

Anexo I
Estructura de Presentación de Propuestas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
Facultad Politécnica

**CONVOCATORIA PARA PRESENTACIÓN DE
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

FORMULARIO DE PRESENTACIÓN

PERFIL DEL PROYECTO

1. Título del Proyecto. Investigador/a Principal y Coinvestigadores

Título del Proyecto:

La quiescencia y sus efectos en la población de *Aedes aegypti*

Investigador Principal:

Christian Emilio Schaerer Serra

Coinvestigadores:

Alejandro Daniel Reckziegel Benítez

Diego Herbin Stalder Díaz

2. Resumen del proyecto

Debido a la capacidad de varias especies de mosquitos de transmitir enfermedades por vectores, se han desarrollado varios modelos, incluyendo aquellos compuestos por sistemas de ecuaciones diferenciales, para describir su dinámica poblacional. Además, sabemos que en presencia de condiciones climáticas adversas, los mosquitos *Aedes Aegypti* emplean una estrategia de supervivencia llamada quiescencia, en la cual, una vez que sus huevos se secan, el desarrollo se



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

detiene para mantener la viabilidad por períodos que duran hasta varios meses. Aunque la quiescencia permite una probabilidad prolongada de supervivencia para los huevos de mosquito, la quiescencia también puede afectar negativamente el desarrollo del mosquito. En este trabajo, incorporaremos los efectos de la quiescencia en un modelo poblacional. El modelo propuesto cubre las poblaciones de mosquitos hembra. Este se divide en cuatro fases de desarrollo del mosquito: Huevos (E), Larvas (L), Pupas (P) y Adultos maduros (M). Para medir los cambios en la viabilidad de los huevos de mosquito debido a los efectos de la quiescencia, introducimos un factor $\varepsilon = \alpha e^{(-\beta\tau)}$ a la tasa de eclosión de los huevos; Donde τ es el número de días continuos en los que la precipitación es inferior a una cantidad específica.

Para visualizar los efectos de la quiescencia en la población de mosquitos, se analizaran múltiples escenarios que demostraran que la quiescencia permite que la población persista en condiciones adversas. Sin embargo, esta capacidad tiene límites, ya que, en períodos prolongados de sequía, la población disminuye.

Palabras Claves:

Aedes Aegypti, Quiescencia, Modelo Poblacional, Ecuaciones Diferenciales Ordinarias, Efectos del clima en los seres vivos.

3. Equipo de investigadores

Nombre	Formación / grado académico	Sede/Grupo de Investigación/ Carrera	Función y actividad en el proyecto
Alejandro Daniel Reckziegel Benítez	Ingeniero Electrónico	Maestría en Ciencias de la Computación - Facultad Politécnica	Coautor, Presentador, Investigador en formación
Christian Emilio Schaerer Serra	Doctorado	NIDTEC	Coautor, Investigador Principal



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Diego Herbin Stalder Díaz	Doctorado	Facultad de Ingeniería	Coautor, Investigador Externo
---------------------------	-----------	------------------------	-------------------------------

4. Área y especialidad de la propuesta

1. Área de Investigación Principal: Ciencias Naturales

- Subárea: Ciencias Biológicas
- Especialidad: Biología Teórica y Modelado Matemático de Sistemas Biológicos

2. Área de Investigación Secundaria: Ciencias Médicas y de la Salud

- Subárea: Salud Pública y Epidemiología
- Especialidad: Dinámica y Estrategias de Control de Enfermedades Transmitidas por Vectores

3. Campos Adicionales Relevantes:

- Ingeniería y Tecnología
 - Subárea: Ingeniería Ambiental
 - Especialidad: Impacto Climático en los Vectores de Enfermedades
- Ciencias Agrarias
 - Subárea: Entomología
 - Especialidad: Fisiología de Insectos y Adaptaciones para la Supervivencia

5. Objetivos del proyecto

Objetivo General:

Desarrollar y analizar un modelo matemático de la dinámica poblacional de *Aedes aegypti* que incorpore los efectos de la quiescencia, teniendo en cuenta las reducciones inducidas por la sequía en la viabilidad de los huevos y su impacto en el crecimiento de la población de mosquitos.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

FACULTAD POLITÉCNICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Objetivos Específicos:

- Construir un modelo de ecuaciones diferenciales estructurado por etapas para la hembra de *Aedes Aegypti*.
- Determinar los puntos de equilibrio y derivar el número básico de descendientes para el modelo propuesto.
- Simular la dinámica poblacional bajo diferentes condiciones ambientales (temperatura, precipitación) para evaluar cómo la quiescencia altera la abundancia de mosquitos.
- Aplicar datos climáticos del mundo real de Asunción, Paraguay, para contrastar las predicciones del modelo entre poblaciones afectadas por la quiescencia y no afectadas.

6. Resultados esperados y los medios para verificarlos

1. Un modelo de ecuación diferencial de cuatro etapas (huevos, larvas, pupas, adultos) que incorpora la quiescencia a través de un parámetro, que reduce la viabilidad de huevos en función de la duración de una sequía.
2. Derivación del número básico de crías (Q_0) para el modelo que incluye la quiescencia, mostrando su dependencia de la duración de la sequía y de las tasas de supervivencia de los huevos.
3. Simulaciones que demuestran que la sequía prolongada reduce las poblaciones de mosquitos debido a la pérdida acumulada de viabilidad de los huevos
4. Discrepancias entre los modelos que incluyen quiescencia y los que no la incluyen, lo que resalta la sobreestimación de la abundancia de mosquitos en las estaciones secas por parte de estos últimos.

7. Antecedentes y Justificación

Los mosquitos son vectores de numerosas enfermedades, lo que ha impulsado el desarrollo de modelos matemáticos para estudiar su dinámica poblacional. Estos modelos suelen emplear sistemas de ecuaciones diferenciales que consideran diferentes etapas de vida (huevos, larvas, pupas, adultos) (Guo, 2024), influencias ambientales como la temperatura y la precipitación (Frantz, 2024) e incluso patrones de distribución espacial (Silva, 2020). Además, los investigadores han extendido estos marcos para modelar la dinámica de transmisión de enfermedades, adaptando los modelos SIR (Susceptible-Infectado-Recuperado) para



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

FACULTAD POLITÉCNICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

enfermedades transmitidas por mosquitos como el dengue y la malaria (Ramirez-Soto, 2023). Los datos de campo obtenidos de las capturas de mosquitos son cruciales para validar estos modelos (Chen, 2023). Un parámetro clave en el análisis poblacional es el número básico de crías, que estima cuántas crías viables puede producir una hembra de mosquito, lo que sirve como indicador del crecimiento o declive poblacional.

Para sobrevivir a condiciones adversas, los mosquitos emplean estados latentes como la diapausa (una latencia estacional controlada hormonalmente) y la quiescencia (una pausa en el desarrollo provocada por el entorno) (Diniz, 2017). En el caso de los huevos de *Aedes aegypti*, la quiescencia se produce cuando las condiciones de sequía (baja humedad y precipitaciones) detienen su desarrollo. Los huevos permanecen viables durante meses, reanudando su desarrollo tras la rehidratación. Sin embargo, la quiescencia tiene desventajas: reduce el éxito de la eclosión, prolonga el tiempo de desarrollo larvario y aumenta la susceptibilidad a factores de estrés ambiental como los metales pesados (Oliva, 2018). Si bien algunos modelos incorporan los efectos de la latencia mediante ecuaciones diferenciales de retardo (Yang, 2014), a menudo no vinculan explícitamente la quiescencia con desencadenantes ambientales reales, como la duración e intensidad de la sequía.

Este trabajo presenta un modelo poblacional que integra explícitamente los efectos de la quiescencia modelando cómo disminuye la viabilidad de los huevos con una sequía prolongada. Definimos la quiescencia mediante un umbral ambiental; específicamente, un período de días consecutivos con precipitaciones inferiores a un nivel crítico. Cuanto más prolongada es la sequía, mayor es la reducción en las tasas de eclosión, lo que afecta la dinámica poblacional general. Nuestro enfoque cubre una brecha en los modelos existentes al conectar directamente las condiciones ambientales con las respuestas fisiológicas a la latencia. Las futuras ampliaciones podrían refinar el umbral de precipitación utilizando datos empíricos de captura de mosquitos, lo que permitiría predicciones más precisas del comportamiento de la población en diferentes escenarios climáticos.

8. Materiales y Métodos

Materiales:

Datos diarios de precipitación y temperatura en Miami, obtenidos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), junto con datos de captura de mosquitos de la misma ciudad reportados por (Chen, 2023). Resultados experimentales con huevos de mosquito para observar los efectos de la quiescencia reportados por (Olivia 2018)



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Datos reales de temperatura y precipitación de la ciudad de Asunción durante el período 2021-2023.

Métodos:

- Modelado a través de sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE)
- Análisis dinámico del modelo
- Simulación a partir de datos ambientales (temperatura, precipitación) sintéticos y de la ciudad de Asunción

9. Relevancia de la propuesta

Este estudio permitirá enlazar observaciones empíricas sobre la quiescencia y formalismos matemáticos. Busca demostrar cómo la quiescencia permite que *A. aegypti* sobreviva a períodos de sequía, explicando su resiliencia en áreas urbanas y su capacidad para reaparecer una vez se reinician las lluvias, un factor que dificulta su erradicación. Además, validará predicciones teóricas utilizando datos climáticos reales de Asunción, fortaleciendo la confiabilidad del modelo para la toma de decisiones y el control de vectores.

10. Plan del trabajo

Tiempo de duración en meses: 5

Inicio del proyecto: 01/06/2025

Finalización del proyecto: 31/05/2025

Resultado esperado	Actividades principales	Indicadores de éxito	Medios de Verificación	Supuestos/ imponderables	Tiempo de ejecución (semana N°)
Revisión Bibliográfica	Búsqueda bibliográfica enfatizando modelos poblacionales, biología de	Entrega del estado del arte	Presentación del estado del arte y feedback	Disponibilidad de literatura especializada	Semanas 1-2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

	mosquitos y datos ambientales				
Desarrollo del Modelo	Implementación del modelo en python	El modelo refleja los cambios en población con cambios de temperatura y precipitación	Presentación del modelo y feedback	Correcta selección de librerías	Semanas 3-6
Estimación de parametros	Ajuste del parámetro que se va a agregar usando datos de mosquitos capturados y temperatura en Miami	El parámetro representa correctamente los cambios biológicos en mosquitos debido a la sequía	Alta correlación con datos de mosquitos reales	Limitaciones computacionales	Semanas 7-9
Simulación de escenarios para comparación	Simulación de escenarios de sequía y cambios de temperatura	Identificación de efectos de la sequía en la población de mosquitos	Imagenes comparativas	Limitaciones computacionales	Semanas 10-12



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
 DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
 SAN LORENZO-PARAGUAY

Preparación Conferencia	Elaboración presentación y materiales	Aprobación de la presentación por el tutor	Versión final de slides y abstract enviado a la conferencia	Disponibilidad de tiempo para revisiones	Semana 13
Conferencia	Viaje, Asistencia y networking	Feedback positivo y contactos relevantes	Certificado de asistencia y notas de interacciones	Complicaciones en el viaje internacional	Semana 14

11. Presupuesto

	Descripción del bien o servicio	Especificaciones básicas	Actividad	Subtotal-Guaraníes
1	Pasaje	Pasaje de ida (14/09) y vuelta (19/09) en avión.	Ida y vuelta en avión	2.800.000,0
2	Viático	Para 6 días (14/09 - 19/09) en la zona del evento, Praia de Botafogo - Rio de Janeiro	Compra de lo necesario para el sustento durante el viaje	2.500.000,0
3	Hospedaje	Por 6 días (14/09 - 19/09) en la zona del evento, Praia de Botafogo - Rio de Janeiro	Estadía en Hotel o Apartamento por la duración del evento	2.500.000,0



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

4	Inscripción	Inscripción al evento	Inscripción al evento	360.000,0
			Total	8.160.000,0

12. Estrategia de comunicación

- Presentación de un póster en el XLIV Congreso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional CNMAC 2025, del 15 al 19 de Septiembre del 2025.

13. Referencias bibliográficas

- Chen, J., Huo, X., Wilke, A. B. B., Beier, J. C., Vasquez, C., Petrie, W., Cantrell, R. S., Cosner, C., & Ruan, S. (2023). Linking mathematical models and trap data to infer the proliferation, abundance, and control of *Aedes aegypti*. *Acta Tropica*, 239, 106837. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2023.106837>
- Diniz, D. F. A., De Albuquerque, C. M. R., Oliva, L. O., De Melo-Santos, M. A. V., & Ayres, C. F. J. (2017). Diapause and quiescence: Dormancy mechanisms that contribute to the geographical expansion of mosquitoes and their evolutionary success. *Parasites & Vectors*, 10(1), 310. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2235-0>
- Frantz, R. M., Godinez, H., Martinez, K., Cuello, W. S., & Manore, C. (2024). Age structured partial differential equations model for *Culex* mosquito abundance. *Ecological Modelling*, 494, 110764. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110764>
- Guo, X., Li, L., Ren, W., Hu, M., Li, Z., Zeng, S., Liu, X., Wang, Y., Xie, T., Yin, Q., Wei, Y., Luo, L., Shi, B., Wang, C., Wu, R., Yang, Z., Chen, X.-G., & Zhou, X. (2024). Modelling the dynamic basic reproduction number of dengue based on MOI of *Aedes albopictus* derived from a multi-site field investigation in Guangzhou, a subtropical region. *Parasites & Vectors*, 17(1), 79. <https://doi.org/10.1186/s13071-024-06121-y>



- Oliva, L. O., La Corte, R., Santana, M. O., & Albuquerque, C. M. R. D. (2018). Quiescence in *aedes aegypti*: Interpopulation differences contribute to population dynamics and vectorial capacity. *Insects*, 9(3), 111. <https://doi.org/10.3390/insects9030111>
- Ramírez-Soto, M. C., Machuca, J. V. B., Stalder, D. H., Champin, D., Martínez-Fernández, M. G., & Schaerer, C. E. (2023). SIR-SI model with a Gaussian transmission rate: Understanding the dynamics of dengue outbreaks in Lima, Peru. *PLOS ONE*, 18(4), e0284263. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284263>
- Silva, M. R., Lugão, P. H. G., & Chapiro, G. (2020). Modeling and simulation of the spatial population dynamics of the *Aedes aegypti* mosquito with an insecticide application. *Parasites & Vectors*, 13(1), 550. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04426-2>
- Yang, H. M. (2014). Assessing the Influence of Quiescence Eggs on the Dynamics of Mosquito <i>Aedes aegypti</i>. *Applied Mathematics*, 05(17), 2696-2711. <https://doi.org/10.4236/am.2014.517257>
- University of Bordeaux, IMB, UMR CNRS, 5251, Talence, France, Ainseba, B., Bouguima, S. M., Laboratoire: Systèmes Dynamiques et Applications, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, University of Tlemcen, Algeria, Kada, K. A., & Laboratoire: Systèmes Dynamiques et Applications, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, University of Tlemcen, Algeria. (2023). Modeling the adaptive behavior of an agricultural pest population. *Mathematical Modeling and Computing*, 10(1), 212-225. <https://doi.org/10.23939/mmc2023.01.212>
- Ferreira, C. P., & Yang, H. M. (2003). Estudo dinâmico da população de mosquitos *aedes aegypti*. *TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, 4(2), 187-196. <https://doi.org/10.5540/tema.2003.04.02.0187>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

Mordecai, E. A., Cohen, J. M., Evans, M. V., Gudapati, P., Johnson, L. R., Lippi, C. A., Miazgowicz, K., Murdock, C. C., Rohr, J. R., Ryan, S. J., Savage, V., Shocket, M. S., Stewart Ibarra, A., Thomas, M. B., & Weikel, D. P. (2017). Detecting the impact of temperature on transmission of Zika, dengue, and chikungunya using mechanistic models. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 11(4), e0005568. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005568>

Otero, M., Solari, H. G., & Schweigmann, N. (2006). A stochastic population dynamics model for aedes aegypti: Formulation and application to a city with temperate climate. *Bulletin of Mathematical Biology*, 68(8), 1945-1974. <https://doi.org/10.1007/s11538-006-9067-y>