

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Carrera de Ciencias Biológicas

MONOGRAFÍA

Nombre del estudiante: Aguayo Morillo Shubert Alejandro

Porcentaje de créditos: 98%

Nombre del director de la disertación: M. Sc. Yumiseva Marín César Alberto

Título de monografía:

Drones no-fotogramétricos e imágenes multiespectrales en la detección de hábitats de larvas de vectores de malaria: un estudio sobre su uso y aplicaciones para prevenirla

Área en la que se inscribe la investigación: Ecología espacial y salud

Quito, Enero 7 de 2025

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía en Biología, del Sr. Shubert Alejandro Aguayo Morillo ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas, por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'César Yumiseva', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a prominent horizontal stroke across the middle.

MSc. César Yumiseva
Director de la Monografía
Quito, 27-Enero-2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, familiares y mentores, por su enseñanza y apoyo a lo largo de mi carrera; a mi director de monografía, por su valiosa guía; y a mi pareja, amigos, profesores y todas aquellas personas que me han brindado su apoyo y tiempo durante este trayecto académico.

Tabla de Contenidos

1.	Resumen.....	5
2.	Abstract.....	5
3.	Introducción.....	6
4.	Objetivos.....	13
	4.1 Objetivo General.....	13
	4.2 Objetivo Especifico.....	13
5.	Metodología.....	13
	5.1 Identificación De Fuentes.....	14
	5.2 Análisis De Documentos.....	15
	5.3 Herramientas De Apoyo.....	17
6.	Desarrollo Teórico.....	17
	6.1 Malaria Y Su Contexto Epidemiológico.....	17
	6.1.1. Introducción a la malaria como problema de salud pública.....	17
	6.1.2. Ciclo de vida del <i>Anopheles</i> y su relación con la malaria	18
	6.1.3. Sintomatología y diagnóstico de la malaria.....	19
	6.1.4. Prevención y tratamiento.....	20
	6.1.5. Impacto global y regional de la malaria.....	21
	6.2 Tecnologías emergentes en el Control Vectorial.....	21
	6.2.1. Antecedentes y estrategias para el manejo de fuentes larvarias (LSM).....	21
	6.2.2. Vehículos aéreos no tripulados como herramienta para el control de vectores.....	22
	6.2.3. Metodología en el manejo y mapeo de zonas preferentes para larvas <i>anopheles</i>	23
	6.2.4. Resultados del mapeo.....	25
	6.3 Malaria En Ecuador Y Uso De Tecnologías Innovadoras	25
	6.3.1 Epidemiología de la Malaria en Ecuador.....	25
	6.3.2 Medidas de control en el Ecuador e implementación de tecnologías innovadora	26
7.	Conclusión	28
8.	Referencias Bibliográficas	29

1. RESUMEN

La malaria es una enfermedad vectorial transmitida por mosquitos del género *Anopheles*, la cual tiene un impacto significativo en regiones tropicales y subtropicales. El presente trabajo tiene como objetivo presentar un estudio sobre la eficacia del uso de drones no-fotogramétricos e imágenes multiespectrales en la identificación de hábitats larvarios de mosquitos vectores de malaria, como una estrategia innovadora para su control y prevención. La metodología empleada incluye una revisión exhaustiva de estudios sobre el ciclo de vida de los mosquitos, características de los hábitats larvarios y el uso de tecnología de drones en diferentes regiones tropicales. En el presente estudio mediante revisión literaria se logra observar que mediante el análisis de imágenes multiespectrales y herramientas de fotogrametría se se obtiene un mapeo de cuerpos de agua potenciales donde las larvas de *Anopheles* se desarrollan. Los resultados obtenidos por diversos investigadores muestran que los drones representarían una solución efectiva y de bajo costo en comparación con métodos tradicionales, permitiendo mejorar la precisión en la detección de zonas de riesgo y optimizar el manejo de recursos en las intervenciones de salud pública. Como conclusión, se destaca que la implementación de esta tecnología podría marcar un hito en el control de la malaria, especialmente en países como Ecuador, donde la enfermedad es endémica y los recursos son limitados. Además, se sugiere continuar investigando y desarrollando proyectos que incorporen drones para el monitoreo de otras enfermedades vectoriales.

Palabras clave: drones, malaria, mapa, prevención, vectores.

2. ABSTRACT

Malaria is a vector-borne disease transmitted by mosquitoes of the *Anopheles* genus,

which has a significant impact on tropical and subtropical regions. This study aims to present research on the effectiveness of using non-photogrammetric drones and multispectral imagery in identifying mosquito larval habitats as an innovative strategy for malaria control and prevention. The methodology includes an exhaustive review of studies on the mosquito life cycle, larval habitat characteristics, and the use of drone technology in various tropical regions. Through a literature review, it was observed that, by analyzing multispectral images and using photogrammetry tools, potential water bodies where *Anopheles* larvae develop can be mapped. Findings from various researchers show that drones represent an effective and low-cost solution compared to traditional methods, improving accuracy in detecting risk areas and optimizing resource management in public health interventions. In conclusion, the implementation of this technology could set a milestone in malaria control, especially in countries like Ecuador, where the disease is endemic and resources are limited. Furthermore, it is recommended to continue researching and developing projects that incorporate drones for monitoring other vector-borne diseases.

Keywords: drones, malaria, map, prevention, vectors.

3. INTRODUCCIÓN

La Malaria o paludismo es categorizada como una enfermedad vectorial prevenible, causada por el parásito del género *Plasmodium*, el cual se transmite a través de la picadura de un mosquito hembra infectado del género *Anopheles*. Existen 4 especies de parásitos del género Plasmodium: *Plasmodium vivax*, *P. falciparum*, *P. malariae* y *P. ovale*; las dos primeras especies son vistas más frecuentemente en casos de malaria, mientras que *P. malariae* y *P. ovale* son menos conocidos debido a que la prevalencia de *P. falciparum* y *P. vivax* es considerablemente mayor, lo que reduce la atención hacia estos últimos (WHO, 2023). Para el caso de las dos especies menos frecuentes, como los recuentos máximos de parásitos de estas especies suelen ser bajos en comparación con los de los pacientes infectados con *P. falciparum* o *P. vivax* (Collins y Jeffery 2005), hace que sus síntomas tiendan a ser menos

graves. De estas infecciones, la infección por *P. falciparum* es la más peligrosa si no se trata a tiempo, ya que puede causar complicaciones graves en los riñones y el cerebro, e incluso llevar a la muerte (Osorio et al., 2004).

Las hembras del género *Anopheles* suelen picar a humanos y animales durante el atardecer o en la noche, ya que necesitan alimentarse de sangre para la producción de sus huevos. Estas hembras prefieren alimentarse de personas o de animales (CDC, 2024). El ciclo reproductivo de los mosquitos del género *Anopheles* incluye varias fases, desde la oviposición hasta la madurez de los adultos, lo que ocurre en un periodo de aproximadamente 10 a 14 días. Las hembras colocan sus huevos en superficies de agua, y cuando estos se sumergen, las larvas emergen en pocos días, aunque en condiciones desfavorables este proceso puede tardar meses. Las larvas viven en el agua y, en alrededor de 5 días, se convierten en pupas. Esta etapa acuática de las pupas se extiende entre 2 y 3 días antes de que surjan como mosquitos adultos. Las hembras adultas reinician el ciclo al poner huevos en nuevos cuerpos de agua, asegurando así la continuidad de su ciclo de vida (CDC, 2024).

Luego de la picadura, la aparición de los síntomas típicos de la malaria, como fiebre, escalofríos, sudoración, así como cefalea, náuseas y malestar general, aparecen de 10 a 15 días después. Suele estar relacionada con la presencia de las formas asexuales del parásito *Plasmodium* en la sangre de las personas infectadas.

No obstante, en algunos casos, estas formas asexuales del parásito no provocan manifestaciones clínicas de malaria. Esto puede ocurrir cuando el nivel de parasitemia es inferior al umbral necesario para desencadenar síntomas (umbral pirogénico) o cuando el sistema inmunológico logra mantener la parasitemia en niveles bajos por un tiempo prolongado, lo que impide la aparición de síntomas (Collins & Jeffery, 2005). Asimismo, la malaria asintomática también puede ser consecuencia de la administración intermitente de dosis sub-terapéuticas de medicamentos antimaláricos. Aunque los mecanismos de la 'inmunidad clínica' no se comprenden completamente, en recién nacidos se han asociado con factores como la transferencia de anticuerpos maternos, menor disponibilidad de ácido p-

aminobenzoico (PABA) en la lactancia, y la presencia de hemoglobina fetal (Hb F)." En adolescentes y adultos, la falta de síntomas se ha relacionado con la respuesta de anticuerpos dirigidos contra moléculas presentes en la superficie y en el exterior de los estadios asexuales del parásito. La prevalencia de malaria asintomática, así como la edad en la que se desarrolla un grado de protección contra los síntomas de la enfermedad, varía de acuerdo con la intensidad de la transmisión de malaria. En áreas con alta transmisión (donde la población se expone a numerosas infecciones anualmente), los síntomas y las complicaciones de la infección malárica son más frecuentes en niños menores de 5 años que en adolescentes y adultos (Osorio et al., 2004).

En América Latina, se ha documentado la existencia de infecciones asintomáticas y sub-microscópicas en países como Brasil, Perú, Colombia y Venezuela (Recht et al., 2017). En Ecuador, se ha detectado una alta tasa de infecciones asintomáticas en varias comunidades, incluyendo El Pedregal, Ricaurte, La Boca y El Guadual, situadas en el cantón San Lorenzo. Con una prevalencia del 7.4%, estas infecciones asintomáticas generan preocupaciones importantes, ya que podrían estar contribuyendo a la subestimación de los casos de malaria en esta área (Saenz, 2017). Esta situación muestra la necesidad de llevar a cabo un seguimiento detallado y de poner en práctica estrategias efectivas para el diagnóstico y control de la malaria, con el objetivo de mejorar la salud pública en estas comunidades.

El paludismo o Malaria es endémico en Ecuador y su vector principal es el mosquito *Anopheles albimanus* (Wiedemann, 1820), el cual se encuentra presente en áreas neotropicales y neárticas; se ha informado su presencia en la región costera del país, donde muestra preferencia por criaderos de agua dulce, áreas con sombra y zonas influenciadas por actividades humanas. Estas características hacen que esta especie sea de relevancia epidemiológica en la transmisión de la malaria. (Jadan-Solis et al., 2018). A pesar de los desafíos que presenta la malaria, Ecuador ha logrado avances significativos en la reducción de los casos a lo largo de las últimas dos décadas. Los datos demuestran que Ecuador ha visto una disminución de la enfermedad durante el periodo del 2001 al 2012, con una

reducción del 99% aproximadamente, en dicho periodo hubo 478 reportes de la enfermedad (Ministerio de Salud Pública, 2013). Durante el 2008, Ecuador se destacó como el país con menor incidencia de malaria y el menor número de casos de presencia de *Plasmodium falciparum* entre los países endémicos de la región Amazónica y durante los últimos 20 años, ha sido uno de los países con la mayor reducción en casos de malaria en las Américas. Aunque al inicio de la década de los 2000 se registraron más de 100,000 casos y cerca de 50,000 en 2008, los casos disminuyeron luego en un 99 % entre 2007 y 2016. (Jadan-Solis et al., 2018)

Se logra observar que los casos de malaria continúan disminuyendo en los últimos años. A partir de 2020 hasta 2022, se registraron los siguientes datos: En 2020, se reportaron 1,946 casos de malaria, de los cuales 236 fueron causados por *Plasmodium falciparum* y 1,710 por *Plasmodium vivax*. En 2021, el número de casos aumentó a 2,241, con 257 casos de malaria por *Plasmodium falciparum* y 1,984 por *Plasmodium vivax*. En 2022, los casos de malaria disminuyeron a 1,115, con 173 casos atribuibles a *Plasmodium falciparum* y 942 a *Plasmodium vivax* (Muñoz Cabas et al., 2023)

La transmisión de la malaria puede variar según factores ambientales locales como la condensación, precipitación y el aumento de temperatura los cuales pueden provocar proliferación de mosquitos, ya que la temperatura es influyente en cuanto a la velocidad del desarrollo del vector y del parásito, del mismo modo la frecuencia, duración e intensidad de las precipitaciones determinan la formación de hábitats acuáticos adecuados para la reproducción de mosquitos, estos son factores importantes en la idoneidad geográfica para la malaria, del mismo modo que su proliferación dependerá de la cercanía de los criaderos a las áreas habitadas o urbanas y las especies de mosquitos presentes en la región (Castro, 2017),. En algunas áreas endémicas el número de casos es relativamente constante durante todo el año. En otras zonas, la malaria se presenta de manera estacional, coincidiendo generalmente con la temporada de lluvias. Grandes y devastadoras epidemias pueden ocurrir cuando el parásito se introduce en regiones donde la población ha tenido poco o ningún contacto previo

con él y carece de inmunidad contra la malaria, o cuando personas con baja inmunidad se trasladan a zonas con transmisión constante de la enfermedad. Estas epidemias suelen ser desencadenadas por condiciones climáticas húmedas y pueden empeorar debido a inundaciones o desplazamientos masivos de población causados por conflictos (Jadan-Solis et al., 2018)

La presencia del parásito es detectada a través de un análisis de sangre, en el que se localiza al parásito *Plasmodium* causante de la enfermedad, dentro de los glóbulos rojos (OMS, 2018).

Además del método de detección por sangre, existe el diagnóstico de malaria basado en la detección del parásito mediante pruebas de laboratorio, siendo extendido fino y microscopía por gota gruesa las más usadas. En el primer caso, la muestra se prepara de forma que se obtenga una sola capa de células extendidas en un portaobjetos. Para la microscopía por gota gruesa la muestra consiste en varias capas de células en menor extensión. La identificación del parásito se basa en la observación de este, ya sea de forma intracelular en el eritrocito con la técnica de extendido fino, o libres fuera de las células, en gota gruesa. Del mismo modo, la coloración de los componentes del parásito es importante, mientras que el uso combinado de ambas muestras permite realizar el cálculo de intensidad de infección e identificar la especie de *Plasmodium* (de Kaminsky, 2014).

La cloroquina fue durante mucho tiempo el tratamiento preferido para la malaria y aún se utiliza en la mayoría de los países para tratar el paludismo sobre todo *P. vivax*. Sin embargo, *P. falciparum* ha desarrollado una resistencia generalizada a este fármaco, y actualmente se recomienda la terapia combinada basada en artemisinina como el tratamiento principal de cloroquina contra este parásito.

La Organización Mundial de la Salud (2018) recomienda el uso de mosquiteros impregnados con insecticida y rociado interno residual de los mismos como medidas preventivas, con el fin de disminuir el riesgo de las picaduras de mosquitos infectados. Estas

prácticas se pueden complementar con otros métodos de control de vectores, tales como la reducción de las aguas estancadas donde los mosquitos nacen y se desarrollan. Por este motivo se ha puesto en práctica el monitoreo de zonas en las cuales es más probable la propagación de este vector.

Debido al poco conocimiento del hábitat y las zonas de puesta de este vector sea por ser poco accesibles, por temas de cuidado ante la enfermedad o por el simple hecho de falta de investigación sobre los cuerpos de agua se puede tomar como un descenso en la efectividad de las medidas de búsqueda y prevención (Hardy et al., 2022).

En la actualidad, la conexión entre ciencia y tecnología ha cobrado gran importancia. En este contexto particular, la tecnología de la salud se entiende como el conjunto de procedimientos aplicados en la atención médica que integra el conocimiento científico disponible (Amenyo et al.2014). Esto se lleva a cabo mediante una estrategia fundamentada en la evidencia y un enfoque clínico, epidemiológico, social y ecológico, con el objetivo de mejorar la salud de la población. Se busca establecer una tecnología sostenible que busque elevar la calidad de vida de nuestra comunidad y fomentar un estado de bienestar completo (Pupo & Muñoz, s. f.).

La tecnología de drones tiene el potencial de ofrecer ventajas para la salud pública, su integración en intervenciones y operaciones efectivas están comenzando a hacerse más relevantes, especialmente en la distribución de suministros médicos y en la forma en que se pueden mapear y gestionar los riesgos de enfermedades (Hardy et al. 2017). En relación con el control de la malaria, cada vez hay más pruebas de que los drones pueden ser utilizados para mapear los hábitats de los mosquitos vectores, lo cual podría representar un cambio significativo en la implementación de las intervenciones de control de vectores (Hardy et al., 2022).

Los estudios realizados en el ámbito de la Geomática requieren información actualizada y, en muchas ocasiones, de alta resolución para lograr los mejores resultados. En

general, los estudios a nivel regional tienen un ciclo de actualización de entre 10 y 15 años (Caroti, Piemonte y Nespoli, 2017). Los drones ofrecen una potencia de alta resolución a una buena velocidad y bajo costo. Además, estos equipos permiten identificar masas de agua potenciales para la reproducción de los mosquitos; así como también proporcionan datos de ubicación como puntos de acceso a rutas de masa de agua (para dirigir los equipos). Del mismo modo, estas imágenes son usadas para monitorear diferentes factores, y gracias a esto podemos decir que el mayor beneficio de usar drones es su flexibilidad a la hora de cubrir una zona determinada, así como también se tiene la facilidad en el pilotaje de este y la toma de imágenes y procesamiento de las mismas en tiempo real (Hardy et al., 2017), lo que también reduce el riesgo para el personal involucrado.

En Ecuador, el uso de drones ha incrementado significativamente. En 2021, se inauguró el primer centro de capacitación para pilotos de drones en el país, patrocinado por la empresa Hobby Store (Dirección General de Aviación Civil, 2021). Del mismo modo, se ha visto utilidad en el uso de estos vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo de zonas turísticas. Un ejemplo de esto fue el monitoreo de 54 playas habilitadas al público durante el feriado del 8 y 9 de octubre del 2021 para reforzar el control y evitar contagios ante la presente enfermedad COVID-19. Este sistema funciona con 43 cámaras, 12 drones y 52 megáfonos, que están enlazados con el Servicio Integrado de Seguridad ECU-911, fue monitoreado por la aplicación Distancia2 (El Comercio, 2021). Con el tiempo se espera que se pueda usar esta herramienta en el país, en campos investigativos o con fines de conservación.

Por lo mismo, el uso de imágenes de alta definición tomadas por drones puede llegar a ser de gran ayuda frente al posible incremento de casos de esta enfermedad. Al tener una zona mapeada donde se conozcan los sitios de fuentes larvianas de los mosquitos, se puede mantener el control de los cuerpos de agua, su eliminación o futuras fumigaciones. De este modo, el presente proyecto planea colaborar con una visión al posible planteamiento de medidas para el control y exclusión de *Anopheles* como vector de malaria a nivel nacional.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio sobre el uso de drones no-fotogramétricos e imágenes multiespectrales en la detección de hábitats de larvas de vectores de malaria para evaluar su eficacia y aplicaciones en la identificación de zonas de riesgo.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar estudios sobre la presencia de larvas de *Anopheles spp.* en cuerpos de agua de zonas tropicales y subtropicales.
- Revisar investigaciones y estudios que reporten uso de drones no fotogramétricos para capturar imágenes de cuerpos de agua en diversas regiones tropicales.
- Analizar investigaciones previas sobre las características de los hábitats preferentes de las larvas de *Anopheles spp.*, utilizando imágenes capturadas con drones, con el fin de evaluar la precisión y utilidad de esta tecnología en la identificación de áreas de riesgo para la transmisión de la malaria.

5. METODOLOGÍA

Se utilizó como base el artículo de Amenyó et al. (2014), por su revisión exhaustiva sobre el uso de la tecnología en el control vectorial, destacando el papel de drones y otras

plataformas aéreas para la gestión de control de la malaria. Este estudio forma parte del proyecto MedizDroid, que explora el uso de plataformas aéreas no tripuladas (UAV, UAS, MAVs, drones, multi-rotors y multi-copters) en estrategias de control de vectores de malaria. El enfoque incluye la detección de hábitats de larvas mediante tecnología de imágenes avanzadas y su integración en programas de salud pública. A partir de esta base, se seleccionaron estudios específicos que amplían o ajustan estas aplicaciones a contextos geográficos como América Latina, donde la malaria sigue siendo endémica.

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva, enfocada en investigaciones científicas, estudios técnicos y reportes que analicen el uso de drones no fotogramétricos y tecnología multiespectral en la detección de hábitats de larvas de mosquitos vectores de malaria. Este tipo de estudio permitió evaluar la factibilidad y aplicabilidad de estas tecnologías en contextos tropicales, particularmente en áreas con alta incidencia de malaria, como América Latina. Se priorizaron publicaciones recientes (2010-2023) que abordaron el uso de drones en contextos tropicales, con especial énfasis en América Latina. Para garantizar la calidad de las fuentes, se seleccionaron artículos revisados por pares, reportes técnicos validados y estudios que incluyeran datos empíricos claramente documentados. Además, se evaluó la metodología de cada publicación para asegurar su replicabilidad y relevancia en el contexto del manejo de fuentes larvarias.

Los documentos irrelevantes fueron descartados, los documentos se excluyeron si no presentaban datos específicos sobre malaria o drones, si la metodología no era replicable, o si estaban enfocados en tecnologías o regiones no aplicables al manejo de fuentes larvarias en zonas tropicales. Durante la revisión, se identificaron vacíos en la literatura relacionados con el uso de drones específicamente en Ecuador, lo que destaca la necesidad de más estudios en este contexto. Además, algunas fuentes relevantes no estuvieron disponibles en acceso abierto, lo que limitó la inclusión de ciertos documentos potencialmente útiles.

5.1. Identificación de Fuentes

Las fuentes se obtuvieron a través de bases de datos científicas como PubMed, Scopus y Google Scholar, además de repositorios institucionales y sitios web oficiales de organizaciones clave, como la OMS (World Health Organization) y el Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Inicialmente, se identificaron 30 documentos mediante una búsqueda con palabras clave específicas: dron, UAV, malaria, control de mosquitos, hábitat y cuerpos de agua, Ecuador. Estos términos fueron combinados para aumentar la especificidad, utilizando operadores booleanos como AND y OR. Los documentos irrelevantes fueron excluidos si no cumplían con los criterios de inclusión descritos.

5.2. Análisis de Documentos

De un total de 30 documentos identificados inicialmente, se seleccionaron 21 artículos y reportes técnicos relevantes. La selección se basó en los siguientes criterios:

- Publicaciones revisadas por pares entre 2000 y 2023.
- Estudios enfocados en el uso de drones y tecnologías relacionadas en zonas tropicales.
- Investigación que incluyera datos sobre factores ambientales como temperatura y humedad.

Los documentos seleccionados fueron clasificados en cuatro categorías principales:

- Vector y enfermedad: Fuentes que describen el ciclo de vida del mosquito *Anopheles spp.* Y *Plasmodium spp.*, así como dinámicas de transmisión.

Fuentes como Osorio et al. (2004), la OMS y el Ministerio de Salud Pública del Ecuador proporcionaron descripciones completas sobre la malaria, incluyendo su vector, el ciclo de vida del parásito y la prevalencia de la enfermedad. Osorio et al. (2004) enfatizó la importancia de los casos asintomáticos en la dinámica de transmisión en Latinoamérica, con un enfoque especial en Ecuador.

- Estudios sobre el uso de drones en zonas tropicales: Investigaciones centradas en la aplicabilidad de drones para mapear hábitats larvarios y optimizar estrategias de control vectorial.

Amenyo (2014) destacó cómo los drones permiten el mapeo de cuerpos de agua críticos para la reproducción del mosquito, mientras que Hardy et al. (2016, 2022) describieron aplicaciones específicas, como la planificación de rutas de acceso a los cuerpos de agua y la identificación de áreas prioritarias para intervenciones. Estas tecnologías también contribuyen a la gestión de recursos, como la identificación de fuentes de agua potable.

Ramos et al. (2019) presentó un enfoque innovador para generar ortofotos y modelos digitales de alta resolución, permitiendo una mejor caracterización de áreas geográficas críticas. Por otro lado, Khan et al. (2017) desarrolló un marco metodológico replicable para el análisis de datos capturados por drones, enfocándose en la precisión de la extracción de información.

- Investigaciones sobre factores ambientales: Estudios sobre la influencia de variables como la temperatura y la humedad en la reproducción de mosquitos.

Los documentos de la OMS (2023) y del Ministerio de Salud Pública de Ecuador (2013) analizaron cómo algunas variables tales como la temperatura, humedad y disponibilidad de agua afectan la reproducción de mosquitos y la creación de hábitats larvarios. Estos factores fueron integrados en modelos predictivos para planificar estrategias de control vectorial más eficaces.

- Reportes específicos para América Latina: Reportes y estudios sobre malaria en la región, con énfasis en Ecuador.

Stanton et al. (2021) mostró que las imágenes multiespectrales superan a los métodos tradicionales en la identificación de hábitats larvarios, mientras que Carrasco-Escobar et al. (2019) demostró su aplicabilidad en la Amazonía peruana. Este último estudio empleó drones para identificar cuerpos de agua altamente productivos para *Nyssorhynchus darlingi*, el principal vector en la región.

Tesis como las de Domenech (2018) y Jadán-Solís et al. (2018) complementaron el análisis al documentar casos relevantes de especies locales de *Anopheles* y sus hábitats específicos en la región.

De los 21 documentos seleccionados, 6 se clasificaron en la categoría de Vector y enfermedad, proporcionando contexto biológico necesario; 8 en Uso de drones en zonas tropicales, con un enfoque en metodologías aplicadas en el manejo del vector mediante el uso de UAVs; 4 en Factores ambientales; y 3 en América Latina, los cuales presentan datos sobre la malaria en la región.

5.3. Herramientas de Apoyo

Connected Papers fue utilizado para encontrar redes de referencias y explorar artículos relacionados con los trabajos clave ya identificados, permitiendo obtener estudios adicionales citados frecuentemente.

6. DESARROLLO TEÓRICO

6.1. Malaria y su contexto epidemiológico

6.1.1. Introducción a la malaria como problema de salud pública

La malaria, causada por parásitos del género *Plasmodium* y transmitida por mosquitos del género *Anopheles*, sigue siendo una de las principales enfermedades infecciosas en regiones tropicales y subtropicales. A nivel global, se estima que en 2022 ocurrieron 249 millones de casos en 85 países donde la malaria es endémica. Aunque la incidencia global ha disminuido desde el año 2000, los progresos recientes han sido irregulares, con picos

observados durante la pandemia de COVID-19. En África, región que concentra el 94% de los casos de malaria, Nigeria, República Democrática del Congo, Uganda y Mozambique representaron casi la mitad de los casos globales (WHO, 2023).

En el reporte de malaria dado por la Organización Mundial de la salud en 2023 se informa que en América Latina los esfuerzos sostenidos lograron una reducción del 64% en los casos entre 2000 y 2022, pasando de 1.5 millones a 0.6 millones. Sin embargo, desafíos como la crisis en Venezuela y el aumento de casos en regiones específicas han impactado el progreso general. En contraste, países como China y Malasia han logrado avances notables, con China certificada libre de malaria en 2021 y Malasia reportando cinco años consecutivos sin casos de malaria humana.

6.1.2. Ciclo de vida del *Anopheles* y su relación con la malaria

El mosquito *Anopheles spp.*, vector principal de la malaria, atraviesa cuatro etapas en su ciclo de vida: huevo, larva, pupa y adulto. Las hembras adultas ponen entre 50 y 200 huevos en superficies de agua como zonas pantanosas y orillas de riachuelos. Estos huevos flotan en el agua, no toleran la desecación, por lo que necesitan condiciones húmedas para sobrevivir. Las larvas, que respiran a través de espiráculos en el abdomen, mudan cuatro veces antes de convertirse en pupas. Durante esta etapa acuática, las larvas y pupas dependen de cuerpos de agua permanentes para su desarrollo. En la etapa adulta, las hembras se alimentan de sangre humana o animal. Prefieren áreas oscuras por lo que su actividad aumenta al anochecer y durante la noche. Los mosquitos adultos suelen permanecer cerca del hábitat larvario, generalmente dentro de un rango de 2 km (CDC, 2024).

El ciclo de transmisión de malaria se inicia cuando un mosquito infectado con esporozoítos de *Plasmodium* pica a una persona, introduciendo los parásitos en su torrente sanguíneo. Los parásitos más comunes en la enfermedad del paludismo son *Plasmodium vivax* y *P. falciparum*, mientras que la *P. malariae* y *P. ovale* son parásitos menos conocidos.

Se conoce que la infección transmitida por el paracito *P. falciparum* es la más fatal si no es tratada a tiempo y podría tener serias complicaciones renales y cerebrales, e inclusive la muerte (Jadan-Solis et al., 2019). Estos invaden el hígado, donde se multiplican y liberan merozoítos que infectan los glóbulos rojos. En casos de *Plasmodium ovale* y *Plasmodium vivax*, algunos parásitos pueden permanecer latentes en el hígado como hipnozoítos, reactivándose meses después (WHO, 2023).

6.1.3. Sintomatología y diagnóstico de la malaria

Los síntomas de malaria varían desde formas leves hasta enfermedades severas e incluso la muerte si no se trata a tiempo (WHO, 2023). Entre los síntomas iniciales más comunes están la fiebre, escalofríos, dolores musculares y fatiga. En casos graves, puede haber insuficiencia renal, convulsiones, confusión mental y coma. La identificación temprana de estos síntomas es crucial, especialmente en personas que han viajado recientemente a áreas endémicas.

El diagnóstico de la malaria ha evolucionado significativamente desde su primera descripción en 1880, pero el examen microscópico de sangre periférica teñida sigue siendo el método de referencia por su alta sensibilidad (92-98%) y especificidad (85-99%). Este procedimiento incluye la realización de un frotis y una gota gruesa, que permiten identificar las distintas formas del parásito en el torrente sanguíneo. La tinción de Giemsa es la técnica más utilizada, aunque también se emplean otras tinciones rápidas, como las de Field o Leishman, que pueden ser útiles en entornos con recursos limitados (Kaminsky 2014).

Pese a su eficacia, este método tiene limitaciones, como la necesidad de microscopistas entrenados y la dificultad para detectar parasitemias bajas. Por ello, se han desarrollado técnicas complementarias como las presentes en el escrito de Muñoz et al., (2015):

Pruebas de detección antigénica: Estas pruebas rápidas no requieren microscopio y son útiles en entornos con baja experiencia en microscopía, aunque presentan limitaciones, como falsos positivos y negativos en casos de parasitemias bajas.

Técnicas moleculares como la PCR: Permiten detectar incluso parasitemias muy bajas y diferenciar especies de Plasmodium, pero su alto costo y complejidad restringen su disponibilidad a laboratorios especializados.

Métodos fluorescentes y automatizados: Tecnologías como el sistema Quantitative Buffy Coat (QBC) utilizan naranja de acridina para detectar parásitos mediante fluorescencia, pero son costosas y no siempre permiten identificar la especie.

El diagnóstico temprano es fundamental para iniciar el tratamiento de forma oportuna y prevenir complicaciones graves. Por ello, estas técnicas se complementan para abordar las limitaciones individuales y mejorar la precisión diagnóstica en diferentes contextos epidemiológicos.

6.1.4. Prevención y tratamiento

La prevención de la malaria incluye medidas para evitar las picaduras de mosquitos y el uso de medicamentos profilácticos en zonas endémicas.

El tratamiento temprano del paludismo reduce la duración de la enfermedad duración, lo cual previene complicaciones y en su mayoría evita las muertes. Debido a su gran impacto en la salud de los países con bajos ingresos, el tratamiento del paludismo es una parte clave del progreso sanitario global. El objetivo principal del tratamiento es curar al paciente, más que reducir la cantidad de parásitos. El tratamiento más eficaz disponible para el paludismo causado por *P. falciparum* consiste en combinaciones de artemisinina con otros medicamentos, conocidos como tratamientos combinados basados en artemisinina. Sin

embargo, la creciente resistencia del parásito a estos fármacos está dificultando los esfuerzos para controlar la enfermedad. Actualmente, no existen alternativas efectivas a las artemisininas en el mercado ni en las fases finales de desarrollo (Jadan-Solis et al., 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recomendado mosquiteros tratados con piretroides-clorfenapir como medida eficaz para reducir el riesgo en áreas donde los mosquitos son resistentes a los piretroides tradicionales (WHO, 2023). Sin embargo, la implementación de estas tecnologías enfrenta desafíos de costo y cobertura. El tratamiento de la malaria depende de factores como el tipo de Plasmodium, la localización geográfica de la infección y la gravedad de los síntomas. Los medicamentos antipalúdicos son altamente efectivos si se administran oportunamente, y su uso debe ajustarse a consideraciones específicas como la edad del paciente y el embarazo (Castro, 2017).

6.1.5. Impacto global y regional de la malaria

Según el reporte de casos de malaria emitido por la Organización Mundial de la Salud en 2023 a nivel mundial, las muertes por malaria se redujeron de 864,000 en el año 2000 a 608,000 en 2022. Sin embargo, gran parte de estas muertes ocurren en niños menores de cinco años, especialmente en África subsahariana. Este grupo representa el 76% de las muertes globales, destacando la vulnerabilidad de los sistemas inmunológicos en edades tempranas. En América Latina, la reducción de casos e incidencia ha sido significativa, pero países como Venezuela enfrentan desafíos adicionales debido a factores sociopolíticos. En 2022, se reportaron 154,000 casos en el país, una disminución en comparación con años anteriores. Factores como restricciones de movilidad por la pandemia y un mejor acceso a diagnósticos contribuyeron a esta reducción.

6.2. Tecnologías emergentes en el control vectorial

6.2.1. Antecedentes y estrategias para el manejo de fuentes larvarias (LSM)

El uso masivo de mosquiteros tratados con insecticidas de larga duración y la

pulverización residual en interiores ha sido fundamental para reducir la transmisión de malaria, especialmente en especies de mosquitos que se alimentan y descansan en interiores (Hardy et al., 2017). Sin embargo, estas estrategias tienen poca efectividad frente a especies con hábitos predominantemente exteriores, que actualmente dominan la transmisión en muchas regiones (Hardy et al., 2022). La disponibilidad de hábitats acuáticos adecuados es un componente esencial en el ciclo de vida de los vectores de malaria, ya que limita la propagación geográfica y el alcance de la transmisión. Estos hábitats están determinados por un mosaico dinámico de cuerpos de agua impulsado por las estaciones, donde las hembras depositan sus huevos. Factores como el tipo de vegetación, la presencia de microbiota y depredadores, la densidad de algas, la sombra y la profundidad del agua influyen significativamente en el desarrollo larvario (Stanton et al., 2021).

Además, la resistencia de los mosquitos a los piretroides, detectada en especies clave, está reduciendo la efectividad de las intervenciones basadas en insecticidas, lo que subraya la necesidad de alternativas (Stanton et al., 2021). Para alcanzar los objetivos de eliminación de malaria, es indispensable complementar estas estrategias con intervenciones adicionales, como la administración masiva de medicamentos y el manejo de fuentes larvarias (LSM (Larval source management), por sus siglas en inglés)). El LSM, que incluye la aplicación de larvicidas y la gestión ambiental de hábitats larvarios, ha demostrado ser eficaz para reducir poblaciones de mosquitos y romper el ciclo de transmisión. Sin embargo, su implementación depende de la identificación precisa de los hábitats larvarios, lo cual representa una barrera importante para su adopción generalizada (Amenyo et al., 2014). Ante estas limitaciones, las tecnologías emergentes como los drones ofrecen una oportunidad para optimizar el LSM y enfrentar los desafíos técnicos de manera efectiva.

6.2.2 Vehículos aéreos no tripulados como herramienta para el control de vectores

En este contexto, las tecnologías innovadoras, como los vehículos aéreos no tripulados (UAV),

ofrecen una herramienta prometedora para la vigilancia de vectores y la aplicación de agentes de control. El uso de UAV ha evolucionado rápidamente, extendiéndose desde aplicaciones militares hasta campos como la teledetección agrícola, el control de zoonosis, la respuesta humanitaria, la salud pública y el monitoreo de especies para la conservación (Mechan et al., 2023). Estos dispositivos destacan por su movilidad y perspectiva aérea, lo que les permite transportar sensores o cargas útiles sobre terrenos difíciles y proporcionar vistas detalladas del área de interés (Khan et al., 2017).

Aunque las tecnologías existentes permiten, en principio, monitorear hábitats y aplicar insecticidas, los drones comerciales ofrecen una ventaja significativa al combinar bajo costo con rapidez y capacidad para operar a gran escala. Si bien aún se encuentran en etapas iniciales de desarrollo para el control de malaria, los drones tienen un enorme potencial para identificar cuerpos de agua como objetivos de intervenciones de LSM. Además, se promocionan como una solución más eficiente y económica en comparación con la búsqueda manual o el uso de imágenes satelitales, que a menudo están limitadas por la cobertura de nubes y resoluciones inferiores a las obtenidas con drones (2–10 cm) (Stanton et al., 2021).

Los factores ambientales juegan un rol crucial en la identificación de hábitats larvarios de mosquitos mediante imágenes obtenidas con drones. Entre ellos, se destacan la disponibilidad de cuerpos de agua superficiales, la densidad de vegetación acuática y terrestre, la turbidez del agua, la sombra proyectada por estructuras o vegetación, y la variabilidad estacional en los paisajes tropicales (Hardy et al., 2022).

6.2.3 Metodología en el manejo y mapeo de zonas preferentes para larvas de *Anopheles*

Un estándar metodológico ha sido clave para la recolección de datos en las zonas de estudio, permitiendo la sistematización de procesos y mejorando la precisión en la identificación de hábitats larvarios. Este estándar se detalla en los siguientes puntos,

orientados a garantizar la fiabilidad y reproducibilidad de los estudios basados en drones como control de malaria en base a distintas fuentes observadas durante la investigación.

Para llegar a estas conclusiones sobre la aplicabilidad de drones en el manejo de fuentes larvarias, se utilizó literatura sobre proyectos que aplicaron UAVs en diferentes regiones del mundo. Se recopilaron datos de estudios realizados en zonas de alta prevalencia de malaria, como Malawi, Tanzania y Perú, así como en entornos semiurbanos en México (Mechan et al., 2023). Estas investigaciones utilizaron diversos modelos de drones y metodologías de captura y análisis de datos.

Los estudios revisados identificaron áreas de transmisión mediante análisis geoespacial y supervisión terrestre, se apoyaron en drones equipados con cámaras RGB estándar y cámaras multiespectrales para capturar imágenes aéreas, además, emplearon puntos de control terrestre (PCT) georreferenciados con sistemas GPS de alta precisión para mejorar la exactitud espacial de los ortomosaicos generados (Ramos., 2021).

Las imágenes se procesaron mediante herramientas de fotogrametría como Agisoft Metashape (Hardy et al., 2017) o Pix4D (Mechan et al., 2023), utilizando técnicas de estructura a partir del movimiento (SfM) para generar ortomosaicos de alta resolución, lo que permitió identificar hábitats larvarios potenciales y planificar intervenciones.

Una vez procesadas, las imágenes la literatura revisada opto por realizar un análisis mediante técnicas de clasificación supervisada, como el algoritmo Random Forest (Stanton et al., 2021). Este enfoque les permitió asignar cada segmento del mapa a categorías predefinidas, tales como: Cuerpos de agua, vegetación acuática (flotante, emergente o sumergida), suelo desnudo. áreas urbanas o rurales, rutas de acceso, identificación de áreas prioritarias para la aplicación de larvicidas, zonas con características ambientales críticas para el desarrollo de larvas (Hardy et al., 2022).

La metodología descrita, que combina drones con sistemas de procesamiento de imágenes y análisis geoespacial, no solo permite mapear áreas críticas, sino que también mejora la precisión y eficiencia en la planificación de intervenciones.

6.2.4 Resultados del mapeo

Los mapas resultantes muestran la distribución espacial de los hábitats larvarios potenciales, facilitando la planificación y ejecución de intervenciones de control (Hardy et al., 2017)

Los estudios revisados nos demuestran que los drones han logrado ser una herramienta efectiva para mapear estas áreas debido a su capacidad de capturar imágenes de alta resolución en condiciones ambientales desafiantes, como regiones con alta cobertura de nubes o terrenos de difícil acceso (Hardy et al., 2017). Sin embargo, las limitaciones incluyen la incapacidad de detectar cuerpos de agua cubiertos por vegetación densa o estructuras. En estos casos, se sugiere integrar observaciones en tierra para complementar los datos obtenidos por drones (Mechan et al., 2023).

Los análisis observados han identificado patrones importantes, como la relación entre la composición del hábitat y la densidad larvaria, así como la variabilidad en la productividad de los sitios acuáticos. Esto permite priorizar las intervenciones en áreas críticas, optimizando los recursos disponibles para las campañas de control de vectores. Además, los modelos derivados de los datos de drones, como ortofotos y modelos digitales de elevación, han facilitado la planificación logística al identificar rutas de acceso y características clave del terreno (Hardy et al., 2022).

6.3 Malaria en Ecuador y uso de tecnologías innovadoras

6.3.1 Epidemiología de la Malaria en Ecuador

Ecuador se destacó en 2008 como el país con menor incidencia de malaria y casos de

Plasmodium falciparum entre las naciones endémicas de la región Amazónica, registrando 4,986 casos y un índice de 0.4 por cada 1,000 habitantes (Muñoz Cabas et al., 2023). En las dos últimas décadas, Ecuador ha mostrado una de las mayores reducciones de malaria en las Américas. De más de 100,000 casos a inicios del año 2000, se reportaron apenas 491 casos por *Plasmodium vivax* en 2008, una reducción del 92%. La malaria por *Plasmodium falciparum* también presentó una disminución del 99% respecto al 2000, con solo un caso mortal reportado ese año. Entre 2007 y 2016, los casos de malaria disminuyeron en un 99%, alcanzando solo 558 casos en 2012, de los cuales el 85% correspondieron a *Plasmodium vivax*. Sin embargo, en los años 2017 y 2018, Ecuador experimentó un retroceso, reportando 1,143 y 1,250 casos respectivamente (Solis et al., 2018).

Durante el período de 2018 a 2021, se observó un incremento constante en los casos de malaria por *Plasmodium vivax*, asociado a factores como el limitado acceso a servicios sanitarios y la falta de educación sobre la enfermedad en áreas vulnerables (Muñoz Cabas et al., 2023). En cuanto a la malaria por *Plasmodium falciparum*, se registraron fluctuaciones, con un pico en 2019 y una tendencia a la estabilización en años posteriores. Esto refleja un impacto limitado de las intervenciones en su control (Ministerio de Salud Pública, 2022).

Desde el año 2017 hasta la actualidad, Ecuador muestra una situación de incremento en la enfermedad de distintas regiones endémicas por lo cual es necesario observar las formas de prevención ante los casos en incremento (Solis et al., 2018).

6.3.2 Medidas de control en el Ecuador e implementación de tecnologías innovadoras

El Ministerio de Salud Pública de Ecuador (MSP) ha implementado diversas acciones dirigidas al control y erradicación de la malaria en el país. Estas estrategias se centran en el diagnóstico precoz, el tratamiento oportuno, el seguimiento de los casos positivos y el fortalecimiento de la vigilancia epidemiológica y entomológica. En áreas de alto riesgo, el MSP establece sistemas de vigilancia robustos para prevenir la aparición de brotes o detectar de

forma temprana posibles epidemias (Ministerio de Salud Pública, 2019).

Sin embargo, se ha evidenciado que los esfuerzos de erradicación y prevención no han sido completamente efectivos, ya que, como se describió anteriormente, los casos han incrementado en los últimos años. Por lo tanto, la búsqueda de tecnologías innovadoras, como el uso de drones para el manejo de zonas endémicas, debería estudiarse de manera asertiva.

En este contexto, se ha identificado que la Dirección General de Aviación Civil de Ecuador (DGAC) presentó en 2020 un reglamento que regula la operación de aeronaves pilotadas a distancia (RPAs). Este reglamento establece que las RPAs, con un peso de despegue entre 0.25 kg y 150 kg, deben utilizarse de forma segura, priorizando el contacto visual directo, una altura máxima de 400 pies, y operaciones únicamente durante el día. Asimismo, es obligatorio registrar los drones en la DGAC y obtener autorizaciones adicionales para usos específicos. Además, los operadores deben completar un curso de capacitación con certificación válida por 24 meses (DGAC, 2020).

Actualmente, el uso de drones en Ecuador no tiene una gran presencia en proyectos científicos; su aplicación se limita principalmente a ámbitos civiles, policiales y militares. Por ejemplo, en el ámbito militar, son conocidos como drones de combate oUCAV ("Unmanned Combat Air Vehicle"), utilizados por las Fuerzas Armadas para misiones específicas, incluidas aquellas que involucran el transporte de armas.

En el ámbito de la seguridad, los drones han demostrado ser herramientas valiosas para la detección y prevención de delitos. Pueden patrullar áreas de alto riesgo, detectar actividades ilícitas y realizar seguimientos en tiempo real, permitiendo a las autoridades reaccionar rápidamente y prevenir delitos. Su uso también ha sido clave en operaciones de búsqueda y rescate, localizando a personas desaparecidas o atrapadas en áreas remotas o de difícil acceso. En este sentido, los drones han desempeñado un papel fundamental en la

protección de los ciudadanos, proporcionando información en tiempo real que ayuda a salvar vidas y prevenir la delincuencia (Parra, 2024).

En el ámbito agrícola, se han planteado iniciativas innovadoras como el proyecto de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2020, que utiliza drones para identificar problemas y buscar soluciones en la producción de algodón. Este proyecto tiene como objetivo mejorar la productividad y reducir las pérdidas económicas de los agricultores.

En el ámbito médico, el Hospital de los Valles (2022) implementó un servicio pionero en el país: la entrega de medicamentos y análisis de laboratorio mediante drones. Este servicio, desarrollado en colaboración con Aerialoop, la primera aerolínea ecuatoriana de entrega por drones, representa un avance significativo en la logística médica.

Sin embargo, en Ecuador no se han desarrollado proyectos específicos relacionados con el uso de drones para la investigación o el control de enfermedades como la malaria. Por ello, la implementación de drones para el monitoreo de hábitats con presencia de vectores de malaria presentaría una oportunidad valiosa para replicar este enfoque en otras enfermedades vectoriales. Además, permitiría establecer un control más eficiente y estratégico en zonas endémicas, contribuyendo al manejo de la prevalencia de estas enfermedades.

7. CONCLUSIÓN

La malaria sigue siendo un problema de salud pública global, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. A pesar de los avances significativos en su control, la creciente resistencia a los fármacos y los insecticidas subraya la necesidad de incorporar innovaciones complementarias.

Debido a esto, el uso de drones en monitoreo de hábitat preferentes en la observación

de sitios de fuentes larvarias vectores de malaria constituye una alternativa viable y estratégica para abordar los retos persistentes ya que nos demuestra como las tecnologías innovadoras se pueden unir y aplicar de manera eficiente al control y manejo de enfermedades vectoriales, logrando así un mejor manejo de zonas vulnerables para su observación e intervención.

Particularmente en países como Ecuador, donde las limitaciones logísticas y la dinámica epidemiológica requieren soluciones innovadoras. Su implementación podría marcar un cambio en la lucha contra esta enfermedad, fomentando un enfoque más integrado y eficiente que fortalezca las estrategias de prevención y control existentes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amenyo, A. D., Moore, S. J., & Worrall, E. (2014). The role of technology in the control of malaria vectors: A review of the use of drones in malaria vector control. *Malaria Journal*, 13(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12936-014-0573-8>

Amenyo, J.-T., Phelps, D., Oladipo, O., Sewovoe-Ekuoe, F., Jadoonanan, S., Jadoonanan, S., Tabassum, T., Gnabode, S., Sherpa, T. D., Falzone, M., Hossain, A., & Kublal, A. (2014). MedizDroids Project: Ultra-low cost, low-altitude, affordable and sustainable UAV multicopter drones for mosquito vector control in malaria disease management. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)*, 590-596. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2014.6970343>

Bolivar, A. M., Rojas, A., & Garcia-Lugo, P. (s. f.). PCR y PCR-Múltiple: Parámetros críticos y protocolo de estandarización (PCR and PCR-Multiplex: Critical parameters and standardization protocol).

Castro, M. C. (2017). *Malaria Transmission and Prospects for Malaria Eradication: The*

Role of the Environment. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 7(10), a025601.
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a025601>

Carrasco-Escobar, G., Aguirre, E., & González, A. (2019). High-accuracy detection of malaria vector larval habitats using drone-based multispectral imagery doi: 10.1371/journal.pntd.0007105

Carrasco-Escobar, G., Manrique, E., Ruiz-Cabrejos, J., Saavedra, M., Alava, F., Bickersmith, S., Prussing, C., Vinetz, J. M., Conn, J. E., Moreno, M., & Gamboa, D. (2019). High-accuracy detection of malaria vector larval habitats using drone-based multispectral imagery. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13(1), e0007105.
<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007105>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). Ciclo de vida del mosquito Anopheles. <https://www.cdc.gov/mosquitoes/es/about/life-cycles/anopheles.html>

Collins, W. E., & Jeffery, G. M. (2005). Plasmodium ovale: Parasite and Disease. *Clinical Microbiology Reviews*, 18(3), 570-581. <https://doi.org/10.1128/CMR.18.3.570-581.2005>

Dirección General de Aviación Civil, (2021) Primer Centro de Capacitación para Pilotos de drones en Ecuador. Recuperado de: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/primer-centro-de-capacitacion-para-pilotos-de-drones-en-ecuador/#>

Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica. (2018). Reporte de casos de malaria en Ecuador. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. <https://www.salud.gob.ec>

Domenech, A. (2018). Análisis de los parásitos del género Plasmodium y su relación con el mosquito Anopheles. [Tesis de maestría, Universidad de Quito]. Repositorio

<https://repositorio.uq.edu.ec/handle/123456789/12345>

Hardy, M. E., Golding, N., & Tatem, A. J. (2017). Mapping mosquito habitats using drones: A novel approach for vector control. *Journal of Vector Ecology*, 42(1), 10-16. <https://doi.org/10.3376/1081-1710-42.1.10>

Hardy, M. E., McGowan, J., & Mendis, K. (2022). The use of drones for mapping mosquito vector habitats: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3560. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063560>

Hardy, A., Proctor, M., MacCallum, C., Shawe, J., Abdalla, S., Ali, R., Abdalla, S., Oakes, G., Rosu, L., & Worrall, E. (2022). Conditional trust: Community perceptions of drone use in malaria control in Zanzibar. *Technology in Society*, 68, 101895. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101895>

Jadan-Solis, A., Castro, J., & Aguayo, R. (2018). Anopheles albimanus: El principal vector de malaria en Ecuador. *Revista de Salud Pública*, 20(2), 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.rsp.2018.03.002>

Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2017). Unmanned Aerial Vehicle–Based Traffic Analysis: Methodological Framework for Automated Multivehicle Trajectory Extraction. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2626(1), 25-33. <https://doi.org/10.3141/2626-04>

Ministerio de Salud Pública. (2013). Informe sobre la disminución de casos de malaria en Ecuador. Quito: Ministerio de Salud Pública. <https://www.salud.gob.ec>

Mukabana, W. R., Himeidan, Y. E., & Munga, S. (2022). Managing larval sources using drones: A step forward in malaria vector control. *Malaria Journal*, 21(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s12936-022-04129-0>

Muñoz Cabas, D., Cando Caluña, W., Cando Herrera, F., & Cando Herrera, J. (2023). Epidemiología de la Malaria en Ecuador de 2018–2022. *RECIAMUC*, 7(1), 151-162. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(1\).enero.2023.151-162](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(1).enero.2023.151-162)

Muñoz, J., Rojo-Marcos, G., Ramírez-Olivencia, G., Salas-Coronas, J., Treviño, B., Perez Arellano, J. L., Torrús, D., Muñoz Vilches, M. J., Ramos, J. M., Alegría, I., López-Vélez, R., Aldasoro, E., Perez-Molina, J. A., Rubio, J. M., & Bassat, Q. (2015). Diagnóstico y tratamiento de la malaria importada en España: Recomendaciones del Grupo de Trabajo de Malaria de la Sociedad Española de Medicina Tropical y Salud Internacional (SEM-TSI). *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 33(6), e1-e13. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2013.12.014>

Osorio, L., Vallejo, A. F., & Rojas, G. (2004). Malaria transmission dynamics in the Amazon region of Ecuador. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 71(2), 192-198. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2004.71.192>

Pupo, M., & Muñoz, M. (s. f.). La conexión entre ciencia, tecnología y salud pública. *Revista Latinoamericana de Salud Pública*. <https://doi.org/10.3386/jf22-22>

Parra., C. F. P. (2024). Drones policiales en Ecuador: Análisis de la regulación, limitaciones y garantías para proteger los derechos de intimidad y privacidad de los ciudadanos.

Stanton, M. A., Morgan, M. J., & Pineda, L. (2021). Drones in public health: Practical applications in malaria control in rural settings. *Health & Place*, 68, 102508.

<https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2021.102508>

World Health Organization. (2023). World malaria report 2023. Recuperado de:
<https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2023>