

Modelamiento matemático de la dinámica de poblaciones resistentes a piretroides de *Aedes (Stegomyia) aegypti* con transporte pasivo en diferentes regiones climáticas de Colombia



Stephania Restrepo Serna¹, Irene Duarte Gandica², Oscar Alexander Aguirre-Obando³

Escuela de Investigación en Biomatemática
Universidad del Quindío
Armenia, Quindío, Colombia

¹srestrepos@uqvirtual.edu.co, ²iduarte@uniquindio.edu.co, ³oaaobando@gmail.com

1. Introducción

En Colombia, el uso extensivo de piretroides ha favorecido la selección de poblaciones resistentes con presencia de la mutación *kdr* Val1016Ile en *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762), el vector principal del dengue, chikunguña y Zika. En *A. aegypti* la resistencia *kdr*, causada por alteraciones en el canal de sodio regulado por voltaje, es uno de los mecanismos responsables de la resistencia a los piretroides. Adicionalmente, el transporte pasivo del mosquito, conlleva a la divergencia genética e influye en la dispersión de diferentes estados de desarrollo del mosquito, entre dos o más sitios, llevando consigo rasgos como la resistencia a insecticidas. De otro lado, la temperatura está directamente relacionada con el ciclo de vida del mosquito, siendo factor fundamental de las transiciones entre los distintos estadios, incluyendo tasa de crecimiento, supervivencia y longitud del ciclo reproductivo [1]; este factor también afecta la replicación del virus, la maduración y el período de infectividad [2]. Colombia se puede dividir en 8 regiones por rangos de temperatura promedio multianual según el IDEAM (2014), en cada una de las cuales *A. aegypti* tiene tasas vitales diferentes [3] [4].

Dado que los aspectos relacionados anteriormente afectan directamente la dinámica poblacional de *A. aegypti*, en este trabajo se propone un modelo matemático en ecuaciones diferenciales que representa el comportamiento poblacional y genotípico del sitio 1016 de *A. aegypti*, en 8 regiones climáticas de Colombia, con tasas vitales correspondientes al rango de temperatura de cada región, y tasas de ovoposición y muerte diferenciales para los individuos resistentes; para dar cuenta del transporte pasivo del vector, se usan datos registrados sobre el movimiento de carga por las principales carreteras troncales del país que interconectan las subregiones.

2. El Modelo

Los fenotipos considerados y relacionados con la mutación *kdr* Val1016Ile, a su vez relacionada con resistencia a PY son: susceptibles a PY (N) y resistentes a PY (n). Correspondientemente, los genotipos considerados en el modelo fueron NN (homocigoto dominante silvestre, susceptible a PY), está representado por N_n (heterocigoto, presenta el alelo n que confiere resistencia a PY, pero muere con insecticida, no tiene gasto evolutivo, y tiene las mismas tasas de muerte natural y de transición que x), está representado por y ; nn (recesivo resistente, tiene costo evolutivo, reflejado en diferentes tasas de muerte natural y de ovoposición que x y que y), está representado por z . El sistema en ecuaciones diferenciales que representa la dinámica considera 4 estadios del mosquito, huevo, larva, pupa y adulto, para cada genotipo w (x, y, z), en cada región r , es:

$$\frac{dH^w}{dt} = \theta \beta F_w - (\lambda_H^w + \mu_H^w) H^w$$

$$\frac{dL^w}{dt} = \lambda_H^w H^w - (\lambda_L^w + \mu_L^w) L^w$$

$$\frac{dP^w}{dt} = \lambda_L^w L^w - (\lambda_P^w + \mu_P^w) P^w$$

$$\frac{dA^w}{dt} = \lambda_P^w P^w - \mu_A^w A^w$$

$F_w(t)$ es el número de huevos/día que probablemente nacen con genotipo x, y, z , en cada tiempo t .

El número de individuos del estadio S (H, L, P, A), genotipo w , que salen por día de la región r a otras regiones, está dado por:

$$\frac{S^w(t)}{(S^x(t) + S^y(t) + S^z(t))} \sum_{j=1}^R Mig(r, j)$$

El número de individuos del estadio E , genotipo w , que llegan por día de otras regiones a la región r está dado por:

$$\sum_{i=1}^R \frac{S_i^w(t)}{S_i^x(t) + S_i^y(t) + S_i^z(t)} Mig(i, r)$$

Estos términos fueron sustraídos y adicionados, respectivamente, a cada una de las ecuaciones del sistema.

3. Resultados

Las figuras presentadas aquí, corresponden a ensayos numéricos con poblaciones iniciales de 6 individuos en cada uno de los estadios de los genotipos x y y , y 20 individuos del genotipo z , en cada una de las regiones, para simular una situación en la que hay una fumigación con PY, lo que genera una población mayor de individuos resistentes (genotipo z). La ventana de observación es de 400 días. Se supone que viajan 3 individuos de alguno de los estadios del mosquito, por cada 1000 vehículos.

Los mayores picos de poblaciones se presentan alrededor de los 50 días. Se observa que en las regiones 3 y 6, las poblaciones presentan el mismo comportamiento, ya que las tasas correspondientes son las mismas debido a que tienen las mismas condiciones ambientales; lo mismo ocurre entre las regiones 4 y 5. Debido a que las tasas de ovoposición en las regiones 4 y 5 son menores que en las regiones 3 y 6, las poblaciones de adultos en las primeras son menores que en las segundas. Las regiones 1 y 2 tienen tasas vitales semejantes y por tanto un comportamiento poblacional similar. En las regiones 7 y 8 algunas tasas vitales difieren, la tasa de mortalidad de pupas y tasa de transición de huevo a larva son mayores en la región 7 que en la 8, mientras que la tasa de ovoposición es mayor en la región 8 que en la 7, lo que da un comportamiento diferenciado a lo largo del tiempo.

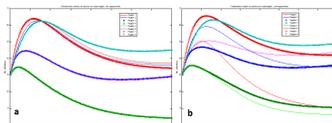


Figura 1: Poblaciones totales de individuos adultos en cada región, a. sin considerar migraciones b. considerando migraciones

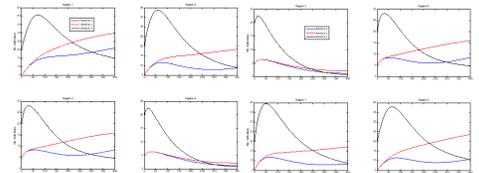


Figura 2: Poblaciones de adultos en las regiones 1 a 8, con los diferentes genotipos: x , homocigoto dominante silvestre, susceptible a insecticida; y , heterocigoto con presencia del alelo n que confiere resistencia; z , homocigoto recesivo, resistente a insecticidas

4. Conclusiones

Los resultados de este trabajo permiten concluir que los cambios en la dinámica poblacional de *A. aegypti* están directamente relacionados con las temperaturas de cada región climática, la migración a causa del transporte pasivo y el éxito conferido por la presión de selección por insecticidas, adaptándose a nuevas condiciones. El movimiento humano, el transporte pasivo y la conectividad entre las diferentes regiones son determinantes en la proliferación e invasión del mosquito *A. aegypti*, así como en la propagación de poblaciones resistentes. Identificar las rutas de migración puede contribuir, por tanto, a mejorar el control de enfermedades como el dengue, Zika y chikunguña.

5. Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el soporte de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Quindío.

Referencias

- [1] Tun-Lin W, Burkot TR, Kay, BH. (2000). Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Ae. aegypti* in north Queensland, Australia. Medical and Veterinary Entomology; 14(1): 31-37.
- [2] Yang HM, Macoris ML, Galvani KC, Andrighetti MT, Wanderley DM. (2009). Assessing the effects of temperature on the population of *Aedes aegypti*, the vector of dengue. Epidemiology and Infection; 137(08): 1188-1202.
- [3] Quispe-Prete E, Carbajal-Villaverde A, Gozzer-Fernández J, Moreno-Rodríguez B. (2015). Ciclo biológico y Tabla de Vida de *Aedes aegypti*, en laboratorio: Trujillo (Perú), 2014. Revista Científica de Estudiantes. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.
- [4] Marinho RA, Beserra EB, Bezerra-Gusmão MA, De S. Porto V, Olinda RA, ODS santos CAC. (2016). Effects of temperature on the life cycle, expansion, and dispersion of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in three cities in Paraíba, Brazil. Journal of Vector Ecology; 41(1): 1-10.