

DOCUMENTO TÉCNICO

Nota técnica

**ESCENARIOS DE
OCURRENCIA DE
DENGUE Y MALARIA
A NIVEL NACIONAL
EN CLIMA FUTURO**



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021

Nota técnica

**ESCENARIOS DE OCURRENCIA DE
DENGUE Y MALARIA A NIVEL NACIONAL
EN CLIMA FUTURO**

NOTA TÉCNICA
**ESCENARIOS DE OCURRENCIA DE DENGUE Y MALARIA A NIVEL NACIONAL
EN CLIMA FUTURO**

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI

PROYECTO DE APOYO A LA GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Rubén José Ramírez Mateo
Ministro del Ambiente

Ken Takahashi Guevara
Presidente Ejecutivo del Senamhi

Gabriela Teófila Rosas Benancio
Directora de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica del Senamhi

Grinia Jesús Avalos Roldán
Subdirectora de Predicción Climática del Senamhi

Preparación de contenido temático:
Wil Laura, Patricia Rivera, Cristina Davila y Dante Castro

Diseño y diagramación:
Almendra Tamariz Salazar

Primera edición: setiembre de 2021
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-10476
Libro disponible en <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1347>

© **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)**
Jr. Cahuide 785, Jesús María, Lima- Perú. Teléfono: (01) 614-1414
www.gob.pe/senamhi

Todos los derechos reservados.
Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente,
sin permiso expreso.

El Proyecto de Apoyo a la Gestión del Cambio Climático (Gestión CC), en su Fase 2, es una iniciativa del Gobierno peruano, liderado por el Ministerio del Ambiente y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). Es financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE, ejecutado por Libélula Instituto para el Cambio Global y South South North.

El segundo componente del proyecto Gestión CC busca mejorar la información sobre el clima para la toma de decisiones. Por ello, colabora con el Senamhi para la elaboración de los estudios de Cambio Climático que contempla los Servicios Climáticos para la Salud y su contribución a Nuestro Desafío Climático (NDC).

Referencia sugerida:

SENAMHI. (2021). Nota Técnica: Escenarios de ocurrencia de dengue y malaria a nivel nacional en clima futuro. Laura, W, P, Rivera, C., Davila, D., Castro. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Ed.). <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1347>

Escenarios de ocurrencia de dengue y malaria a nivel nacional en clima futuro

W. Laura¹, P. Rivera¹, C. Davila², y D. Castro¹

¹Consultores del SENAMHI, Perú; ²Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, SENAMHI, Perú

Resumen

La presente nota técnica muestra el posible cambio de la distribución espacial del dengue y la malaria asociado a alteraciones en las condiciones climáticas futuras a mediano plazo. Para tal objetivo, se utilizaron tres modelos climáticos con el fin de generar escenarios climáticos para el periodo 2036-2065 bajo el supuesto de un incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (RCP 8.5, escenario pesimista). En cuanto al efecto del clima sobre las enfermedades, se emplearon umbrales climáticos de estudios previos. Debido al cambio en el comportamiento del clima, se espera una expansión de zonas óptimas para la presencia del dengue a lo largo de toda la selva baja del Perú. En el caso de la malaria, el aumento de las zonas óptimas sucedería en la selva alta, mientras que la selva baja presentaría un posible incremento de la enfermedad, pero con mucha incertidumbre. Se concluye que existirá una probable variación en la distribución espacial de las enfermedades bajo un escenario pesimista en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero. El patrón más relevante se centraría en la extensión de las zonas óptimas en la selva.

1. Introducción

Actualmente, el cambio climático supone una de las mayores amenazas a las que se enfrenta la humanidad. Es innegable cómo la especie humana ha influenciado en el reciente calentamiento de la atmósfera, el océano y los suelos. Depende de nosotros cuán drásticas y perjudiciales serán las consecuencias futuras. El cambio climático afecta muchos eventos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. El Perú es una región muy vulnerable en este contexto. Existen evidencias de que estos cambios extremos, tales como las olas de calor, las precipitaciones intensas o las sequías, pueden afectar a muchos ecosistemas hasta el punto de modificar el comportamiento de varias especies (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2021). Esto incluye a la dispersión y extensión de diversos tipos de enfermedades, entre ellas las metaxénicas que dependen del comportamiento de mosquitos.

Dentro de estas enfermedades, se encuentran el dengue y la malaria. Ambas suponen un problema de salud pública que afecta a miles de personas cada año con consecuencias mortales. Es necesario tener un buen entendimiento del comportamiento del ciclo biológico de los mosquitos y cómo estos se relacionan con el clima con el fin de realizar un seguimiento adecuado de la enfermedad (Chowell et al., 2009; Chowell et al., 2011). Dicho conocimiento puede ser utilizado para realizar proyecciones sobre cómo se distribuyen los vectores y, por ende, la enfermedad. La última gran pandemia (COVID-19) nos ha mostrado cuán vulnerable puede ser la sociedad peruana ante enfermedades de rápida propagación al no contar con un plan para ello. En ese sentido, la generación de conocimiento y el desarrollo de herramientas relacionadas a los posibles cambios en el patrón de las enfermedades sobre la base de información climática supone una gran ayuda para la planificación y control del dengue y malaria por parte del Estado.

Considerando lo mencionado, y en el marco del Proyecto de Apoyo a la Gestión del Cambio Climático Fase 2, esta nota técnica tiene por objetivo principal presentar el posible cambio en la extensión espacial del dengue y malaria utilizando umbrales climáticos para la presencia de la enfermedad y escenarios climáticos futuros a mediano plazo (2036-2065) bajo el supuesto de que la humanidad incrementará las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El contenido de esta nota técnica está basado en el informe “Generación de mapas en base a umbrales climáticos para dengue y malaria en clima futuro” (Laura, W., P., Rivera, 2021).

2. Datos y Metodología

Se usaron como fuente de información climática futura los datos anuales de escenarios climáticos regionales sobre el Perú. Estos representan las posibles condiciones futuras para el periodo 2036-2065 bajo altas emisiones de GEI a nivel mundial. A su vez, se emplearon datos del periodo climático 1981-2005 como control para determinar las variaciones entre las condiciones actuales y futuras. Los modelos climáticos seleccionados fueron ACCESS1-0, MPI-ESM-LR y HadGEM2-ES, los cuales forman parte del Proyecto de Intercomparación de Modelos Globales de la Fase 5 (CMIP5). Así mismo, se calculó el promedio de estos tres modelos (ENSEMBLE) para el análisis de los resultados. Los datos presentan una resolución espacial de 10 km debido a una reducción de escala dinámica mediante el uso del modelo climático regional *Weather Research and Forecast* (WRF). Las variables seleccionadas fueron precipitación, temperatura máxima y mínima del aire.

Para entender el efecto del clima futuro sobre el dengue y malaria, se utilizaron umbrales climáticos basados en investigaciones previas. En el caso de dengue, este puede presentarse cuando la temperatura es relativamente cálida (máxima mayor a 26°C y mínima mayor a 21°C) y el aire húmedo (humedad relativa mayor a 83%), según Campbell et al (2015). La relación entre clima y malaria, descrita por Castro (2017), es más compleja, ya que existen diferentes tipos de esta y los mosquitos desarrollan un comportamiento desigual dependiendo de la región. En la costa norte, la probabilidad de encontrar malaria incrementa cuando la diferencia entre la temperatura máxima y mínima (rango térmico) es elevada (mayor a 9°C). No obstante, la malaria *vivax* también puede presentarse con precipitaciones relativamente altas para esta zona (mayor a 260 mm/año). En la selva, la malaria *falciparum* se presenta bajo un rango térmico estable (menor a 8°C) y una temperatura mínima superior a 21°C, mientras que la *vivax* se presenta con mayor frecuencia con altas precipitaciones (mayor a 2900 mm/año) siempre y cuando la temperatura mínima no sea tan baja (mayor a 20°C). Para mayor detalle respecto a los umbrales, revisar la Tabla A1 en el Anexo.

Al combinar los umbrales climáticos descritos y los escenarios climáticos, se puede llegar a obtener mapas en los que se aprecie la distribución del dengue y la malaria para el periodo 2036-2065 en el contexto de emisiones muy altas de CO₂ en el planeta. Los resultados se presentan por medio de figuras con 8 mapas (Figuras 1-3). La primera fila representa la posible distribución de las enfermedades bajo condiciones climáticas actuales (HIST), las cuales son consideradas como condiciones de control. La segunda fila presenta la distribución para un futuro a mediano plazo (RUN). De la segunda a la cuarta columna, se exponen los resultados de los tres modelos utilizados (ACCESS, HADGEM y MPI), mientras que la primera consigna un promedio de estos modelos (ENSEMBLE). El análisis está centrado en la diferencia entre las condiciones actuales y futuras, no en los valores mostrados en cada mapa. En cuanto al análisis entre los distintos tipos de modelos, este se enfocará principalmente en los resultados del ENSEMBLE (primera columna), y si existe incongruencia entre los tres modelos, la cual puede interpretarse como incertidumbre en los resultados.

3. Resultados

Al analizar los mapas asociados al dengue para diferentes escenarios climáticos pesimistas, se aprecia que las condiciones climáticas ideales para la presencia de esta enfermedad se expanden por el resto de la selva y costa norte peruana (ver Figura 1).

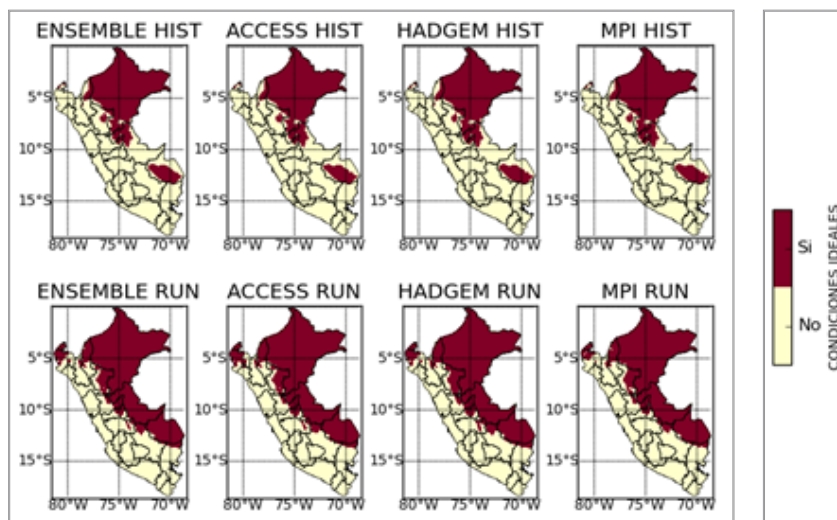


Figura 1. Distribución espacial de condiciones ideales para la presencia de dengue según tres modelos climáticos (ACCESS, HADGEM y MPI), así como el promedio de estos (ENSEMBLE) para el periodo histórico (HIST) y futuro (RUN)

En el caso de la malaria tipo *falciparum*, esta no sufrirá cambios drásticos en la costa norte del Perú, pero será más común encontrarla en regiones de la selva donde antes no se presentaba (ver Figura 2).

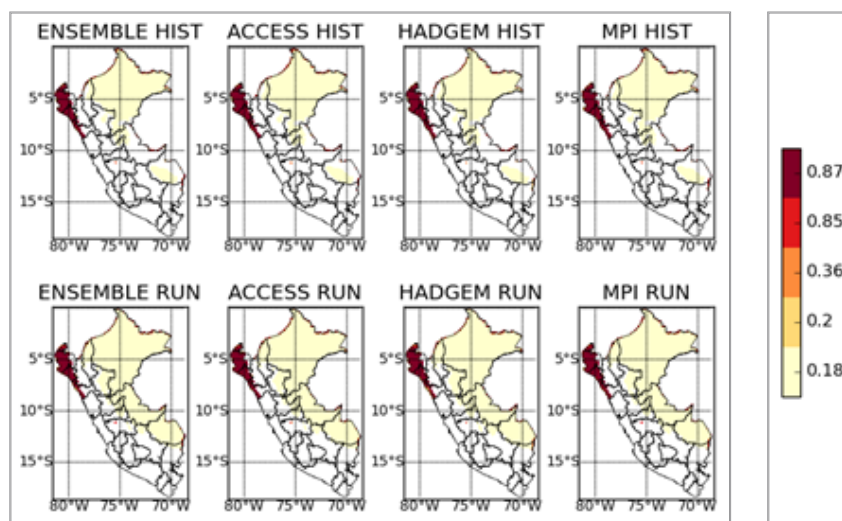


Figura 2. Similar a la Figura 1, pero para la distribución espacial de la probabilidad de presencia de malaria *falciparum*

Para la malaria vivax, el comportamiento en la costa norte es muy similar al otro tipo. La distribución de la enfermedad no sufre muchos cambios (ver Figura 3). En la selva, el cambio es más complejo, debido a que incrementa la probabilidad de incidencia de malaria en la selva alta central (Figura 3 ENSEMBLE), mientras que, en la selva baja, se aprecia una posible reducción de la probabilidad de incidencia en solo dos de los tres modelos (ver Figura 3, modelos ACCESS y MPI). Esto sugiere que aún es incierto el comportamiento que podría tener la malaria vivax en la selva baja del Perú.

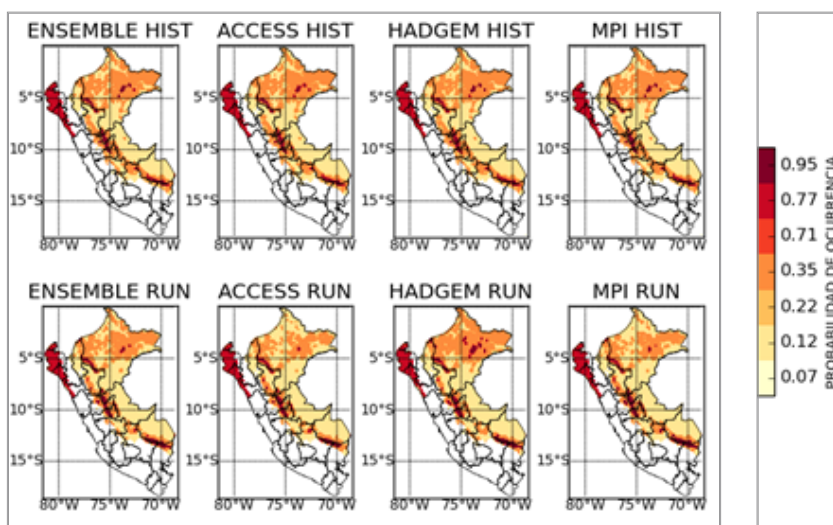


Figura 3. Similar a la Figura 2, pero para la malaria vivax

4. Conclusiones

Considerando un futuro pesimista (2036 - 2065) en el que la humanidad incremente las emisiones de gases de efecto invernadero, se puede concluir que es posible una extensión espacial del dengue. Tumbes y Piura (costa norte) presentarían condiciones ideales, mientras que la selva transitaría de condiciones óptimas actuales focalizadas en la zona norte, a cubrir la totalidad de su territorio.

Por otro lado, no se aprecian cambios significativos en la distribución de la malaria en la costa norte, pero su comportamiento en la selva será errático. En el caso de la malaria falciparum, será posible encontrarla en zonas en donde antes no se registraban casos, mientras que la malaria vivax incrementará su presencia en la ceja de selva, pero es difícil predecir el comportamiento que tendrá en la selva baja.

5. Recomendaciones

- Los resultados presentados son válidos únicamente según los modelos seleccionados y en un futuro pesimista en el que la humanidad no habría sido capaz de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; por el contrario, su concentración se habría incrementado. Los resultados pueden variar ante escenarios más optimistas, por lo que es necesario continuar con este tipo de investigaciones.
- Los umbrales climáticos utilizados no se deben considerar como valores definitivos. Estos dependen de la información y metodología usadas para conseguirlos. Es indispensable continuar con estudios para mejorar los umbrales y obtener valores más precisos. Por el momento, se recomienda tomarlos en cuenta como una referencia a los posibles cambios que se pueden presentar en el futuro.

- Incrementar la red de estaciones meteorológicas, en especial en la selva peruana, podrá mejorar la calidad de la información utilizada y, por ende, la calidad de los umbrales usados.
- El clima tiene un efecto indirecto sobre los casos de malaria y dengue, ya que el efecto directo incide sobre el ciclo biológico del mosquito o del parásito que causa la enfermedad (caso de malaria). Para entender mejor la relación entre el clima y los mosquitos, es necesario contar con información sobre la distribución espacial de los vectores y cómo se comportan con el tiempo. Una vigilancia de la población de mosquitos sería adecuada para la formulación de umbrales mucho más precisos.
- El estudio considera los efectos que puede causar el clima sobre las enfermedades, mas no los componentes socioeconómicos. Una proyección más acertada del comportamiento de las enfermedades requiere incorporar dicho factor.

Referencias bibliográficas

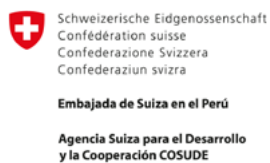
- Campbell, K., Haldeman, K., Lehnig, C., Munayco, C., Halsey, E., Laguna-Torres, A., Yagui, M., Morrison, A., Lin, C-D. y Scott, T. (2015). Weather Regulates Location, Timing, and Intensity of Dengue Virus Transmission Between Humans and Mosquitoes. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 9 (7), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003957>.
- Castro, D. (2017). *Efectos Del Clima Sobre La Dinámica de Transmisión de La Malaria En El Perú* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://www.lamolina.edu.pe/facultad/ciencias/CRFM/crfm/wp-content/uploads/2018/01/Dante-Castro-2017.pdf>
- Chowell, G., Cazelles, B., Broutin, H. y Munayuco, C. (2011). The Influence of Geographic and Climate Factors on the Timing of Dengue Epidemics in Perú, 1994-2008. *BMC Infectious Diseases* 11(164). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%C3%B3n.pdf>
- Chowell, G., Munayco, C., Escalante, A. y McKenzie, FE. (2009). The Spatial and Temporal Patterns of Falciparum and Vivax Malaria in Perú: 1994–2006. *Malaria Journal*, 8(142). <https://doi.org/10.1186/1475-2875-8-142>.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2021). Summary for Policymakers. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. IPCC.
- Laura,W, P, Rivera (2021). Generación de Mapas sobre la base de Umbrales Climáticos para Dengue y Malaria en Clima Futuro. En Servicio Nacional de Meteorología del Perú (Ed.), *Compendio de Clima y Salud: Resúmenes ejecutivos*. (pp. 77-86). <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1350>

Anexo

Tabla A1. Umbrales climáticos

Umbrales climáticos para dengue y malaria. Donde T_{min} es la temperatura mínima del aire, T_{dif} es la diferencia entre la máxima y mínima temperatura del aire, PP es precipitación, P_{Fa} es la probabilidad de ocurrencia de malaria *falciparum* y P_{Vi} es la probabilidad de ocurrencia de malaria *vivax*.

Umbrales climáticos asociados a la tasa de incidencia del dengue (Campbell et al., 2015)	
Criterios	<ul style="list-style-type: none"> La temperatura media del aire debe ser mayor a 26°C La temperatura mínima del aire debe ser mayor a 21°C La humedad relativa promedio debe ser mayor a 83%
Umbrales climáticos asociados a la probabilidad de ocurrencia de malaria (Castro, 2017)	
Criterios para malaria <i>Falciparum</i>	<ul style="list-style-type: none"> En la costa norte: $T_{dif} \leq 9.1$ y $T_{min} < 19.8$, P_{Fa} de 0.2 En la costa norte: $T_{dif} \leq 9.1$ y $T_{min} < 19.8$, P_{Fa} de 0.36 En la costa norte: $T_{dif} \leq 9.1$, P_{Fa} de 0.87 En la selva: $T_{dif} \leq 7.9$, P_{Fa} de 0.85 En la selva: $T_{dif} > 7.9$ y $T_{min} > 21.2$, P_{Fa} de 0.18 En la selva: $T_{dif} > 7.9$ and $T_{min} < 21.2$, P_{Fa} de 0
Criterios para malaria <i>Vivax</i>	<ul style="list-style-type: none"> En la costa norte: $T_{dif} \leq 9.1$ y $PP \leq 261.1$, P_{Vi} de 0.07 En la costa norte: $T_{dif} \leq 9.1$ y $PP > 261.1$, P_{Vi} de 0.71 En la costa norte: $T_{dif} \leq 9.1$, P_{Vi} de 0.77 En la selva: $PP \leq 2085.3$, P_{Vi} de 0.12 En la selva: $2085.3 < PP \leq 2957.7$, P_{Vi} de 0.35 En la selva: $T_{min} \leq 19.8$ y $PP > 2957.7$, P_{Vi} de 0.22 En la selva: $T_{min} > 19.8$ y $PP > 2957.7$, P_{Vi} de 0.95



Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
Jr. Cahuide 785, Jesús María, Lima-Perú.
T. (511) 614 1414

www.gob.pe/senamhi