un tipo de clima tropical muy húmedo y tropical (León, y otros 2015), climas donde comúnmente suele ser encontrado este vector (Johansson, Dominici y Glass 2009). El siguiente mapa muestra los tipos de climas en 2015 de las cuatro parroquias donde se realizó el estudio (León, y otros 2015).

Figura 6. Mapa con los tipos de clima del noroccidente del DMQ en 2015



Tipos de Clima Noroccidente DMQ

- Tropical muy húmedo
- Tropical
- Montano muy húmedo
- Montano húmedo

Fuente: León y otros 2015

A pesar de que no se realizó en ese entonces, y tampoco hasta la fecha se ha realizado monitoreos entomológicos en las demás parroquias rurales y urbanas del DMQ, el hecho de que en 2015 las trampas colocadas hayan capturado mosquitos de la especie *A. aegypti*, hace que sea más viable la transmisión de las enfermedades que este vector suele portar, considerando que uno de los patrones para que esto ocurra es el desplazamiento de personas y vectores infectados entre municipios próximos (Johansson, Dominici y Glass 2009), y para este caso de estudio del DMQ, se hace relación a una transmisión entre las parroquias del distrito.

2.4. Temperatura que soporta el vector *Aedes aegypti*

Se conoce que bajo condiciones de laboratorio la supervivencia de *Aedes aegypti* es baja si la temperatura supera los 35°C o es inferior a los 14-15°C, o lo que es lo mismo, si el mosquito se enfrenta a un medio donde el rango de temperatura sale de 15-34°C (Stanforth, Moreno-Madriñán y Ashby 2016).

“La medición de la temperatura, junto con la altura y la vegetación, son las variables que más contribuyen al proceso de identificación de los lugares que puedan tener brotes de *Aedes aegypti* a futuro” (Stanforth, Moreno-Madriñán y Ashby 2016, 1).

2.5 Sensores Remotos

El uso de sensores remotos cada vez es más común por varias razones, una de ellas son los limitados presupuestos para realizar monitoreo de datos in situ, lo que ha convertido a estos sensores en una herramienta de fácil acceso para estimar brotes de enfermedades vectoriales (Stanforth, Moreno-Madriñán y Ashby 2016).

Por otro lado, las mediciones arrojadas por estaciones meteorológicas, proporcionan información precisa temporalmente, no pueden describir en su totalidad la heterogeneidad espacial de grandes áreas, las mediciones son interpoladas con errores significativos que a menudo conducen a patrones espaciales no representativos (Benali, y otros 2012). Mientras que, “la data ofrecida por sensores remotos es usada para monitorear sin mayor inconveniente variables ambientales como el mapeo de la cobertura terrestre, índices de vegetación, estructura del paisaje y distribución de cuerpos de agua, que son variables que influyen en la distribución de mosquitos vectores de enfermedades” (Lourenço, y otros 2011, 279).

Es por ello que, en los sitios donde las estaciones meteorológicas no están presentes o son muy reducidas, la teledetección ofrecida por los sensores remotos es una fuente valiosa de información, que aporta una escala temporal más larga y disminuye la dependencia de mediciones in situ (Benali, y otros 2012). Por ello, es común que organismos de salud pública se beneficien de los sensores remotos para implementar programas de vigilancia y monitoreo para estimar la abundancia de vectores, proponer estrategias de prevención, o controlar un mayor esparcimiento del vector y de la enfermedad (Stanforth, Moreno-Madriñán y Ashby 2016).

Uno de los sensores remotos más usados es el MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Benali, y otros 2012), y entre sus ventajas se encuentran las resoluciones espaciales finas que presentan las variables que arroja, las mismas que están disponibles atmosféricamente corregidas, georregistradas y sin costo para el usuario. Además, sus productos son distribuidos por la NASA usando una interfaz de red mundial (Estallo, y otros 2016).

Capítulo 3

Propuesta de guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura

Este capítulo aborda las consideraciones previas a la elaboración de la guía metodológica, como la descripción de las etapas y productos de los sensores remotos de la fuente secundaria seleccionada en la cual se apoyó la construcción de la guía. También refiere el nivel de réplica de la fuente secundaria para la guía y por último, se presenta el paso a paso de la guía metodológica.

3.1. Consideraciones previas a la guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura

Las enfermedades vectoriales, para países en desarrollo como el Ecuador, representan una gran carga, especialmente porque los déficits en capacidad científica y tecnológica hacen que sea difícil determinar correctamente las necesidades de salud pública o elegir acertadamente servicios sanitarios viables tanto en costos como en eficiencia (OMS 2006). Es por ello, que esta propuesta de guía metodológica facilitará la evaluación de los posibles sitios del DMQ con mayor necesidad de acciones preventivas frente a la presencia a futuro del mosquito *Aedes aegypti*. Esta evaluación permitirá a su vez destinar los presupuestos de una mejor manera a lugares puntuales en lugar de implementar acciones arbitrariamente.

La metodología que ofrece la siguiente guía fue construida con base en la investigación científica titulada MODIS Environmental Data to Assess Chikungunya, Dengue, and Zika Diseases Through Aedes (*Stegomyia*) *aegypti* Oviposition Activity Estimation, publicada en la revista científica Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing en 2016. Esta investigación se realizó en Argentina, en la ciudad de Oran, con una elevación de 337 msnm, 76070 habitantes, clima subtropical, temperatura anual promedio de 21°C y 78% de humedad promedio anual (Estallo, y otros 2016). Comparando la ciudad de Oran con el DMQ, la segunda le supera en número de habitantes y altura, mientras que Oran presenta mayor temperatura anual promedio y mayor humedad en comparación a los 14.78°C y 75% de humedad del DMQ (Secretaría de Ambiente DMQ 2016).

Sin embargo, a pesar de que las características de ambas ciudades no coincidan, la metodología que usó el estudio en Argentina es completamente aplicable ya que no considera como variables la altura y número de habitantes. Respecto a la temperatura y humedad, maneja ambas variables en relación a los datos que un sensor remoto (MODIS) arroja

independientemente del sitio o lugar de estudio donde se implemente la metodología propuesta.

El estudio de Oran se desarrolló a lo largo de las siguientes etapas: captura e identificación de huevos de *Aedes aegypti* a través de la colocación aleatoria de 90 ovitrampas en hogares del área urbana de la ciudad durante 2 años consecutivos (2005 – 2007), obtención de los productos de temperatura superficial terrestre (*Land Surface Temperature* LST-producto MOD11A2) e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI-producto MOD13Q1) a través del sensor remoto MODIS, cálculos estadísticos para los datos arrojados de ambos productos, obtención de la ecuación del modelo usando dos ecuaciones de regresión lineal múltiple, comparación del coeficiente de determinación de ambas ecuaciones para validar el modelo y estimación a futuro de la fluctuación de *Aedes aegypti* para 2014 – 2016 a través de la simulación del modelo (Estallo, y otros 2016).

Los productos de LST de MODIS, proviene de dos canales de banda térmica infrarroja que en ocasiones presentan diferencias en sus mediciones causadas por la absorción diferencial de radiación en la atmósfera, sin embargo, estos errores atmosféricos son corregidos a través de un algoritmo (Benali, y otros 2012). El producto LST que usó el estudio en Argentina fue MOD11A2 (LST), que es un producto de 8 días, con 1 km de tamaño de pixel, de valores máximos diurnos, compuesto con un total de 93 imágenes para los 2 años de estudio (Estallo, y otros 2016). Mientras, MOD13Q1 (NDVI) es un producto compuesto de 16 días, con 250 m como tamaño de pixel, desarrollado a partir de observaciones con una mínima nubosidad, el conjunto de datos comprendía 45 imágenes correspondientes al tiempo de 2 años.

Al usar regresiones lineales para proyectar variables dependientes a futuro, el período de alcance de dicha proyección varía de acuerdo al tiempo que dure la toma de datos para obtener las ecuaciones de regresión lineal base. Por ejemplo, el presente estudio para su ecuación de regresión lineal base propone usar información recolectada durante dos años, porque en ese tiempo se realiza el muestreo con ovitrampas, y a pesar de que los datos de LST y NDVI pudieran obtenerse para una mayor cantidad de tiempo (incluso 20 años atrás), la ecuación debe mantener la misma línea de tiempo en datos. Entonces, si la ecuación base aborda dos años, la ecuación para proyectar podrá arrojar una estimación hacia máximo 5 años a futuro una vez finalizado el proceso de recolección de huevos de *Aedes aegypti*.

Los aportes concretos de este estudio para el diseño de la guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura fueron presentar una metodología flexible aplicable en otras ciudades de América Latina, y además de flexible también dependiente de las variables ambientales propias de cada sector a evaluar. Al emplear ecuaciones de regresión lineal múltiple que consideran variables que interactúan diferente de acuerdo a los sitios de estudio, los coeficientes obtenidos no vienen ya establecidos dentro de la metodología propuesta, siempre habrá resultados distintos y una ecuación diferente para cada contexto urbano.

A continuación, se presentará la guía que ha sido el resultado de la adaptación al contexto del DMQ de la metodología usada en la investigación de Oran, Argentina.

3.2. Guía Metodológica

Guía Metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura

Objetivo: Calcular un número aproximado de la cantidad de huevos de *Aedes aegypti* que habrá a futuro por aumento de temperatura en el DMQ para priorizar de acuerdo a sectores la implementación de medidas de control y prevención junto con medidas de adaptación y mitigación de cambio climático.

Usuarios: Podrán implementar esta guía diferentes sectores como la Academia en sus instituciones privadas o públicas, el Municipio de Quito en sus Secretaría de Ambiente y de Salud. Se podrá implementar esta guía a través de alianzas interinstitucionales, como por ejemplo entre academia y sector público.

Requerimientos previos:

- Computadora con 1 Tera de almacenamiento para guardar la data requerida a descargar.
- Computadora con sistema operativo Windows.
- Cotizaciones de los materiales para la recolección de datos entomológicos.

Recolección de datos entomológicos para *Aedes aegypti*

1. Identificar los barrios de las parroquias a ser evaluadas en el estudio.
2. Contabilizar el número de casas de cada barrio para calcular la cantidad de ovitrampas a ser colocadas.
3. Colocar las ovitrampas durante el período de dos años consecutivos en cada una de las parroquias que se mencionan a continuación.
 - a. Nono
 - b. San José de Minas
 - c. Nanegal
 - d. Calacalí

- 1.1 Colocar las trampas aleatoriamente según los siguientes criterios dados por la Organización Panamericana de la Salud:
- a. Barrios con 100 viviendas o menos, muestrear 45 viviendas.
 - b. Barrios con 101 a 200 viviendas, muestrear 51 viviendas.
4. Las trampas se deben colocar en los patios de las viviendas, bajo un lugar sombreado al nivel del suelo.
 5. Las ovitrampas son vasos plásticos de 350ml, llenados hasta 250ml con una infusión de heno.
 6. Reemplazar semanalmente las ovitrampas.
 7. Realizar conteo y registro de huevos semanal.
 8. Incubar los huevos hasta el tercer o cuarto estadio para corroborar que pertenezcan a la especie *Aedes aegypti*.
 9. Calcular los siguientes índices para cada parroquia:
 - a. Índice de viviendas (IV)(IM): porcentaje de viviendas infestadas con larvas o pupas.
 - b. Índice de recipientes (ID): porcentaje de recipientes de agua infestados con larvas o pupas.
 - c. Índice de Breteau (IB): número de recipientes positivos por cada 100 viviendas inspeccionadas.
 - d. Índice de pupas (IP): número de pupas por cada 100 viviendas inspeccionadas.

*Evaluar los resultados de los índices de las parroquias de acuerdo a la clasificación del nivel del riesgo de cada índice según indica la siguiente tabla:

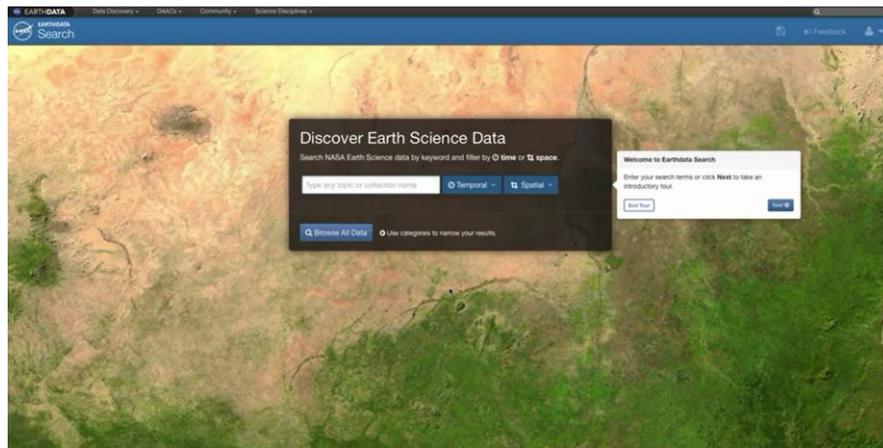
Indicador	Riesgo (%)		
	Bajo	Medio	Alto
IV	<4	4-35	>35
ID	<3	3-20	>20
IB	<5	5-50	>50

IV: índice de infestación de viviendas, ID: índice de infestación de depósitos,
IB: índice de Breteau

Fuente: Alarcón, y otros 2014

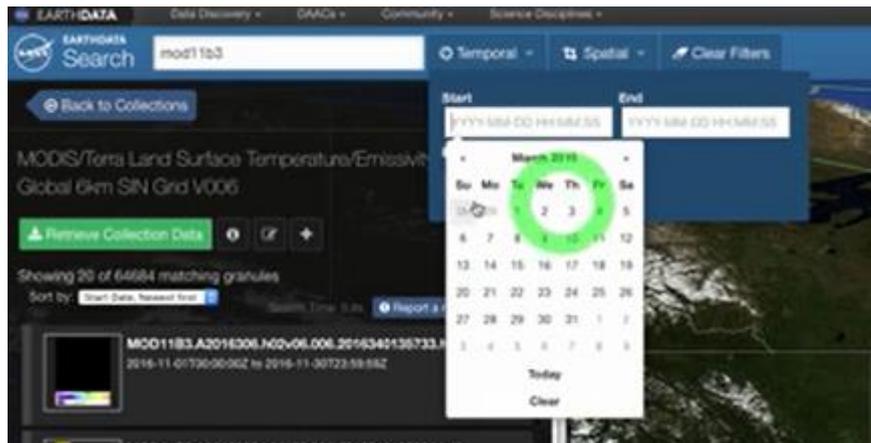
Obtención de datos del sensor remoto MODIS

10. Obtener los datos del sensor remoto MODIS paralelamente a la obtención de datos de *Aedes aegypti*.
 - a. Obtener el producto MOD13Q1 de MODIS, correspondiente al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), información para cada 16 días de los dos años (paso 11).
 - b. Obtener MOD11A2 de MODIS, correspondiente a la temperatura superficial terrestre (LST), información para cada 8 días de los dos años (paso 11).
11. Ingresar a <http://search.earthdata.nasa.gov> (buscador de productos de MODIS)
 - a. Crear una nueva cuenta de usuario en caso de no contar previamente con una.
 - b. Escribir en la barra del buscador del sitio el nombre de los productos, ya sea MOD13Q1 o MOD11A2, luego dar ENTER.



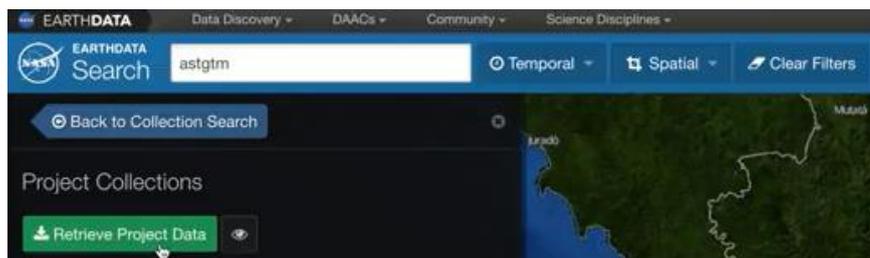
Fuente: Earthdata 2019

- c. Seleccionar o dar clic sobre el nombre del producto que aparece en la siguiente interfaz.
- d. Ubicar dentro del mapa global, con ayuda del cursor, el sitio de estudio: Distrito Metropolitano de Quito.
- e. Seleccionar el período de tiempo (día, mes, año) inicial y final del estudio (los mismos 2 años que dure el muestreo de huevos de *Aedes aegypti*), dando clic en el botón *Temporal* ubicado en la parte superior izquierda de la interfaz.



Fuente: Earthdata 2019

- f. Seleccionar el área de la parroquia del DMQ con la herramienta *Polygon* que se despliega al dar clic en el botón *Spatial* ubicado en la parte superior izquierda.
- g. Dar clic en el botón *Retrieve Project Data*



Fuente: Earthdata 2019

- h. Los datos llegarán comprimidos en un archivo zip al email con que se haya registrado la cuenta.
12. Calcular la media y la desviación estándar para cada subconjunto de NDVI y LST.
 13. Interpolarse linealmente los datos de NDVI (producto de 16 días) y LST (producto de 8 días) para una frecuencia de 7 días (mismo período del conjunto de datos de muestreo de huevos de *Aedes aegypti*).

Cálculo de la ecuación del modelo usando regresión lineal

14. Calcular una ecuación de regresión lineal considerando los datos adquiridos durante el período de estudio (dos años) de las siguientes variables:
 - a. Variable dependiente (y): número de huevos encontrados durante el muestreo

- b. Variables independientes (x): datos recogidos de los productos LST (x_1) y NDVI (x_2).

Estructura de la Ecuación de regresión lineal:

$$y = a + bx_1$$

$$y = a + bx_2$$

Donde a y b son coeficientes, y x representa cada una de las dos variables independientes.

*Programas sugeridos para el cálculo de la ecuación de regresión lineal: Excel, Past y SPSS.

15. Calcular el Coeficiente de Determinación (R^2) de cada una de las dos ecuaciones de regresión lineal obtenidas en el paso anterior.
16. Calcular una ecuación de regresión lineal múltiple considerando los datos adquiridos durante el período de estudio (dos años) de las mismas variables dependientes e independientes mencionadas en el paso 14.
- 17.

Estructura de la Ecuación de regresión lineal múltiple:

$$y = a + bx_1 + cx_2$$

Donde a , b y c son coeficientes, x_1 la variable independiente LST y x_2 la variable independiente NDVI.

Tabla 7. Formato de tabla para colocar los datos necesarios en el cálculo de la regresión lineal múltiple

N° de dato	Huevos de <i>Aedes aegypti</i> (y)	LST en C° (x_1)	NDVI adimensional (x_2)
1			
2			
3			
...			
104			

Fuente: Trabajo investigativo a partir de Estallo, y otros 2016.

*La tabla muestra el número de datos que se tendrá por cada variable que participa en el cálculo de la ecuación de regresión lineal múltiple, un total de 104 datos por dos años, donde cada dato corresponde a la información de una semana (7 días).

Validación de la ecuación del modelo

18. Calcular el Coeficiente de Determinación (R^2) de la ecuación de regresión lineal múltiple obtenidas en el paso anterior.
- * Si el coeficiente de determinación se acerca a +1 o -1 la ecuación del modelo será validada. Mientras más cerca esté de estas cifras, mayor será el grado de confiabilidad en el modelo.
 - ** Si R^2 es superior o igual a 0.69 el modelo tendría el mismo o mayor grado de validación que el estudio en el cual está basada esta guía metodológica.
19. Calcular el coeficiente de correlación (coeficiente de Pearson, ρ) para saber si la regresión es consistente.
- * El coeficiente de correlación arrojará un valor entre -1 y +1.
 - ** para demostrar que existe una correlación entre las variables, el coeficiente debe ser positivo, pero no debe sobrepasar el valor de 0.80

Estimación a futuro de la presencia de *Aedes aegypti*

20. Reemplazar sobre la ecuación validada con los datos de las variables proyectadas a futuro.

Estructura de la Ecuación de regresión lineal múltiple para proyección a futuro:

$$y = a + bx_1 + cx_2$$

*Donde y es la variable dependiente que se busca conocer su valor, la incógnita, el número de huevos de *Aedes aegypti*.

**Las letras a , b y c son los coeficientes ya calculados en el paso 16, los cuales mantienen su valor dentro de la ecuación de proyección.

*** x_1 = media de las temperaturas promedio anuales durante los 5 próximos años, tomadas de las proyecciones de temperatura a futuro que dispone la Secretaría del Ambiente.

**** x_2 = promedio anual del NDVI inicial obtenido para el cálculo de la ecuación del modelo.

21. Obtener el número estimado de huevos de *Aedes aegypti*.
22. Comparar los 4 resultados de estimaciones obtenidos para cada parroquia y priorizar aquellas parroquias con mayores resultados en la dirección de acciones preventivas y de control.

Acciones posteriores a la implementación de la guía metodológica

23. Generar un informe con los resultados obtenidos y sus respectivas conclusiones.
24. Socializar los resultados con las instituciones competentes:
 - a. Secretaría de Salud del DMQ
 - b. Secretaría del Ambiente del DMQ
 - c. Subsecretaría de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente
 - d. Ministerio de Salud
 - e. Subcentros de Salud de las parroquias involucradas
 - f. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
25. Publicar el informe en el sitio web de la institución que realizó la implementación del estudio y en el sitio web de Secretaría del Ambiente y Secretaría de Salud del DMQ.
26. Realizar seguimiento a las acciones climáticas y de salud pública establecidas por parte de las instituciones distritales competentes.
 - a. El seguimiento lo hará la(s) institución(es) que implementó la guía metodológica.

Conclusiones

Finalmente, se puede concluir que se correlacionó el cambio de temperatura a futuro del DMQ con la posible colonización de *Aedes aegypti* a través del uso de la información de la temperatura promedio anual del DMQ proyectada a 2050 como variable independiente en la metodología propuesta en este estudio. También se identificó las parroquias del distrito más propensas a experimentar colonización de *A. aegypti* en base a su proyección de aumento de temperatura y su cercanía con parroquias que ya presentan registros de actividad del vector, estas parroquias fueron: Nono, San José de Minas, Nanegal y Calacalí. Por último, se desarrolló una guía metodológica para estimar la presencia de *Aedes aegypti* a futuro en el DMQ por el aumento de temperatura, la cual fue desarrollada considerando la realidad del distrito y las mediciones que este maneja tales como temperatura promedio anual.

La propuesta de guía metodológica ofrecida en esta investigación fue realizada considerando las necesidades del Distrito Metropolitano de Quito en relación al aumento de temperatura como causal de expansión de enfermedades vectoriales, en especial: dengue, zika y chikungunya que han sido las más representativas en la provincia de Pichincha. Se consideró también la alternativa metodológica menos costosa al momento de ser implementada, teniendo en cuenta su aplicabilidad.

El modelamiento propuesto en la guía metodológica es flexible en lugar y tiempo, lo que permite que sea replicado en otras parroquias o ciudades, y extendido en su período de tiempo de estudio (mayor a dos años), si se decide incrementar el muestreo con ovitrampas para capturar huevos de *Aedes aegypti*. El modelamiento propuesto en la guía puede ser aplicado en cualquier momento, por lo que da libertad a los interesados a evaluar el mejor momento para su implementación.

Si se desea que el modelo arroje una estimación de presencia de huevos de *Aedes aegypti* con una proyección mayor a 5 años a futuro, se deberá realizar un muestro con ovitrampas superior a 2 años. Por ejemplo, monitoreando ovitrampas durante 5 años, la estimación podrá ser proyectada a 10 años, usando igualmente data de LST y NDVI obtenida paralelamente durante los mismos 5 años.

Si bien existirá un margen de error al momento de reemplazar en la ecuación de regresión lineal múltiple la variable LST por la temperatura promedio anual proyectada a futuro; sin embargo, el resultado que se obtenga tras la estimación a futuro de la presencia de *Aedes aegypti*, permanecerá siendo eso, una estimación, no será un dato exacto de lo que pasará a futuro. Lo cual justifica el reemplazo de variables que a su vez guardan entre sí correspondencia en cuanto a los parámetros ambientales que tratan.

Las futuras variaciones en la temperatura del DMQ como consecuencia del cambio climático harán que el distrito se muestre más o menos vulnerable ante la presencia de enfermedades transmitidas por vectores, por esta razón se debe fortalecer la vigilancia, control y monitoreo tanto del mosquito *Aedes aegypti* como del registro de casos confirmados de enfermedades que son transmitidas por el vector en el DMQ, con el objetivo de direccionar de mejor manera las acciones de mitigación y adaptación de esta consecuencia del cambio climático a nivel local.

La Secretaría de Salud del DMQ debe iniciar el proceso de notificación de casos confirmados de enfermedades transmitidas por vectores en toda área bajo la cual se extienda su jurisdicción a través de la articulación con instituciones de salud públicas y privadas. Esto servirá para que el distrito tenga un sistema de monitoreo de enfermedades vectoriales, ya que su población no cuenta con un conocimiento preventivo en base a una situación de riesgo. Que será complementario a la guía metodológica propuesta en este estudio, en caso de que el DMQ llegase a enfrentar a futuro una expansión o colonización de *Aedes aegypti* con motivo del cambio climático.

Recomendaciones

Se recomienda que los dos años de muestreo sean finalizados antes del año 2030, para garantizar que las acciones que se puedan llegar a tomar, tras obtener los resultados a los que direcciona la guía metodológica, sean acciones preventivas y no reactivas.

Esta herramienta puede servir para direccionar acciones adaptativas, de mitigación y preventivas focalizadas territorialmente a nivel del Distrito Metropolitano de Quito, según los lugares de las parroquias más propensos a la presencia de *Aedes aegypti* por un aumento de temperatura a futuro. La implementación de esta guía puede ser un insumo valioso en el marco del Plan de Acción Climático de Quito 2025-2035, o del Plan 2050 de cambio climático de la ciudad, dentro del Plan Decenal de Salud 2025-2035 del DMQ, el cual en su versión hasta 2025 no menciona en ninguno de sus apartados líneas de acción frente a las enfermedades vectoriales a nivel de distrito.

Se deberían implementar hasta 2025 pilares de acción para el control de *Aedes aegypti* en contextos urbanos, que se vean reflejados dentro de las políticas públicas del DMQ, como las anteriormente mencionadas. Estos pilares de acción comprenden: desarrollar y fomentar innovación e investigación básica y aplicada, reforzar acciones y articulación intersectorial e intrasectorial, generar participación ciudadana, mejorar la vigilancia, monitoreo y evaluación de la actividad vectorial (OMS 2017) dentro del distrito.

Se debe implementar la articulación entre Ministerio de Salud, DMQ, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología ya sugerida en 2015 por el proyecto “Vulnerabilidad Climática del Sector Salud en Quito: Facilitando los datos técnicos para que sean asequibles a los tomadores de decisiones”, con el fin de “desarrollar información climática para la salud y sistemas de alerta temprana climático-epidemiológica” (León, y otros 2015, 10).

Se recomienda además implementar procesos adaptativos y de mitigación a corto plazo tales como: evaluación y fortalecimiento de la población mayoritariamente expuesta, integración del sistema de vigilancia local de *Aedes aegypti* con la información de carácter sanitario; y a largo plazo: creación de una red de ministerios a nivel nacional para que distintos sectores participen en cuanto a la problemática de cambio climático y enfermedades infecciosas (OMS 2017).

Apéndices

Anexo 1: Características de las fuentes secundarias

N°	Título del Estudio	Autores	Perteneencia autores	Año	Tipo de fuente	Lugar donde se realizó el estudio	Variables consideradas				
							Enfermedades vectoriales		Proyección climática	Estimación presencia de vectores	
							Otros vectores	<i>A. aegypti</i>		Otras variables	Variación de la temperatura
1	Identification of key areas for <i>Aedes aegypti</i> control through geoprocessing in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil	Marcos Thadeu Fernandes Lagrotta Wellington da Costa Silva Reinaldo Souza-Santos	Coordenadoria de Vigilância em Saúde, Secretaria Municipal de Saúde de Mesquita Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz	2008	Artículo de revista indexado, Cad. Saúde Pública	Rio de Janeiro, Brasil	-	X	-	X	-
2	Local and Global Effects of Climate on Dengue Transmission in Puerto Rico	Michael A. Johansson, Francesca Dominici, Gregory E. Glass	Division of Vector-Borne Infectious Diseases, Centers for Disease Control and Prevention, San Juan, Puerto Rico W. Harry Feinstone Department of Molecular Microbiology and Immunology, Department of Biostatistics, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, Maryland, USA	2009	Artículo de revista indexado, PLOS Neglected Tropical Diseases	Puerto Rico, USA	-	X	-	X	X
3	Use of Mapping and Spatial and Space-Time Modeling Approaches in Operational Control of <i>Aedes aegypti</i> and Dengue	Lars Eisen, Saul Lozano-Fuentes	Department of Microbiology, Immunology and Pathology, Colorado State University	2009	Artículo de revista indexado, PLOS Neglected Tropical Diseases	Colorado, USA	-	X	-	X	X

4	Spatio-Temporal Tracking and Phylodynamics of an Urban Dengue 3 Outbreak in Sao Paulo, Brazil	Adriano Mondini, Roberta Vieira de Moraes Bronzoni, Silvia Helena Pereira Nunes, Francisco Chiaravalloti Neto, Eduardo Massad, Wladimir J. Alonso, Eduardo S. M. Lázaro, Amena Alcantara Ferraz, Paolo Marinho de Andrade Zanotto, Mauricio Lacerda Nogueira	- Faculdade de Medicina, Superintendencia de Controle de Endemias, Secretaria Municipal de Saúde e Higiene de Sao José do Rio Preto - Faculdade de Medicina da Universidade de Sao Paulo Forgarty International Center, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland - Laboratório de Evolucao Molecular e Bioinformática (LEMB), Departamento de Microbiologia, Instituto de Ciencias Biomédicas. Universidade de Sao Paulo	2009	Articulo de revista indexado, PLOS Neglected Tropical Diseases	Sao Paulo, Brasil	-	X	-	X	-
5	Ecoepidemiologia y epidemiologia satelital: Nuevas herramientas en el manejo de problemas en Salud pública	Alfonso J. Rodriguez-Morales	Centro Trujillano de Investigaciones Parasitológicas José Witremundo Torrealba, Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela	2005	Articulo de revista indexado, Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública	Trujillo, Venezuela	X	-	X	-	X
6	The ecology of climate change and infectious diseases	Kevin D. Lafferty	Western Ecological Research Center, U.S. Geological Survey, Marine Science Institute, University of California,	2009	Articulo de revista indexado, Ecology: Concepts & Synthesis by the Ecological Society of America	California, USA	X	X	X	X	X
7	Do rising temperatures matter?	Mercedes Pascual and Menno J. Bouma	- Howard Hughes Medical Institute and Department of Ecology and Evolutionary Biology,	2009	Articulo de revista indexado, Ecology: Forum	Análisis de casos a nivel mundial.	X	-	X	X	X

			University of Michigan - Department of Infectious and Tropical Diseases, London School of Hygiene and Tropical Medicine, University of London		by the Ecological Society of America						
8	Perspectives on climate change impacts on infectious diseases	Sarah E. Randolph	Department of Zoology, University of Oxford	2009	Artículo de revista indexado, Ecology: Forum by the Ecological Society of America	Análisis de casos a nivel mundial.	X	X	X	X	X
9	Disentangling the Effect of Local and Global Spatial Variation on a Mosquito-Borne Infection in a Neotropical Heterogeneous Environment	Maria-Eugenia Grillet, Roberto Barrera, Juan- Eudes Martínez, Jesús Berti, and Marie-Josée Fortin	- Laboratorio de Biología de Vectores, Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela - Division of Vector Borne Infectious Diseases, Centers for Disease Control and Prevention, San Juan, Puerto Rico - Instituto de Altos Estudios de Salud Pública "Dr. Arnoldo Gabaldón," Venezuela - Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada	2010	Artículo de revista indexado, The American Society of Tropical Medicine and Hygiene	Venezuela	X	-	X	X	X
10	Determinación de factores de riesgo para la transmisión de dengue en zonas altas mediante análisis geoespaciales. Estado Mérida, Venezuela, 2001-2009	Francisco Daniel Marichal Vilanova	- Universidad Central De Venezuela, Facultad De Ciencias, Escuela De Biología, Departamento De Ecología	2011	Tesis, Universidad Central de Venezuela	Mérida, Venezuela	-	X	X	X	X

11	Anopheles atroparvus density modeling using MODIS NDVI in a former malarious area in Portugal	Pedro M. Lourenço, Carla A. Sousa, Júlia Seixas, Pedro Lopes, Maria T. Novo, and A. Paulo G. Almeida	- 1Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa - UEM/UPMM, Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa	2011	Articulo de revista indexado, Journal of Vector Ecology	Portugal	X	-	X	X	X
12	Remote Sensing and Modeling of Mosquito Abundance and Habitats in Coastal Virginia, USA	Haley L. Cleckner, Thomas R. Allen, A. Scott Bellows	- Department of Geography, East Carolina University, USA - REMSA Incorporated, 124 West Queens Way, Hampton, VA 23669, USA	2011	Articulo de revista indexado, Remote Sensing	Coastal Virginia, USA	X	-	-	X	X
13	Dengue Vector Dynamics (Aedes aegypti) Influenced by Climate and Social Factors in Ecuador: Implications for Targeted Control	Anna M. Stewart Ibarra, Sadie J. Ryan, Efrain Beltrán, Raúl Mejía, Mercy Silva, Ángel Muñoz	- Center for Global Health and Translational Sciences, State University of New York Upstate Medical University, Syracuse, New York, USA - Department of Environmental and Forest Biology, State University of New York College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York, USA - National Service for the Control of Vector-Borne Diseases, Ministry of Health, Machala, Ecuador - National Institute of Meteorology and Hydrology, Guayaquil, Ecuador - Department of Agriculture, Engineering, and Science, School of Life Sciences, University of	2013	Articulo de revista indexado, PLoS ONE	Machala, Ecuador	-	X	-	X	X

			KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa - International Institute of Climate and Society, Columbia University, New York, New York, USA - Centro de Modelado Científico, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela								
14	Climate and Non-Climatic Drivers of Dengue Epidemics in Southern Coastal Ecuador	Anna M. Stewart-Ibarra y Rachel Lowe	- Department of Environmental and Forest Biology, State University of New York College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York - National Service for the Control of Vector-Borne Diseases, Ministry of Health, Machala, Ecuador - National Institute of Meteorology and Hydrology, Guayaquil, Ecuador - The Catalan Institute of Climate Sciences, Barcelona, Spain - International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy	2013	Artículo de revista indexado, The American Society of Tropical Medicine and Hygiene	El Oro, Ecuador	-	X	-	X	X
15	Vulnerabilidad Climática del Sector Salud en Quito: Facilitando los datos técnicos para que sean asequibles a los	Dr. Renato León, Dra. Mercy J. Borbor C., Dra. María Fernanda, Enriquez, Dr. Luis Escobar, Dra. Manisha Kulkarni, Dra. Sarah Opitz-Stapleton, Dr. Chris	- Laboratorio de Entomología Médica & Medicina Tropical, Centro de Transferencia y Desarrollo de Tecnologías, Colegio de Ciencias de la Salud, Colegio de Ciencias Veterinarias. Universidad	2015	Informe de Investigación, Centro de Transferencia y Desarrollo de Tecnologías de la Universidad San Francisco	Quito, Ecuador	X	X	X	X	X

	tomadores de decisiones	Drakeley, Dr. Kevin Tetteh, Ing. José Utreras Dr. William Waters, Dr. Lenin Vinuesa, Dr. Mauricio Lascano, Ing. Daniela Zuñiga, Srta. Ruth Ramos, Sr. Gabriel Mantilla	San Francisco de Quito, USFQ - Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Oceánicas y Recursos Naturales. Escuela Politécnica del Litoral - Institute for Social and Environmental Transition- International Department of Veterinary Population Medicine. University of Minnesota - School of Epidemiology, Public Health and Preventive Medicine. University of Ottawa - Institute for Social and Environmental Transition- International - Malaria Centre, The London School of Hygiene and Tropical Medicine - Malaria Branch, Center for Disease Control and Prevention CDC - Escuela Politécnica del Litoral		de Quito CTT- USFQ						
16	Presencia de <i>Aedes</i> (<i>Stegomyia</i>) <i>aegypti</i> (Linnaeus, 1762) y su infección natural con el virus del dengue en alturas no registradas para Colombia	Freddy Ruiz-López, Ana González-Mazo, Andrés Vélez-Mira, Giovan F. Gómez, Luisa Zuleta, Sandra Uribe, Iván Darío Vélez-Bernal	- Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales, PECET, Universidad de Antioquia, Medellín - Grupo de Investigación en Sistemática Molecular, Universidad Nacional de Colombia	2016	Artículo de revista indexado, Biomédica	Colombia	X	-	-	X	X

17	Exploratory Analysis of Dengue Fever Niche Variables within the Rio Magdalena Watershed	Austin Stanforth, Max J. Moreno-Madriñán, and Jeffrey Ashby	- Department of Environmental Health Science, Fairbanks School of Public Health, Indiana University - Department of Geography, Indiana University	2016	Articulo de revista indexado, Remote Sensing	Rio Magdalena, Colombia	-	X	X	X	X
18	DengueME: A Tool for the Modeling and Simulation of Dengue Spatiotemporal Dynamics	Tiago França Melo de Lima, Raquel Martins Lana, Tiago Garcia de Senna Carneiro, Cláudia Torres Codeço, Gabriel Souza Machado, Lucas Saraiva Ferreira, Liliam César de Castro Medeiros and Clodoveu Augusto Davis Junior	- Departamento de Computação e Sistemas (DECSI), Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA), Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), Universidade Federal de Ouro Preto - Programa Pós-Graduação em Epidemiologia em Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP), Programa de Computação Científica (PROCC), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), São José dos Campos - Departamento de Ciência da Computação (DCC), Instituto de Ciências Exatas (ICEx), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte	2016	Articulo de revista indexado, International Journal Environmental Research Public Health	Brasil	-	X	X	X	X
19	MODIS Environmental Data to Assess Chikungunya,	Elizabet Lilia Estallo, Elisabet M. Benitez, Mario Alberto Lanfri,	N.A.	2016	Articulo de revista indexado, IEEE Journal of	Argentina	-	X	X	X	X

	Dengue, and Zika Diseases Through <i>Aedes</i> (<i>Stegomyia aegypti</i>) Oviposition Activity Estimation	Carlos Marcelo Scavuzzo, and Walter R. Almirón			Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing						
20	Geographic shifts in <i>Aedes aegypti</i> habitat suitability in Ecuador using larval surveillance data and ecological niche modeling: Implications of climate change for public health vector control	Catherine A. Lippi1, Anna M. Stewart-Ibarra, M. E. Franklin Bajaan Loo4, Jose E. Dueñas Zambrano, Nelson A. Espinoza Lopez, Jason K. Blackburn, Sadie J. Ryan	- Quantitative Disease Ecology and Conservation (QDEC) Lab Group, Spatial Epidemiology and Ecology Research (SEER) Laboratory, Emerging Pathogens Institute, Department of Geography, University of Florida, Gainesville, Florida, USA - Institute for Global Health and Translational Science, Upstate Medical University, Syracuse, New York, United States of America - Ministerio de Salud Pública, Guayaquil, Ecuador	2019	Artículo de revista indexado, PLoS Negl Trop Dis	Ecuador		X	X		X

Fuente: Trabajo investigativo

Lista de siglas y acrónimos

DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
<i>A. aegypti</i>	<i>Aedes aegypti</i>
OMS	Organización Mundial de la Salud
MODIS	<i>MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
PMDOT	Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

Lista de referencias

- Alarcón, Érika, Ángela Segura, Guillermo Rúa-Urbe, y Gabriel Parra-Henao. 2014. «Evaluación de ovitrampas para vigilancia y control de *Aedes aegypti* en dos centros urbanos del Urabá antioqueño.» *Biomédica*, 409-424.
- Alcaldía Metropolitana de Quito. 2015. *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Quito.
- Alcántara Moreno, Gustavo. 2008. «La definición de salud de la Organización Mundial de la Salud y la interdisciplinariedad.» *Sapiens*, 93-107.
- Andradas, E, y M García. 2017. *Indicadores de Salud y Cambio Climático*. Documento, España: Comisión de Salud Pública del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud.
- Banco Interamericano de Desarrollo. 2015. *Trayectorias de concentración representativas (RCP)*. <https://sector.iadb.org/es/adaptacion/pages/trayectorias-de-concentraci%C3%B3n-representativas-rcp> (último acceso: 05 de Mayo de 2019).
- Benali, A, A Carvalho, J Nunes, N Carvalhais, y A Santos. 2012. «Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data.» *Remote Sensing of Environment*, 108-121.
- Brenes, Álvaro, y Víctor Freddy Saborío. 1995. *Elementos de climatología: su aplicación didáctica a Costa Rica*. Costa Rica: EUNED.
- CAF. 2014. *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*. Informe, Banco de Desarrollo de América Latina.
- Calduch, R. 2014. *Métodos y técnicas de investigación internacional*. Informe, Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.
- Canales, Manuel. 2006. *Metodologías de investigación social*. Santiago: Lom.
- Carlino, Hernán, Sonia Pérez, Marta Moneo, Alejandro Moreno, y Agustín Matteri. 2016. *El Acuerdo de París y sus Implicaciones para América Latina y el Caribe*. Panamá: PNUMA-Unión Europea.
- Carrada, T, L Vázquez, y I López. 1984. «La ecología del dengue y el *Aedes aegypti*.» *Salud pública de México*, 501-516.
- Ciudades del Ecuador. 2016. *Ciudades del Ecuador*. 1 de Marzo. <http://ciudadesdelecuadorjc.blogspot.com/2016/03/quito.html> (último acceso: 8 de Octubre de 2019).

- Cleckner, Haley L, Thomas R Allen, y Scott Bellows. 2011. «Remote Sensing and Modeling of Mosquito Abundance and Habitats in Coastal Virginia, USA.» *Remote Sensing*, 2664-2681.
- Distrito Metropolitano de Quito. 2012. *Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012-2022*. Plan, Quito: DMQ.
- Estallo, Elizabet Lilia, Elisabet M Benitez, Mario Alberto Lanfri, Carlos Marcelo Scavuzzo, y Walter R Almirón. 2016. «MODIS Environmental Data to Assess Chikungunya, Dengue, and Zika Diseases Through Aedes (Stegomia) aegypti Oviposition Activity Estimation.» *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, 5461-5466.
- Forshey, B, y otros. 2010. «Arboviral Etiologies of Acute Febrile Illnesses in Western South America, 2000–2007.» *Plos Neglected Tropical Diseases*, 4(8): e787.
- GAD Pomasqui. 2019. *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Pomasqui*. 09 de Septiembre de 2019. <http://pomasqui.gob.ec/pichincha/?p=138>.
- GAD Puenbo . 2013. *Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia de Puenbo*. <http://www.puenbo.gob.ec/datos.htm> (último acceso: 09 de Septiembre de 2019).
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha. 2017. *Distrito Metropolitano de Quito*. <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/distrito-metropolitano-de-quito> (último acceso: 14 de Octubre de 2019).
- Gubler, D. 2001. «Climate variability and change in the United States: potential.» *Environmental Health Perspectives*, 223-233.
- Hales, S, N Wet, J Maindonald, y A Woodward. 2002. «Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model.» *Lancet*, 830-834.
- Hashimoto, M, M Styrikovich, y S Nishioka. 1990. *Chapter 5: Human settlement; the energy, transport and industrial sectors; human health; air quality; and changes in ultraviolet-B radiation*. IPCC First Assessment Report (FAR), Camberra: Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group II.
- Hayden, M, y otros. 2010. «Microclimate and Human Factors in the Divergent Ecology of Aedes aegypti along the Arizona, U.S./Sonora, MX Border.» *EcoHealth*: 64-77.
- Helmersson, J.L, y otros. 2016. «Climate Change and Aedes Vectors: 21st Century Projections for Dengue Transmission in Europe.» *EBioMedicine*, 267-277.

- Hueso, A, y M.J. Cascant. 2012. *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*. Cuadernos Docentes en Procesos de Desarrollo, Valencia : Universitat Politècnica de Valencia.
- Hunter , P.R. 2003. «Climate change and waterborne and vector-borne disease.» *Journal of Applied Microbiology*, 37S–46S.
- IDEAM. 2014. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia*. <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico> (último acceso: 05 de Mayo de 2019).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2012. *Glosario de estadística básica*. Glosario, Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC. 2019. *REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS (RCPs)*. 05 de Marzo de 2019. https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html (último acceso: 05 de Mayo de 2019).
- . *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2019. <https://www.ipcc.ch/> (último acceso: 05 de Mayo de 2019).
- Johansson, Michael, Francesca Dominici, y Gregory Glass. 2009. «Local and Global Effects of Climate on Dengue Transmission in Puerto Rico .» *PLoS Negl Trop Dis*, e382.
- León, R, y otros. 2015. *Vulnerabilidad Climática del Sector Salud en Quito: Facilitando los datos técnicos para que sean asequibles a los tomadores de decisiones*. Investigación, Quito: Centro de Transferencia y Desarrollo de Tecnologías de la Universidad San Francisco de Quito CTT-USFQ.
- Lippi, Catherine A, y otros. 2019. «Geographic shifts in *Aedes aegypti* habitat suitability in Ecuador using larval surveillance data and ecological niche modeling: Implications of climate change for public health vector control.» *PLoS Negl Trop Dis* 2019, e0007322.
- Lourenço, Pedro, Carla Sousa, Júlia Seixas , Pedro Lopes, Maria Novo, y Paulo Almeida. 2011. «*Anopheles atroparvus* density modeling using MODIS NDVI in a former malarious area in Portugal.» *Journal of Vector Ecology*, 279-291.
- Márquez, Miguel. 2013. *Escenarios epistémicos en la formación del espíritu científico en salud: una antología*. La Habana : Universidad Médica de La Habana.
- Maya, E. 2014. *Métodos y técnicas de investigación: Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- McMichael , Anthony, y otros. 2001. *Climate Change 2001; Impact, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the*

- Intergovernmental Panel on Climate Change., Chapter: Human Health.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Ministerio de Salud Pública. 2017. *Ecuador en alerta para prevenir el contagio del dengue.* <https://www.salud.gob.ec/estrategia-nacional-de-control-del-dengue/> (último acceso: 29 de Agosto de 2019).
- . *Enfermedades transmitidas por vectores.* 2016. <https://www.salud.gob.ec/enfermedades-transmitidas-por-vectores/> (último acceso: 29 de Agosto de 2019).
- Montero, Alonso. 2007. *Inferencia, estimación y contraste de hipótesis.* Manual, Granada: Universidad de Granada.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. 2019. *Administraciones Zonales.* <https://quito.gob.ec/> (último acceso: 16 de Octubre de 2019).
- Navarro, J, J Arrivillaga, D Morales, P Ponce, y V Cevallos. 2015. «Evaluación rápida de biodiversidad de mosquitos (Diptera: Culicidae) y riesgo en.» *ENTOMOTRÓPICA*, 160-173.
- OMS. 2003. *Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas.* Resumen, Ginebra: OMS.
- OMS. 2011. *Gender, Climate Change and Health.* Informe, Ginebra: Public Health & Environment Department (PHE), Health Security & Environment Cluster (HSE), World Health Organization (WHO).
- OMS. 2016. *Género, Cambio Climático y Salud.* Informe, Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. 2017. *RESPUESTA MUNDIAL PARA EL CONTROL DE VECTORES 2017–2030.* Proyecto, Organización Mundial de la Salud.
- OMS. 2006. *Salud pública, innovación y derechos de propiedad intelectual.* Informe, Ginebra: OMS.
- Pontes, RJ, J Freeman, JW Oliveira-Lima, JC Hodgson, y A Spielman. 2000. «Vector densities that potentiate dengue outbreaks in a Brazilian city.» *Am J Trop Med Hyg*, 378-383.
- Quito Alcaldía. 2017. *Quito Resiliente .* Estrategia, Quito: 100 Resilient Cities.
- Ruiz, Freddy, y otros. 2016. «Presencia de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) y su infección natural con el virus del dengue en alturas no registradas para Colombia.» *Biomédica*, 303-308.

- Sáez, V, y L Colmenares. 2013. «EL DENGUE EN EL NORORIENTE DE VENEZUELA Y SU INCIDENCIA EN CONDICIONES EXTREMAS DE LAS LLUVIAS DURANTE LOS AÑOS 2009 Y 2010.» *Investigaciones Geográficas*, 171-182.
- Schvoerer, E, J P Massue, J P Gut, y F Stoll-Keller. 2008. «Climate Change: Impact on Viral Diseases.» *The Open Epidemiology Journal*, 53-56.
- Secretaría de Ambiente DMQ. 2016. *Atlas Ambiental Quito Sostenible 2016*. Quito: Municipio de Quito.
- Secretaría de Ambiente DMQ. 2015. *Plan de Acción Climático 2015-2025*. Quito: Quito Alcaldía.
- Smith, Kirk R, y otros. 2014. *Chapter 11: Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II.*
- Stanforth, Austin, Max Moreno-Madriñán, y Jeffrey Ashby. 2016. «Exploratory Analysis of Dengue Fever Niche Variables within the Río Magdalena Watershed.» *Remote Sensing*, 1-17.
- Stewart, A, S Ryan, E Beltrán, R Mejía, M Silva, y A Muñoz. 2013. «Dengue Vector Dynamics (*Aedes aegypti*) Influenced by Climate and Social Factors in Ecuador: Implications for Targeted Control.» *PLoS ONE*, e78263.
- Stewart, Anna, Sadie Ryan, Efrain Beltrán, Raúl Mejía, Mercy Silva, y Ángel Muñoz. 2013. «Dengue Vector Dynamics (*Aedes aegypti*) Influenced by Climate and Social Factors in Ecuador: Implications for Targeted Control.» *PLOS ONE*, 1-11.
- Subsecretaría de Vigilancia de la Salud Pública. 2018. *ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES*. Gaceta Vectorial, Ministerio de Salud Pública.
- Subsecretaría de Vigilancia de la Salud Pública. 2019. *ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES ECUADOR, SE 1-32 / 2019*. Gaceta Vectorial, Ministerio de Salud Pública.
- Subsecretaría Nacional de Vigilancia de la Salud Pública. 2017. *ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES*. Gaceta Vectorial, Ministerio de Salud Pública.
- Torres, M, K Paz, y F Salazar. s.f. «METODOS DE RECOLECCION DE DATOS PARA UNA INVESTIGACIÓN.» *Boletín Electrónico*, 1-21.
- World Climate Research Programme. 2019. *CMIP Phase 5 (CMIP5)*. <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5> (último acceso: 15 de Septiembre de 2019).

- Yates, D, y otros. 2013. *Distrito Metropolitano de Quito: Análisis Integrado de Amenazas Relacionada con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos*. Análisis, Quito: National Center for Atmospheric Research/Stockholm Environment Institute (SEI).
- Zhou, X, y otros. 2008 «Potential impact of climate change on schistosomiasis transmission in China.» *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 188-194 .
- PAHO/WHO. 2014. *Population at risk, numbers of cases, deaths and countries affected per year*. Infografía, DUE TO NIDS IN THE AMERICAS.