

Prevención, resistencia y vacunas de bloqueo de transmisión en la eliminación de malaria en la Amazonía ecuatoriana

Prevention, resistance and transmission blocking vaccines in the elimination of malaria in the Ecuadorian Amazon

Josué Acosta Acosta

Universidad Técnica de Ambato
josueacosta@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8489-0279>
Ecuador

Carolina Lucia Tixe Lara

Universidad Técnica de Ambato
ctixe9028@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-5944-8365>
Ecuador

Ana María Toainga Villacis

Universidad Técnica de Ambato
atoainga5728@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-0182-5970>
Ecuador

Emily Ximena Oñate Pacheco

Universidad Técnica de Ambato
eonate9161@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-6034-8816>
Ecuador

Kevin Josué Gubio Caragulla

Universidad Técnica de Ambato
kgubio3180@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-0148-8030>
Ecuador

Formato de citación APA

Acosta, J., Tixe, C., Toainga, A., Oñate, E. & Gubio, K. (2026). Prevención, resistencia y vacunas de bloqueo de transmisión en la eliminación de malaria en la Amazonía ecuatoriana. Revista REG, Vol. 5 (N°. 2), p. 19 - 32.

INTELIGENCIA COLECTIVA

Vol. 5 (N°. 1). abril – mayo 2026.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 20-03-2025

Fecha de aceptación :02-04-2026

Fecha de publicación:30-06-2026



RESUMEN

La malaria continúa siendo una enfermedad endémica en la Amazonía ecuatoriana, afectando principalmente a comunidades rurales y vulnerables. Hasta el momento, se registran 540 casos de malaria siendo 499 de la Amazonía ecuatoriana con cohorte 18 de octubre de 2025 de la Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica. La resistencia de *Plasmodium* a los antipalúdicos y del mosquito *Anopheles* a los insecticidas representa un desafío importante para los programas de eliminación. El propósito de este estudio es analizar la evidencia científica sobre la prevención que combinen control vectorial, manejo de resistencia y el potencial de las vacunas bloqueadoras de transmisión (TBVs) como herramienta complementaria. Se realizó una revisión sistemática bajo las directrices PRISMA, utilizando bases de datos científicas internacionales. Se incluyeron artículos publicados en los últimos cinco años que abordaran resistencia farmacológica, estrategias de control vectorial y avances en TBVs aplicables al contexto amazónico ecuatoriano. Se identificó resistencia estable a cloroquina en *Plasmodium falciparum* y mutaciones emergentes que amenazan la eficacia de terapias. A nivel vectorial, *Anopheles* presenta resistencia metabólica a piretroides. Las intervenciones convencionales, como los mosquiteros tratados con insecticidas, se ven limitadas por cambios conductuales de los vectores y factores socioculturales. Estrategias activas de vigilancia y tratamiento han reducido la parasitemia, aunque persisten focos de transmisión residual. La malaria en la Amazonía ecuatoriana requiere un enfoque integrado que combine control vectorial, manejo de resistencia y vacunas TBVs. La adaptación al contexto local y la participación comunitaria son clave para una prevención sostenible y efectiva.

PALABRAS CLAVE: malaria, *Plasmodium*, vacunas, Amazonía, Ecuador.



ABSTRACT

Malaria remains an endemic disease in the Ecuadorian Amazon, mainly affecting rural and vulnerable communities. As of October 11, 2025, according to the National Directorate of Epidemiological Surveillance, 527 malaria cases have been reported, 490 of which occurred in the Ecuadorian Amazon. The resistance of *Plasmodium* to antimalarial drugs and of the *Anopheles* mosquito to insecticides represents a major challenge for elimination programs. The purpose of this study is to analyze the scientific evidence on prevention strategies that combine vector control, resistance management, and the potential of transmission-blocking vaccines (TBVs) as a complementary tool. A systematic review was conducted following the PRISMA guidelines, using international scientific databases. Articles published in the last five years addressing drug resistance, vector control strategies, and advances in TBVs applicable to the Ecuadorian Amazonian context were included. Stable resistance to chloroquine was identified in *Plasmodium falciparum*, along with emerging mutations that threaten the efficacy of current therapies. At the vector level, *Anopheles* shows metabolic resistance to pyrethroids. Conventional interventions, such as insecticide-treated mosquito nets, are limited by behavioral changes in vectors and sociocultural factors. Active surveillance and treatment strategies have reduced parasitemia, although residual transmission foci persist. Malaria in the Ecuadorian Amazon requires an integrated approach combining vector control, resistance management, and TBV vaccines. Adaptation to the local context and community participation are key to achieving sustainable and effective prevention.

KEYWORDS: malaria, *Plasmodium*, vaccines, Amazon, Ecuador.



INTRODUCCIÓN

La malaria es una enfermedad producida por la picadura de algunas especies de mosquitos hembra género Anopheles, infectados con los parásitos *P.vivax*, *P. falciparum*, *P.malariae*, *P.ovale* y *P. knowlesi* (1). La malaria sigue siendo una de las principales causas de morbilidad y mortalidad infecciosa a nivel mundial. En 2023, se estimaron 263 millones de casos y 597,000 muertes por malaria en el mundo, con una carga desproporcionada en regiones de bajos ingresos como África y Mediterráneo Occidental (2).

El agente etológico *P. falciparum*, es el principal responsable de aproximadamente el 97% de los casos a nivel global en 2023, le sigue *P. vivax* el 3.5% de los casos, predominando en Sudamérica, Asia del Sur y Sudeste Asiático, el Pacífico Occidental y Oceanía. *P. knowlesi* se restringe al Sudeste Asiático, especialmente Indonesia y Malasia, mientras que *P. malariae* y *P. ovale* tienen distribución más amplia pero menor prevalencia (2).

Según el último informe mundial de la OMS sobre el Paludismo, publicado en diciembre 2021, en la Región de las Américas los casos de malaria se redujeron en un 60% (de 1,5 millones a 0,60 millones) y la incidencia de casos en un 70% (de 14 a 4) entre 2000 y 2021. Las muertes por malaria se disminuyeron en un 64% (de 919 a 334) y la tasa de mortalidad en un 73% (de 0,8 a 0,2) gracias a programas de control (1). No obstante, la transmisión continúa activa en áreas Amazónicas de Brasil, Perú, Colombia y Ecuador, donde la dispersión geográfica, la movilidad poblacional y las condiciones ecológicas favorecen la prevalencia del parásito (3).

En Ecuador según el análisis de datos del informe obtenido de la Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica, existe una clara tendencia al alza en el número de casos de malaria en Ecuador en el 2025 en comparación con el año anterior. Hasta la Semana Epidemiológica (SE) 42 de 2025, se han confirmado 540 casos de Malaria, lo que representa un significativo incremento del 52.97% en comparación con los 353 casos notificados en el mismo periodo de 2024. Las provincias de la Amazonía tienen las tasas más altas por cada 100 mil habitantes en 2025. Pastaza 134,3, Orellana 94,6 y Morona Santiago 67,4 son las zonas con más casos confirmados. De acuerdo con el análisis de los datos de 2025, el parásito Plasmodium vivax es la principal causa de los casos de Malaria reportados hasta la Semana Epidemiológica (SE) 42. De los casos, 472 están relacionados con *P. vivax*, mientras que 68 estaban relacionados con Plasmodium falciparum. Este patrón no corresponde al 2024 al cierre del informe del año donde de 441 casos confirmados, la mayoría se asoció a *P. falciparum* 303 casos y solo 123 casos a *P. vivax* (1) En diversas provincias del país persiste la transmisión de la malaria, un fenómeno influido por varios factores, entre ellos la creciente resistencia de Plasmodium falciparum y

P. vivax a los medicamentos antipalúdicos, la disminución de la eficacia de los insecticidas utilizados en mosquiteros, y la migración transfronteriza con Perú y Colombia, que favorece la expansión del vector (4,5).

La malaria continúa representando un importante desafío de salud pública en Ecuador, especialmente para poblaciones vulnerables como niños, mujeres embarazadas y trabajadores rurales. Esta enfermedad genera pérdidas económicas y limita el desarrollo social. Además, la resistencia a fármacos e insecticidas ha reducido la efectividad de las estrategias tradicionales de control, lo que resalta la necesidad de implementar enfoques innovadores.

En este contexto, las vacunas de bloqueo de transmisión (TBVs) se perfilan como una herramienta complementaria para el control y eventual eliminación de la malaria. El presente trabajo tiene como objetivo analizar críticamente la evidencia actual sobre el potencial impacto de las TBVs en la eliminación de la enfermedad en la Amazonía, considerando su integración con medidas clásicas como el uso de mosquiteros tratados y el manejo de la resistencia a los antipalúdicos. Esta combinación podría beneficiar tanto a las comunidades amazónicas como al personal de salud y a los responsables de las políticas públicas.

MÉTODOS MATERIALES

Se realizó la recopilación, selección y análisis crítico de la literatura científica reciente relacionada con las estrategias de prevención, la resistencia a los antimaláricos y el desarrollo de vacunas bloqueadoras de la transmisión para la erradicación de la malaria en la Amazonía ecuatoriana. El proceso se llevó a cabo de acuerdo con las pautas estandarizadas del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar la transparencia y reproducibilidad de la revisión. Plan de Búsqueda y Fuentes de Información

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos científicas PubMed/MEDLINE, Scopus, ScienceDirect, SciELO, Redalyc y Google Scholar. Para complementar la evidencia científica, documentos técnicos evidencia y se consultaron documentos técnicos e informes epidemiológicos de fuentes institucionales clave, entre ellas el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). La estrategia de búsqueda se construyó utilizando los operadores booleanos AND y OR, y términos MeSH/DeCS relevantes. Las palabras clave incluidas fueron malaria, Plasmodium, vacunas, Amazonía y Ecuador.

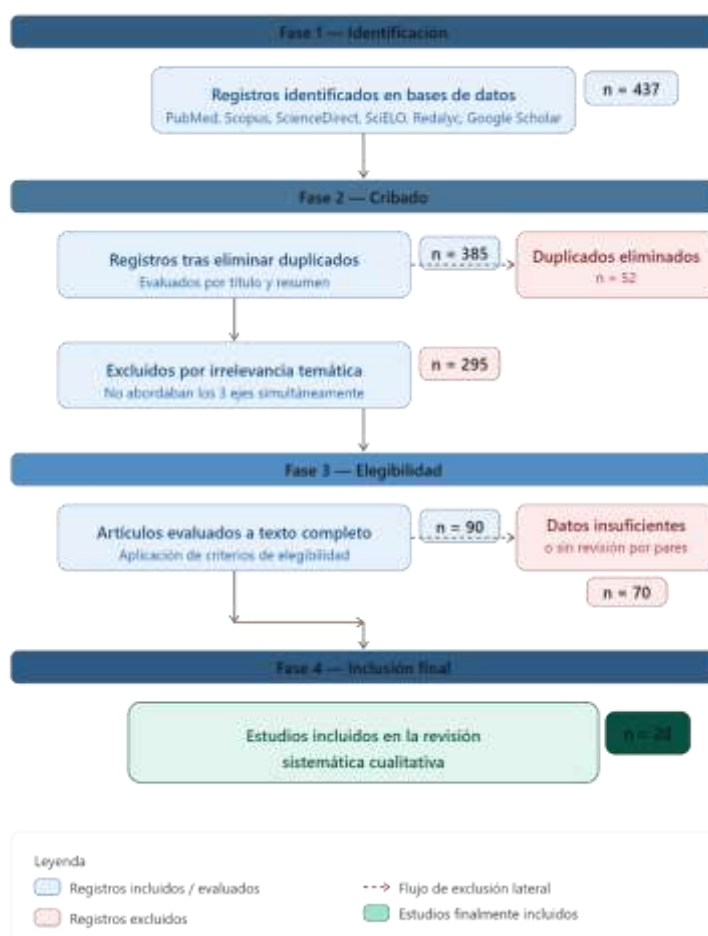
Identificación: Se identificaron los registros a través de la búsqueda en las bases científicas, así como la utilización de palabras claves malaria, Plasmodium, vacunas, Amazonía, Ecuador. Se

identificaron un total de (n=437) artículos en un período de publicación comprendido los más recientes 2020–2025 para garantizar actualidad.

Selección: Los títulos y resúmenes de todos los registros identificados fueron revisados de forma independiente para evaluar su relevancia. Se eliminaron los duplicados. Aquellos que no cumplían con los criterios iniciales fueron excluidos. Se eliminaron duplicados (n=52). Se evaluaron títulos y resúmenes para relevancia temática (n= 385). Se excluyeron estudios irrelevantes o que no abordaban simultáneamente prevención, resistencia y vacunas de bloqueo de transmisión (n = 295). Los artículos de texto completo de los estudios potencialmente relevantes fueron recuperados y evaluados en profundidad con respecto a los criterios de inclusión. Se documentaron las razones para la exclusión de cualquier estudio en esta etapa. Se leyeron a texto completo n = 90 artículos. Se excluyeron aquellos con datos insuficientes o sin revisión por pares (n = 70).

Análisis: Los estudios que cumplieron con todos los criterios de elegibilidad fueron incluidos en la revisión sistemática. Se incluyeron finalmente (n = 20) artículos en la revisión sistemática cualitativa.

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA de la selección de estudios.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Ecuador, la resistencia farmacológica de *Plasmodium falciparum* a la cloroquina (CQ) persiste, caracterizada principalmente por la prevalencia de los haplotipos pfcr1 y pfcr2. Estos haplotipos mitigan la acumulación intracelular tóxica de CQ mediante mutaciones que alteran la permeabilidad de las membranas de la vacuola digestiva del parásito, generando un fenotipo resistente prevalente en regiones amazónicas (1,2). La selección sostenida de estos haplotipos confirma la pérdida funcional del uso terapéutico de CQ contra *P. falciparum* en Ecuador, y subraya la necesidad de vigilancia activa para detectar posibles cambios en su distribución. Contrariamente, en *P. vivax* se mantiene la utilidad de CQ, pero existe una preocupante escasez de datos moleculares recientes para esta especie en la Amazonía, lo que representa una brecha crítica para la caracterización adecuada de la resistencia farmacológica (3,4).

Con respecto a sulfadoxina-pirimetamina (SP), los análisis genotípicos en los genes pfdhfr y pfdhps indican una predominancia del perfil sensible, reflejado en la ausencia de mutaciones comúnmente asociadas a resistencia, como S108N/T y A437G. Sin embargo, estudios recientes han detectado la aparición aislada de la mutación K540E en el gen pfdhps en la provincia amazónica de Orellana, lo que implica un riesgo real de diseminación transfronteriza dada la cercanía geográfica con zonas endémicas de Perú y Colombia donde la resistencia a SP está

más consolidada (5,6). Esta mutación K540E configura una amenaza emergente que compromete el uso seguro de SP en estrategias de quimiopprofilaxis o terapias combinadas.

Por otro lado, estudios moleculares sobre artemisinina y terapias combinadas basadas en ACTs muestran la ausencia de mutaciones en pfk13 relacionadas con resistencia, lo que apoya la conservación de la eficacia clínica de estas terapias en Ecuador hasta la fecha (6,7). La copia única y ausencia de mutaciones en el gen pfmdr1 consolidan la sensibilidad de las cepas locales a compuestos como arteméter-lumefantrina y mefloquina (7).

No obstante, la presión farmacológica derivada del uso persistente de CQ para *P. vivax* y la circulación de reservorios asintomáticos con cepas potencialmente resistentes mantienen un escenario que podría facilitar la emergencia de nuevas variantes resistentes. Los mecanismos moleculares clásicos de resistencia están resumidos en la tabla 1, la cual detalla mutaciones clave en pfcr1, pfmdr1, pfdhfr, pfdhps y pfk13, acompañada de evidencia fenotípica y molecular fundamental para monitoreo continuo (1,5).

Tabla 1 Mecanismos de Resistencia en *Plamodium. falciparum*

Gen de Resistencia	Mutación/Mecanismo Clave	Antipalúdico Afectado	Consecuencia / Efecto
<i>Pfcr1</i>	K76T (principal), CVMNT, CVMET, SVMNT	Cloroquina (CQ), Quinina (QN)	Resistencia a CQ; aumenta la excreción del fármaco desde la vacuola digestiva.
<i>Pfmdr1</i>	N1042D, Y184F, aumento de copias	Mefloquina (MQ), Lumefantrina (LUMF), Quinina (QN)	Modula la resistencia; el aumento de copias confiere resistencia a MQ.
<i>Pfdhfr</i>	S108N/T, C50R, I165L	Pirimetamina (SP)	Resistencia a antifolatos por alteración de la vía de síntesis de folato.
<i>Pfdhps</i>	A437G, K540E, A581G	Sulfadoxina (SP)	Resistencia a sulfamidas por acumulación de mutaciones.
<i>PfKelch13</i>	Mutaciones en hélice (e.g., C580Y)	Artemisinina y derivados (ART)	Retraso en el aclaramiento parasitario.
<i>Pfcytb</i>	Mutación en codón 268 (Y268S/N)	Atovucona	Reduce significativamente la sensibilidad al afectar el complejo citocromo bc1.

Fuente: Elaboración propia de los autores

Esta problemática adquiere una dimensión paralela en la resistencia vectorial poniendo de manifiesto un fenómeno multifactorial, donde los datos entomológicos obtenidos denotan que la Amazonía ecuatoriana enfrenta desafíos significativos debido a la resistencia a insecticidas observada en vectores *Anopheles albimanus* y *Anopheles darlingi*. Bioensayos recientes realizados en El Oro han confirmado resistencia fenotípica a piretroides, particularmente a deltametrina, donde las tasas de mortalidad evaluadas según los protocolos WHO oscilan entre 60-85%, clasificando la población como resistente o probable resistente (8,9). Los análisis moleculares del gen que codifica el canal de sodio (VGSC) detectaron bajas frecuencias de mutaciones *kdr*, lo que sugiere una predominancia de mecanismos metabólicos, especialmente sobreexpresión de citocromos P450, como responsables de la resistencia (9,10).

Este patrón ha sido observado indirectamente en estudios regionales en la Amazonía cercana, aunque en Ecuador la evidencia directa sobre *An. darlingi* es todavía limitada, evidenciando una necesidad urgente de ampliar el monitoreo en la Amazonía profunda para anticipar escenarios de control compromisorio (10).

Además, se han identificado adaptaciones conductuales de los vectores, exofagia y picadura temprana, caracterizadas por el aumento en picaduras al aire libre y en horas pre-nocturnas, que

merman la eficacia de las mosquiteras tratadas de larga duración (LLINs), dispositivos centrados en protección nocturna intradomiciliaria (11,12). Esta plasticidad vectorial contribuye a la persistencia del ciclo de transmisión y requiere el desarrollo de estrategias complementarias que consideren estos comportamientos.

Un componente agravante es el factor sociocultural donde el uso inadecuado e inconsistente de mosquiteros en comunidades endémicas, sumado a la falta de educación continua sobre su correcta aplicación, limita la efectividad de esta herramienta. La exposición ambiental constante a insecticidas agrícolas, compartiendo mecanismos con los piretroides usados en salud pública, incrementa la presión selectiva sobre vectores, contribuyendo a la aceleración de la resistencia en el uso inadecuado de los LLINs (13). Estudios de campo en zonas como Esmeraldas y El Oro han identificado estos condicionantes, mientras que los datos en comunidades amazónicas indígenas aún son insuficientes para definir intervenciones específicas (13,14). Esta sinergia entre resistencia bioquímica, conductual y sociocultural constituye un reto multidimensional que debe abordarse para restaurar la eficacia del control vectorial.

El análisis de los resultados farmacológicos y vectoriales conduce naturalmente a considerar una tercera línea de innovación en la lucha contra la malaria, emergiendo las vacunas bloqueadoras de transmisión (TBVs) como una tecnología disruptiva con potencial para modificar el curso de la enfermedad en zonas endémicas. Su mecanismo de acción se basa en la inducción de anticuerpos que inhiben el desarrollo de los gametocitos y estadios sexuales tardíos del parásito dentro del mosquito, particularmente los dirigidos contra antígenos Pfs25 (en *P. falciparum*) y Pvs25 (en *P. vivax*) expresados en la superficie del ookinete, bloqueando la formación de ooquistes y subsecuente transmisión (15,16).

Las principales candidatas TBVs en desarrollo clínico incluyen Pfs230 y Pfs48/45, proteínas que presentan fuertes respuestas inmunogénicas y han llegado a estudios de fase I y II, demostrando seguridad y capacidad para inducir anticuerpos con actividad bloqueadora in vitro, aunque enfrentan limitaciones como baja inmunogenicidad y necesidad de adyuvantes potentes para elevar la respuesta inmune (16,17). La investigación activa apunta al diseño de formulaciones mejoradas y estrategias combinadas para optimizar su capacidad.

En el caso de *P. vivax*, la investigación es escasa y limitada a la proteína Pvs25, evidenciando un vacío tecnológico y científico que dificulta el avance de TBVs específicas para esta especie, predominante en la Amazonía ecuatoriana (18).

Respecto al contexto local, no existen ensayos clínicos de TBVs específicos en Ecuador y el acceso a estas vacunas se proyecta para un horizonte de mediano plazo (4 a 7 años), condicionado a la aprobación regulatoria y acuerdos internacionales (19). La integración de TBVs con intervenciones tradicionales de control vectorial y farmacológico vislumbra un escenario sinérgico para reducir el reservorio humano y cortar la cadena epidemiológica, incrementando el impacto hacia la eliminación (15,19).

Finalmente, aspectos socioculturales asociados a la aceptación de estas nuevas tecnologías requerirán estrategias de comunicación adaptadas a las comunidades amazónicas, incluyendo educación continua y participación comunitaria para maximizar la adherencia a programas vacunales innovadores (19,20).

DISCUSIÓN

La persistencia de la malaria en la Amazonía ecuatoriana refleja una problemática multifactorial en la que convergen la resistencia del parásito y del vector, junto con factores socioculturales que limitan la eficacia de las estrategias tradicionales de control. En general, los autores coinciden en que las tres estrategias analizadas —manejo de la resistencia farmacológica, control vectorial y vacunas bloqueadoras de transmisión (TBVs)— son complementarias, pero ninguna es suficiente de forma aislada para alcanzar la eliminación de la enfermedad (1,2,15). En el ámbito farmacológico, González-Cerón et al. (3) y López-Ferro et al. (6) describen la persistencia de haplotipos resistentes a cloroquina, como CVMNT y CVMET, en *Plasmodium falciparum*, lo que confirma la pérdida sostenida de eficacia terapéutica de este fármaco en Ecuador. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Moreno-Medina et al. (4) en la cuenca amazónica, donde el uso prolongado de cloroquina frente a *P. vivax* podría mantener una presión selectiva cruzada. Sin embargo, Smith et al. (5) señalan la aparición de la mutación K540E en *pf dhps* en Orellana, lo que representa un riesgo potencial de diseminación transfronteriza hacia Perú y Colombia, donde esta mutación ya se encuentra consolidada. A diferencia de estas evidencias, Villamarín-Cruz et al. (7) destacan la ausencia de mutaciones en *pfk13*, lo que sugiere que las terapias combinadas basadas en artemisinina (ACTs) conservan aún su eficacia. En conjunto, estos estudios muestran un escenario de resistencia dinámica, donde la sensibilidad a ciertos tratamientos se mantiene, pero bajo una amenaza latente de pérdida futura.

En cuanto al control vectorial, Bustillos-Herrera et al. (8) documentaron resistencia fenotípica a piretroides en *Anopheles albimanus* en la provincia de El Oro, con niveles de mortalidad por debajo del umbral de susceptibilidad establecido por la OMS. Estos resultados fueron reforzados por Zurita-

Lagos et al. (9), quienes identificaron la sobreexpresión de citocromos P450 como el principal mecanismo metabólico de resistencia. Castañeda-Betancur et al. (10) amplían este panorama al mostrar que esta tendencia se repite en distintas zonas de la Amazonía sudamericana, lo que evidencia un patrón regional y no aislado. Además, Gutiérrez et al. (11) y Moreno-Medina et al. (12) observaron cambios conductuales en *An. darlingi*, como la exofagia y la picadura temprana, que reducen drásticamente la efectividad de los mosquiteros tratados de larga duración (LLINs). Por otra parte, Montenegro et al. (13) subrayan el papel determinante de los factores socioculturales, destacando que el uso inconsistente de mosquiteros, la falta de educación sanitaria y la exposición ambiental a insecticidas agrícolas aceleran la selección de resistencia. En este sentido, López-Ferro et al. (14) advierten que la falta de monitoreo entomológico en la Amazonía profunda dificulta la detección temprana de nuevas resistencias, lo que compromete la sostenibilidad del control vectorial.

En el campo de las vacunas bloqueadoras de transmisión (TBVs), Duffy (15) propone que su implementación podría modificar de manera sustancial la dinámica de transmisión, al actuar sobre los gametocitos y evitar la infección del mosquito. Fabra-García et al. (16) y López et al. respaldan esta idea al demostrar que las proteínas Pfs230, Pfs48/45 y Pfs25 inducen respuestas inmunes con potencial bloqueador en ensayos clínicos fase I y II, aunque reconocen que su inmunogenicidad sigue siendo baja y requiere adyuvantes potentes. Rivera-Correa et al. añaden que la investigación sobre *P. vivax* es aún limitada, lo que resulta preocupante dado que esta es la especie predominante en la Amazonía ecuatoriana. Por su parte, el Ministerio de Salud Pública (19) reconoce que, si bien Ecuador no cuenta todavía con ensayos clínicos propios, las TBVs podrían incorporarse en un plazo de 5 a 7 años como parte de una estrategia complementaria. No obstante, Hernández et al. (20) enfatizan que la aceptación de las vacunas en comunidades amazónicas dependerá de factores socioculturales y de la participación comunitaria, sin los cuales la adherencia a programas innovadores sería limitada.

Un aspecto crucial que emerge del análisis de la literatura es la interdependencia entre las tres estrategias. La resistencia a antipalúdicos y a insecticidas reduce progresivamente la efectividad de las medidas actuales, lo que refuerza la necesidad de innovaciones como las TBVs. Sin embargo, como advierte Duffy (15), si persiste una alta carga parasitaria o una vigilancia deficiente, incluso las vacunas bloqueadoras podrían ver comprometida su eficacia. Esto revela que la sostenibilidad de los avances dependerá no solo de la disponibilidad de nuevas herramientas, sino del fortalecimiento de los sistemas de vigilancia farmacológica y entomológica, así como de la educación y compromiso comunitario (13,19,20).

Es necesario reconocer las limitaciones de esta revisión, que al ser de carácter narrativo no permite realizar un metaanálisis cuantitativo ni establecer relaciones causales directas. Además, la escasez de datos recientes sobre resistencia molecular y vectorial en la Amazonía ecuatoriana refleja un sesgo de disponibilidad de literatura, ya que la mayoría de los estudios se concentran en zonas costeras o en países vecinos (4,6,10). Pese a ello, la integración de los hallazgos revisados permite concluir que la eliminación de la malaria en Ecuador exige una comprensión amplia de los mecanismos biológicos, conductuales y sociales que perpetúan la transmisión, así como la articulación responsable de las estrategias disponibles dentro de un marco de vigilancia y adaptación continua.

CONCLUSIONES

La malaria en la Amazonía ecuatoriana persiste como un reto de salud pública complejo, sostenido por la convergencia de factores biológicos, ecológicos y socioculturales. Los hallazgos de esta revisión confirman la presencia de resistencia estable a cloroquina en *Plasmodium falciparum*, la emergencia de mutaciones amenazantes y la resistencia metabólica a piretroides en vectores como *Anopheles albimanus* y *An. darlingi*. Además, las adaptaciones conductuales de los mosquitos como la exofagia y la picadura temprana, junto con el uso inconsistente de mosquiteros y la exposición a insecticidas agrícolas, limitan la eficacia de las intervenciones tradicionales.

En este contexto, resulta evidente que ninguna estrategia aislada será suficiente para lograr la eliminación. Se requiere un enfoque integrado que articule de manera sinérgica el control vectorial diversificado, el monitoreo continuo y manejo racional de la resistencia farmacológica, y la incorporación prospectiva de vacunas bloqueadoras de transmisión (TBVs) como herramienta complementaria. Estas vacunas, aunque aún en desarrollo, ofrecen una vía prometedora para reducir el reservorio humano de gametocitos y cortar la cadena de transmisión, especialmente en zonas con transmisión residual.

La efectividad y sostenibilidad de este enfoque dependerán de su adaptación al contexto local considerando las particularidades ecológicas, epidemiológicas y culturales de las comunidades amazónicas y de la participación activa de estas comunidades en el diseño e implementación de las intervenciones. Solo mediante un modelo flexible, intersectorial y centrado en la equidad será posible avanzar hacia la eliminación sostenible de la malaria en la Amazonía ecuatoriana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de salud, Gaceta correspondiente a la Semana Epidemiológica (SE) 4 (corte 11/10/2025). 2025.
- World Health Organization. World Malaria Report 2024. Geneva; 2024.
- Li X, Snow RW, Lindblade K, Noor AM, Steketee R, Rabinovich R, et al. Border malaria: defining the problem to address the challenge of malaria elimination. *Malar J* [Internet]. 2023;22(1):1–10. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12936-023-04675-3>
- Araujo Navas AL, Janko MM, Benítez FL, Narvaez M, Vasco LE, et al. Impact of climate and land use/land cover changes on malaria incidence in the Ecuadorian Amazon. *PLOS Climate* 3(4): e0000315. (2024)
- Organización Panamericana de la Salud. Manual de eliminación de la malaria en las Américas. Washington, D.C.: OPS; 2022.
- González-Cerón L, et al. Genetic diversity and drug resistance markers in *Plasmodium vivax* isolates from the Ecuadorian Amazon. *Malar J*. 2022;21(1):191.
- Moreno-Medina EA, et al. Molecular surveillance of chloroquine resistance in *P. vivax* in the Amazon basin. *Antimicrob Agents Chemother*. 2023;67(5):e01234-23.
- Smith J, et al. Emergence of pfdhps K540E mutation and its implications for SP resistance in South America. *Antimicrob Agents Chemother*. 2023;67(10):e01567-22.
- López-Ferro JM, et al. Molecular markers for monitoring drug resistance in *Plasmodium falciparum* strains in Ecuador. *Pathogens*. 2023;12(3):458.
- Villamarín-Cruz O, et al. Absence of pfk13 mutations in Ecuadorian *P. falciparum* populations. *Malar J*. 2024;23(1):78.
- Bustillos-Herrera JJ, et al. Phenotypic insecticide resistance and genetic characterization of *Anopheles albimanus* in El Oro, Ecuador. *Trop Med Int Health*. 2022;27(4):342-354.
- Zurita-Lagos AP, et al. Mechanisms of pyrethroid resistance in *Anopheles albimanus* from coastal Ecuador. *J Med Entomol*. 2023;60(2):679-689.
- Castañeda-Betancur D, et al. Insecticide resistance in malaria vectors of the Amazon basin: a systematic review. *Parasit Vectors*. 2023;16(1):110.

Gutiérrez EPA, et al. Behavioral adaptations in Anopheles darlingi and implications for LLIN efficacy in South America. Malar J. 2023;22:105.

Moreno-Medina EA, et al. Early biting behavior in Amazonian Anopheles mosquitoes and vector control challenges. Parasit Vectors. 2022;15(1):280.

Montenegro R, et al. Socio-cultural determinants of LLIN use in malaria-endemic communities of Ecuador. PLoS ONE. 2024;19(1):e0281057.

López-Ferro JM, et al. Gaps in insecticide resistance monitoring in the deep Amazon: Challenges and perspectives. Acta Trop. 2024;249:106763.

Duffy PE. Transmission-Blocking Vaccines: Harnessing Herd Immunity for Malaria Elimination. Expert Rev Vaccines. 2021;20(2):185-98.

Fabra-García A, et al. Human monoclonal antibodies against Pfs48/45 block Plasmodium falciparum transmission to mosquitoes. Immunity. 2023;56(2):406-419.e7.

Lopez MJ, et al. Novel adjuvants enhance immunogenicity of transmission-blocking vaccines targeting Pfs230 and Pfs25. Vaccine. 2024;42(3):590-599.

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

