



Innovación en la vigilancia entomológica: monitoreo de mosquitos mediante espectroscopía infrarroja e inteligencia artificial

Pazmiño Betancourth, Mauro ¹

¹ School of Biodiversity, One Health and Veterinary Medicine - Universidad de Glasgow, Glasgow, Reino Unido

Correo para correspondencia:

mauro.pazminobetancourth@glasgow.ac.uk

Resumen

Las enfermedades transmitidas por mosquitos son un gran reto para la salud pública a nivel mundial. Enfermedades como la malaria, el dengue y la chikunguña afectan a miles de personas principalmente en países en vías de desarrollo. Los programas de control de estas enfermedades se basan en una constante vigilancia para caracterizar poblaciones de mosquitos en zonas de alto riesgo o endémicas. La identificación de especies, edad y resistencia a insecticidas son importantes rasgos biológicos que necesitan ser evaluados constantemente para medir el riesgo de epidemias. Para esto, se utilizan técnicas que requieren mano de obra especializada, toman mucho tiempo para ser realizadas y son inexactas. Para superar estas limitaciones, se ha propuesto el uso de espectroscopía infrarroja e inteligencia artificial como un método rápido y robusto para identificar rasgos biológicos en mosquitos. Sus ventajas incluyen: rapidez en analizar muestras, una inversión única y alta precisión comparada con otros métodos. Esta herramienta tiene el potencial de modernizar la vigilancia de mosquitos y acercarnos cada vez más a la erradicación de las enfermedades que transmiten.

Palabras clave: *Anopheles*, malaria, espectroscopía, infrarrojo, vigilancia entomológica.

Abstract

Mosquito borne diseases are a considerable burden on public health worldwide. Diseases such as malaria, dengue and chikungunya affect thousands of people every year, especially on low-income countries. Disease control programs rely in a constant mosquito surveillance to identify and characterize population structure in high-risk endemic areas. Species identification, age, and other biological traits such as insecticide resistance are required to assess risk of epidemics and evaluate control programs. Current methods rely on old, time-consuming tools which are not suitable when thousands of samples need to be processed. Infrared spectroscopy has been proposed as a versatile and robust method to overcome current limitations of these methods. This technique coupled with artificial intelligence allows a fast and accurate identification of biological traits in mosquito samples. Advantages include speed, minimum economic investment and higher accuracy compared to other methods. This tool has the potential to innovate the monitoring of vectors and help us get closer to the eradication of the diseases they transmit.

Keywords: *Anopheles*, malaria, spectroscopy, infrared, entomological surveillance.

Artículo

Las enfermedades transmitidas por mosquitos son un grave problema de salud pública en el mundo. La malaria causa la muerte de más de 600.000 personas por año, especialmente en niños menores de 5 años [1]. El dengue y la chikunguña, aun cuando son menos letales, reportaron 3'123.752 casos en el continente americano en 2022 [2]., siendo el Ecuador uno de los países afectados con reiteradas epidemias de dengue. Para que los programas de control sean factibles se deben monitorear de manera regular a los insectos transmisores de estas enfermedades (vigilancia entomológica). Esto permite conocer (en zonas específicas de la región) la composición de especies, la resistencia a insecticidas, la edad del insecto de interés y si los mismos se encuentran infectados o no.

Existen varios métodos que podemos emplear tales como: identificación morfológica, ensayos de resistencia, y evaluación de los órganos reproductores. Sin embargo, estos procesos requieren mano de obra especializada, lo cual toma tiempo y son imprecisos. De ahí que existe la necesidad de encontrar una técnica que nos permita evaluar estas características biológicas de una manera rápida y de bajo costo para que pueda ser aplicada de manera continua en la vigilancia entomológica [3].

¿Por qué es importante conocer estas características en mosquitos? Esto nos ayuda a determinar los riesgos poblacionales ante la presencia de una enfermedad y de este modo podremos evaluar si los métodos de control están cumpliendo su cometido. Debemos tener en cuenta algunos aspectos importantes: primero, no todas las especies de mosquitos transmiten enfermedades, por lo tanto, identificar qué especies se encuentran en diferentes zonas y en qué proporción es vital. Segundo, la edad de un mosquito es clave para evaluar su capacidad de transmisión. Parásitos como la malaria o un virus como el causante del dengue requieren de un tiempo determinado dentro del mosquito para desarrollarse y poder ser transmitidos. Como resultado, los mosquitos de mayor edad tienen más probabilidades de ser vectores [4]. Por último, el monitoreo de resistencia a insecticidas es crucial para optimizar el empleo de estos. Para esto se ha propuesto el uso de espectroscopía infrarroja como método de monitoreo de mosquitos.

La espectroscopía infrarroja es el uso de luz infrarroja para conocer la composición química de alguna muestra. Esto es posible gracias a que las moléculas absorben frecuencias específicas del infrarrojo de acuerdo con sus enlaces. Esto crea un perfil de los enlaces presentes y su abundancia en la muestra. Esta información nos ayuda a inferir su composición química [5]. Con esta técnica podemos identificar la composición química de la cutícula de mosquitos. Esta cutícula está compuesta por proteínas, ceras y quitina y sufre cambios con la edad o la presencia de infecciones. Además, diferentes especies de mosquitos poseen diferencias en la composición química de su cutícula. Adicionalmente, los mecanismos de resistencia a insecticidas también se expresan en cambios estructurales de la cutícula en mosquitos resistentes [6]. Todas estas modificaciones pueden ser detectadas mediante el uso de espectroscopía.

La aplicación de esta técnica en mosquitos empezó hace más de una década. Mayagaya [7] fue pionera en usar el infrarrojo cercano para identificar dos especies de mosquitos que son morfológicamente iguales: *Anopheles gambiae* y *An. arabiensis*. Además, logró identificar la edad cronológica a un periodo de 1 a 19 días. Este método se ha expandido a otras especies de interés como detección de dengue en *Aedes aegypti* [8] (principal vector de dengue en el Ecuador) y en el diagnóstico de malaria en humanos [9]. La ventaja de este sistema es la facilidad y rapidez con

la que se miden los datos. Sin embargo, debido a la naturaleza del infrarrojo cercano, la información acerca de los componentes de la cutícula es limitada.

Hace poco tiempo, se propuso el uso del infrarrojo del medio como alternativa. Esta región provee de más información de los enlaces presentes en la cutícula. Además, se implementó el uso de *machine learning*, una de las inteligencias artificiales más empleadas en el mundo, para el análisis de los datos. Con esto, se logró identificar dos especies *An. gambiae* y *An. arabiensis* y sus edades cronológicas de 1 hasta 15 días con mejores resultados comparado con trabajos anteriores [10]. El desarrollo de esta técnica se ha focalizado en el uso de *deep learning* para amplificar más aún su exactitud e incrementar el análisis de la cantidad inmensa de datos que se generan. Ahora es posible la identificación simultánea de tres especies de mosquitos del género *Anopheles*, con su correspondiente edad cronológica [11]. Esta técnica es lo suficientemente versátil ya que nos da la posibilidad de conocer de qué se están alimentando los mosquitos (humanos o animal, y que tipo de animales [12]) y como diagnóstico de malaria en muestras de sangre [13].

La ventaja de esta técnica es su rapidez, ya que la medición de cada mosquito se realiza en menos de 1 minuto. Lo cual permite medir cientos de mosquitos al día. Las muestras no necesitan ser procesadas y la inversión que se requiere es de solo un equipo, no necesita reactivos y su mantenimiento es mínimo. Lo que hace que el costo por muestra procesada sea menor si comparamos con técnicas de biología molecular. Este factor es muy importante, ya que la vigilancia entomológica se realiza en países con poco financiamiento. Además, los datos que se obtienen pueden ser utilizados para identificar varios rasgos biológicos de interés, sin la necesidad de realizar varias pruebas o usar otros equipos.

Se abre así una nueva oportunidad para innovar la vigilancia entomológica en mosquitos a través del uso de la combinación de nuevas y no tan nuevas tecnologías y herramientas de análisis. La espectroscopía infrarroja juega un papel importante en la lucha contra enfermedades transmitidas por insectos y representa una oportunidad accesible en términos técnicos y económicos para países con menor grado de desarrollo relativo como América Latina y África.

Referencias

- [1] Geneva: World Health Organization. *World Malaria Report 2022*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240040496> (accessed 2022-08-22).
- [2] *Geographical expansion of cases of dengue and chikungunya beyond the historical areas of transmission in the Region of the Americas*. <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2023-DON448> (accessed 2023-05-03).
- [3] Johnson, J. B.; Naiker, M. Mid-Infrared Spectroscopy for Entomological Purposes: A Review. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 2020, 23 (3), 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.06.001>.
- [4] Johnson, B. J.; Hugo, L. E.; Churcher, T. S.; Ong, O. T. W.; Devine, G. J. Mosquito Age Grading and Vector-Control Programmes. *Trends in Parasitology* 2020, 36 (1), 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.10.011>.
- [5] Stuart, B. H. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*; 2004; Vol. 8. <https://doi.org/10.1002/0470011149>.
- [6] Balabanidou, V.; Kefi, M.; Aivaliotis, M.; Koidou, V.; Girotti, J. R.; Mijailovsky, S. J.; Juárez, M. P.; Papadogiorgaki, E.; Chalepakis, G.; Kampouraki, A.; Nikolaou, C.; Ranson, H.; Vontas, J. Mosquitoes Cloak

Their Legs to Resist Insecticides. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2019, 286 (1907), 20191091. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1091>.

[7] Mayagaya, V. S.; Michel, K.; Benedict, M. Q.; Killeen, G. F.; Wirtz, R. A.; Ferguson, H. M.; Dowell, F. E. Non-Destructive Determination of Age and Species of *Anopheles Gambiae* s.l. Using near-Infrared Spectroscopy. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 2009, 81 (4), 622–630. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2009.09-0192>.

[8] Santos, L. M. B.; Mutsaers, M.; Garcia, G. A.; David, M. R.; Pavan, M. G.; Petersen, M. T.; Corrêa-Antônio, J.; Couto-Lima, D.; Maes, L.; Dowell, F.; Lord, A.; Sikulu-Lord, M.; Maciel-de-Freitas, R. High Throughput Estimates of Wolbachia, Zika and Chikungunya Infection in *Aedes Aegypti* by near-Infrared Spectroscopy to Improve Arbovirus Surveillance. *Communications Biology* 2021, 4 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01601-0>.

[9] Garcia, G. A.; Kariyawasam, T. N.; Lord, A. R.; da Costa, C. F.; Chaves, L. B.; Lima-Junior, J. da C.; Maciel-de-Freitas, R.; Sikulu-Lord, M. T. Malaria Absorption Peaks Acquired through the Skin of Patients with Infrared Light Can Detect Patients with Varying Parasitemia. *PNAS Nexus* 2022, 1 (5), pgac272. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac272>.

[10] González Jiménez, M.; Babayan, S. A.; Khazaeli, P.; Doyle, M.; Walton, F.; Reedy, E.; Glew, T.; Viana, M.; Ranford-Cartwright, L.; Niang, A.; Siria, D. J.; Okumu, F. O.; Diabaté, A.; Ferguson, H. M.; Baldini, F.; Wynne, K. Prediction of Mosquito Species and Population Age Structure Using Mid-Infrared Spectroscopy and Supervised Machine Learning [Version 3; Peer Review: 2 Approved]. *Wellcome Open Research* 2019. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.15201.3>.

[11] Siria, D. J.; Sanou, R.; Mitton, J.; Mwanga, E. P.; Niang, A.; Sare, I.; Johnson, P. C. D.; Foster, G. M.; Belem, A. M. G.; Wynne, K.; Murray-Smith, R.; Ferguson, H. M.; González-Jiménez, M.; Babayan, S. A.; Diabaté, A.; Okumu, F. O.; Baldini, F. Rapid Age-Grading and Species Identification of Natural Mosquitoes for Malaria Surveillance. *Nature Communications* 2022, 13 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28980-8>.

[12] Mwanga, E. P.; Mapua, S. A.; Siria, D. J.; Ngowo, H. S.; Nangacha, F.; Mgando, J.; Baldini, F.; González Jiménez, M.; Ferguson, H. M.; Wynne, K.; Selvaraj, P.; Babayan, S. A.; Okumu, F. O. Using Mid-Infrared Spectroscopy and Supervised Machine-Learning to Identify Vertebrate Blood Meals in the Malaria Vector, *Anopheles Arabiensis*. *Malaria Journal* 2019, 18 (1), 187. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2822-y>.

[13] Mwanga, E. P.; Minja, E. G.; Mrimi, E.; Jiménez, M. G.; Swai, J. K.; Abbasi, S.; Ngowo, H. S.; Siria, D. J.; Mapua, S.; Stica, C.; Maia, M. F.; Olotu, A.; Sikulu-Lord, M. T.; Baldini, F.; Ferguson, H. M.; Wynne, K.; Selvaraj, P.; Babayan, S. A.; Okumu, F. O. Detection of Malaria Parasites in Dried Human Blood Spots Using Mid-Infrared Spectroscopy and Logistic Regression Analysis. *Malar J* 2019, 18, 341. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2982-9>.