



Universidad Veracruzana

Facultad de Estadística e informática

Región Xalapa

Licenciatura en Estadística

**Predicción de la abundancia del vector del dengue
usando Algoritmos de Machine Learning**

Presentan:

Karla Arely Miranda Gabriel

Zulema Yamileth Cervantes Hernandez

Octubre de 2025

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”



Introducción

El dengue es una enfermedad viral transmitida por mosquitos que constituye un importante problema de salud pública a nivel mundial. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en las últimas décadas la incidencia del dengue se ha multiplicado por más de ocho veces, alcanzando cifras históricas en América Latina (OPS, 2023). En México, la enfermedad se presenta de forma endémica en diversas regiones tropicales y subtropicales, dentro de esta región, el estado de Yucatán (particularmente su capital, Mérida) con una tendencia creciente asociada al cambio climático, la urbanización acelerada y las condiciones socioambientales.

El *Aedes aegypti*, principal vector del dengue encuentra en los entornos urbanos un hábitat favorable debido a la acumulación de agua en recipientes domésticos, el aumento de la temperatura ambiental y la densidad poblacional. Estos factores, junto con el flujo de personas y la persistencia de varias cepas del virus, contribuyen a mantener la transmisión activa durante la mayor parte del año (CENAPRECE, 2022).

Ante este panorama, resulta indispensable el desarrollo de modelos predictivos que integren información climatológica, ambiental, antropogénica y sociodemográfica para comprender la dinámica espacial del dengue. En este estudio se aplicaron técnicas de interpolación espacial mediante el método Inverse Distance Weighting (IDW), junto con algoritmos de aprendizaje automático como Random Forest y XGBoost, con el propósito de predecir la cantidad de huevos de *Aedes aegypti* en áreas no muestreadas de la ciudad de Mérida, Yucatán. Estas herramientas permiten estimar la distribución a partir de variables climáticas, urbanas y sociodemográficas, contribuyendo así a la generación de mapas de riesgo.

Contexto del problema

Mérida, capital de Yucatán se localiza entre los paralelos 20° 45' y 21° 15' de latitud norte y los meridianos 89° 30' y 89° 45' de longitud oeste. Limita al norte con los municipios de Progreso y Chicxulub; al sur con los de Abalá, Tecoh y Timucuy; al este con los de Conkal, Kanasín y Tixpéhual y al oeste con los de Ucú y Umán. Su superficie de 858.41 kilómetros cuadrados representa el 2% del territorio estatal y el 0.04% del territorio nacional. (Gobierno del Estado de Yucatán, 2025).

En cuanto a su clima en Mérida, la temporada de lluvia es opresiva y nublada; la temporada seca es húmeda, ventosa y parcialmente nublada y es muy caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 17 °C a 34 °C y rara vez baja a menos de 14 °C o sube a más de 39 °C, según la clasificación de climas, Mérida se describe como “tropical de sabana”.

El Gobierno del Estado de Yucatán señala que el clima cálido y húmedo, junto con las características urbanas de la ciudad, “favorecen la proliferación del *Aedes aegypti*” (Gobierno de Yucatán, 2025). Este insecto aprovecha depósitos artificiales como cubetas, floreros, tinacos y neumáticos para su reproducción, elementos comunes en viviendas urbanas. La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2023) destaca que, en climas tropicales, la temperatura y la humedad determinan la capacidad vectorial del mosquito, al acelerar su ciclo de vida y acortar el período de incubación viral, lo que aumenta la frecuencia de transmisión.

Desde el punto de vista urbano y sociodemográfico, Mérida ha experimentado un crecimiento acelerado en las últimas décadas. Según datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, la ciudad concentra 995, 129 habitantes, lo que representa un aumento del 19.8 % respecto a 2010. Este crecimiento ha estado acompañado por expansión horizontal del territorio, desarrollo de fraccionamientos y aumento en la demanda de servicios básicos, lo cual genera contrastes entre zonas de alta densidad urbana y áreas con rezago en infraestructura (CICY, 2021).

En términos epidemiológicos, el dengue en Yucatán tiene antecedentes históricos desde 1979, cuando se registró el primer brote importante en el estado. Desde entonces, se han documentado episodios recurrentes en 1997, 2002, 2011, 2015, 2019 y 2023, este último considerado el mayor brote en la historia de Yucatán, con más de 32 000 casos confirmados (Secretaría de Salud Federal, 2024). El Panorama Epidemiológico del Dengue 2024 reportó que Yucatán ocupó el primer lugar nacional en incidencia, con una tasa de 1 381 casos por cada 100 000 habitantes.

Resultados

A continuación, se muestra los resultados obtenidos con los métodos de IDW, Random Forest y KGBoots. Las imágenes de los mapas fueron extraídas de Python y solamente se le dieron formato.

Nota: los colores verdes indican las zonas con mayor número de huevos, mientras que los colores rojos corresponden a las áreas con menor cantidad. Los tonos amarillos representan valores intermedios, donde la presencia del vector es moderada.

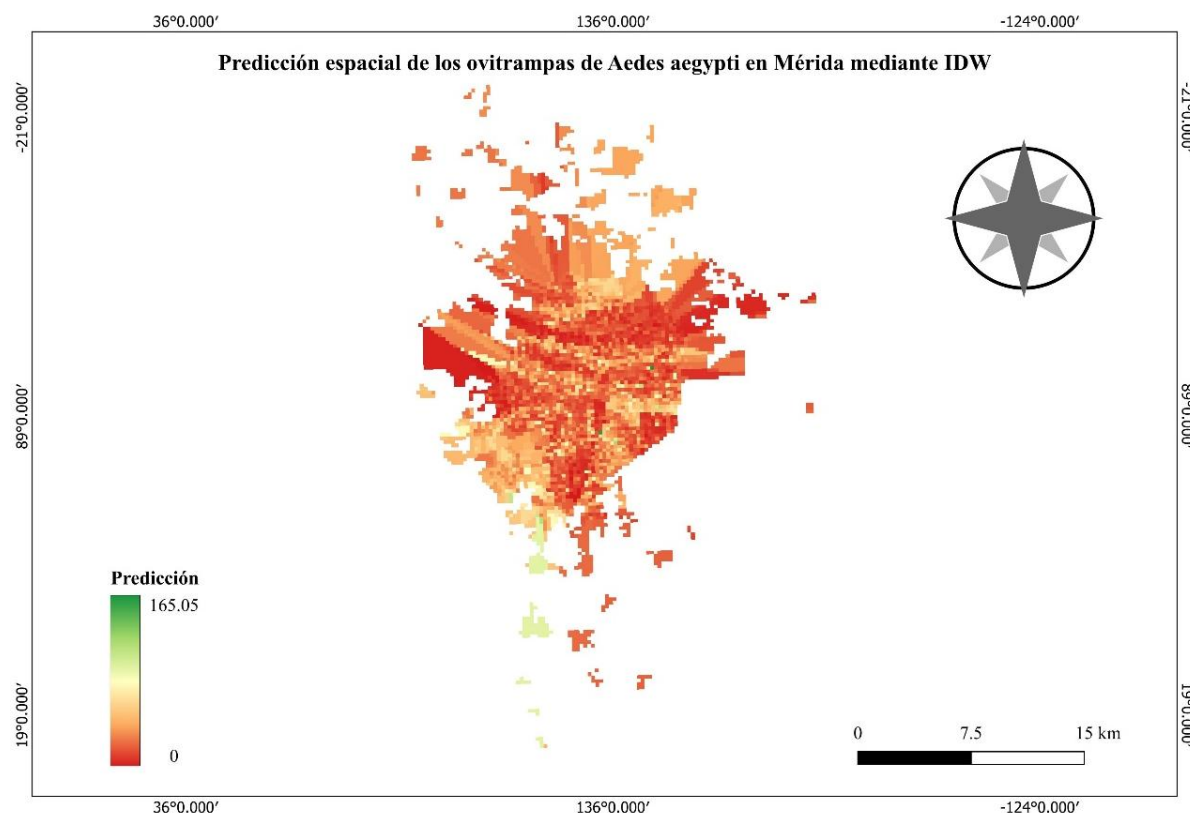


Figura 1. Predicción espacial de los ovitrampas de los huevos de *Aedes aegypti* en Mérida con IDW.

La Figura 1 presenta la predicción espacial del número de huevos del mosquito *Aedes aegypti* en Mérida, Yucatán, durante las semanas 35 a 38 del año 2024. Se observa que la zona con mayor concentración de huevos, representada en tonos verde claro (valores cercanos a 165), se localiza al suroeste de la capital, esto podría estar asociado con condiciones ambientales favorables y factores socioambientales que propician la proliferación del mosquito. Por otra parte, las zonas del centro, norte y parte del sureste, representadas en tonos rojizos (valores próximos a 0), registran una menor cantidad de huevos, posiblemente debido a mejores condiciones de infraestructura, mayor urbanización o menor cobertura vegetal.

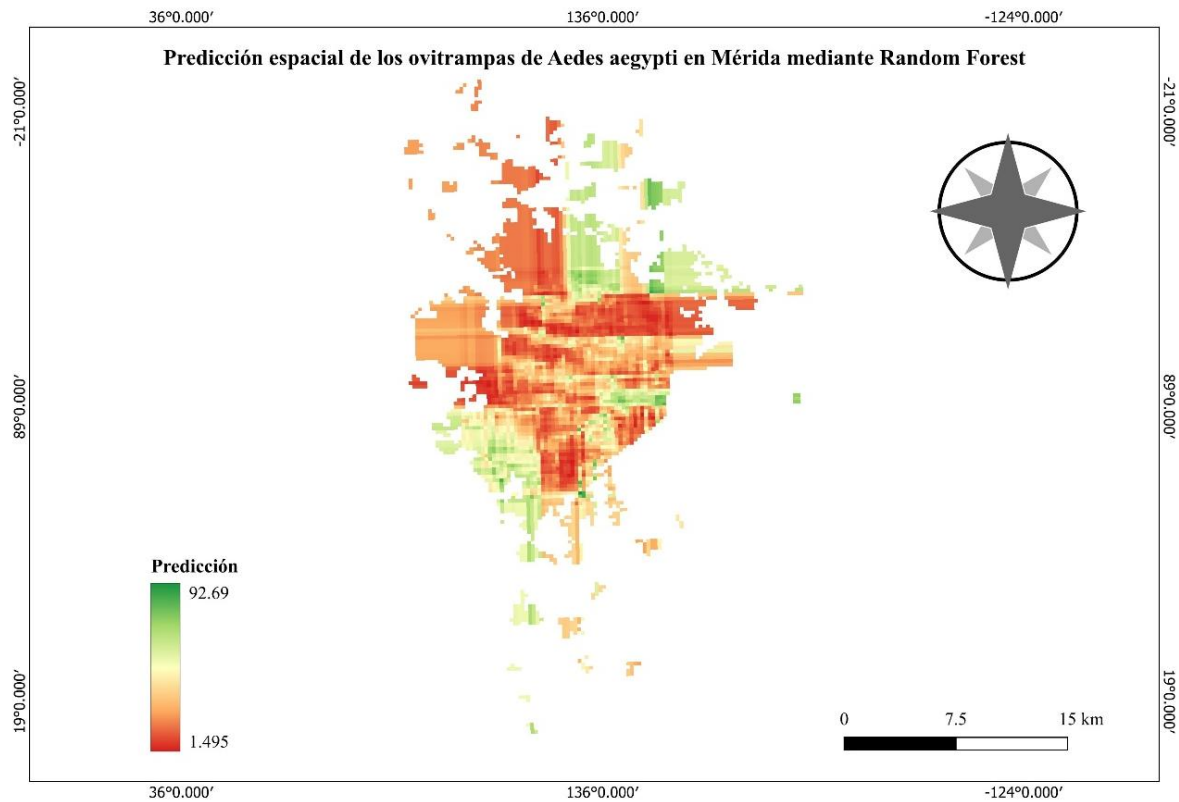


Figura 2. Predicción espacial de los ovitrampas de *Aedes aegypti* en Mérida con Random Forest (RF).

La Figura 2 muestra la predicción espacial estimada del número de huevos de *Aedes aegypti* en Mérida, Yucatán, correspondiente a las semanas 30 a 35 del año 2024. Los resultados indican que las áreas con mayor densidad de huevos (verde claro, con valores cercanos a 92.69) se localizan al noreste, suroeste y en algunas zonas del centro del municipio, esta concentración podría estar asociada con la presencia de mayor vegetación, acumulación de agua o condiciones de infraestructura precaria que favorecen la reproducción de los huevos. Mientras, que las zonas del centro y sureste (tonos rojizos, con valores próximos a 1.49) presentan una menor concentración de huevos, lo que sugiere condiciones menos propicias para el desarrollo del mosquito.

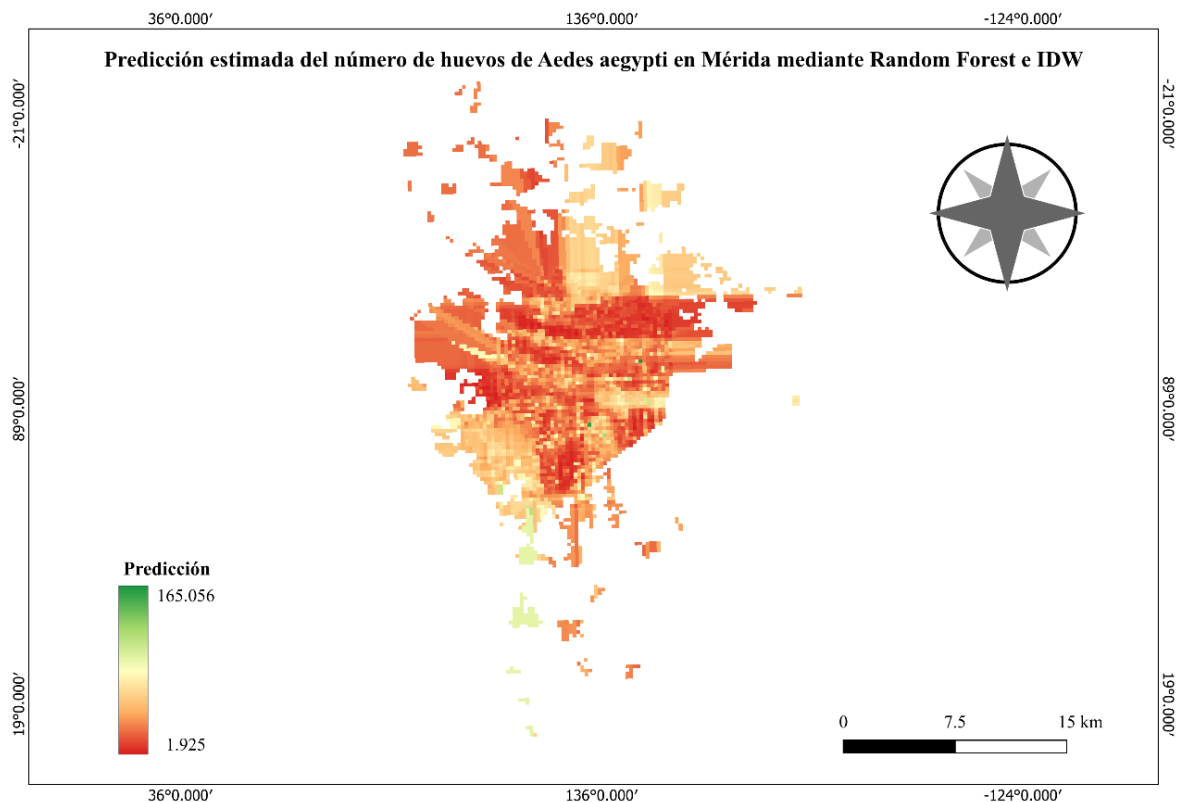


Figura 3. Predicción estimada del número de huevos de *Aedes aegypti* en Mérida mediante la combinación de Random Forest e IDW.

La Figura 3 ilustra la predicción de la cantidad de huevos del mosquito *Aedes aegypti* en Mérida, Yucatán, para las semanas 35 a la 38 de 2024, obtenida mediante la combinación de los modelos Random Forest e IDW. Se tiene que la zona del suroeste y algunos puntos del centro de la ciudad presentan mayores concentraciones de huevos (en verde claro, con valores cercanos a 165.05), mientras que el resto del municipio presentan menor abundancia con valores aproximados a 1.925. Por lo tanto, la combinación de ambos métodos permite representar de forma más completa cómo se distribuyen los huevos del mosquito en la ciudad.

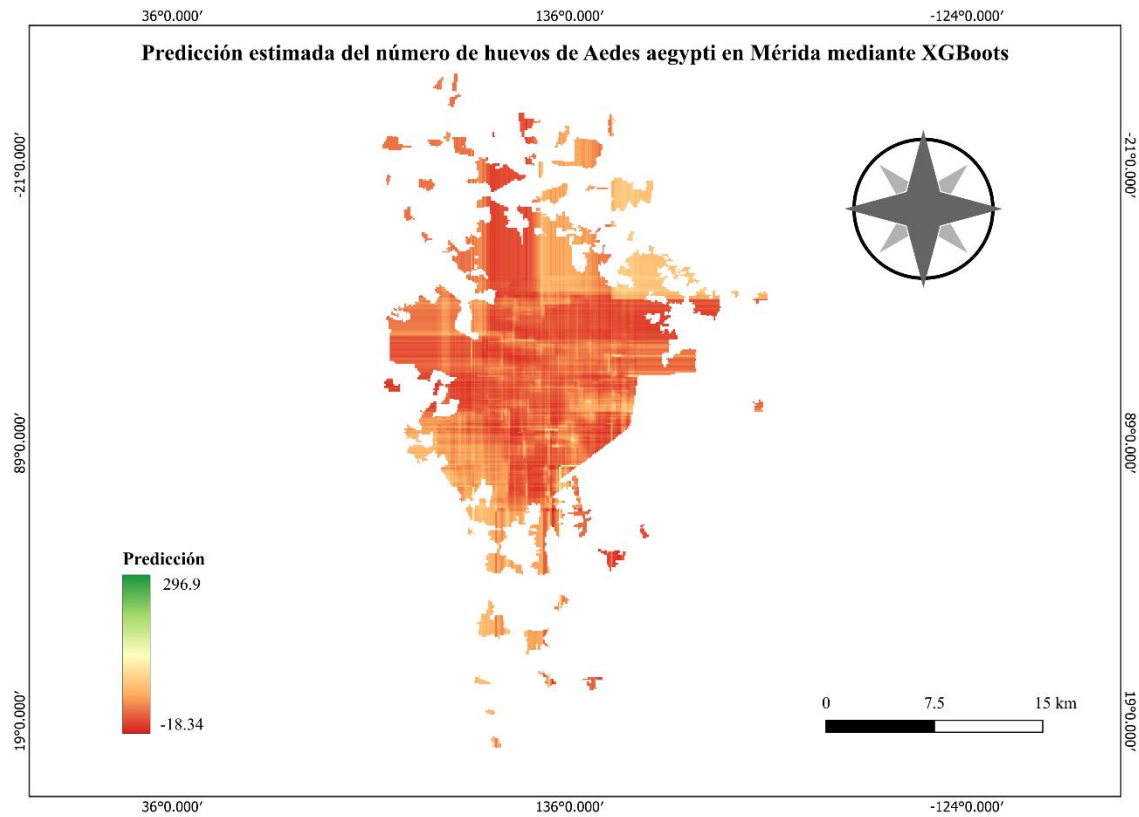


Figura 4. Predicción estimada del número de huevos de *Aedes aegypti* en Mérida con XGBoots.

La Figura 4 muestra la predicción espacial del número de huevos de *Aedes aegypti* en el municipio de Mérida, Yucatán, correspondiente a las semanas 35 a 38 del año 2024. Se observa que la mayor parte de la zona centro presenta valores bajos (tonos naranjas intensos), mientras que las áreas ubicadas al suroeste y noreste exhiben valores de moderados a bajos (tonos anaranjados). Los valores más altos en la cantidad de huevos (tonos amarillos y verdes) se concentran en pequeños parches localizados al sureste, esto indica la presencia de áreas específicas donde el modelo predice una mayor actividad de ovitrampas.

Tabla 1. Evaluación comparativa de modelos predicción para la estimación del número de huevos en Mérida, Yucatán.

Métodos	RMSE	MAE	R ²
IDW	36.6157	19.2285	0.1260
Random Forest (RF)	38.0540	20.0543	0.0560
Combinación de RF-IDW	37.3809	21.0753	0.0891
XGBoots	36.527	19.5729	0.1197

La Tabla 1 muestra la comparación del desempeño de los modelos espaciales para la predicción del número de huevos en Mérida, Yucatán, mediante las métricas Error cuadrático medio (RMSE), Error Absoluto Medio (MEA) y R^2 . De acuerdo con el R^2 , los valores de los modelos son bajos, es decir, que los modelos no logran explicar mucha de la variabilidad de los datos. Aun así, el método IDW destaca con el R^2 más alto de 0.1260, indicando un mejor ajuste, junto con valores moderadamente bajos de RMSE con un valor de 36.6157 y MAE de 19.2285. Por otro lado, XGBoost tuvo los errores más bajos (RMSE = 36.527, MAE = 19.5729), por lo que hace buenas predicciones, aunque su R^2 (0.1197) es un poco menor que el de IDW. En cambio, Random Forest y la combinación RF-IDW tuvieron un menor desempeño, con mayores errores y un menor R^2 . En pocas palabras, IDW fue el modelo que mejor se ajustó a los datos, mientras que XGBoost resultó el más preciso en cuanto a errores.

Conclusión

El presente trabajo permitió generar una aproximación predictiva de la abundancia del vector *Aedes aegypti* en el municipio de Mérida, Yucatán, mediante la aplicación de técnicas de interpolación espacial (IDW) y algoritmos de aprendizaje automático (Random Forest y XGBoost). Los resultados obtenidos evidencian que los modelos utilizados son herramientas útiles para identificar áreas con mayor riesgo entomológico, al estimar la cantidad de huevos en zonas no muestreadas.

Entre los modelos evaluados, el método IDW mostró tener un mejor ajuste, mientras que XGBoost presentó los errores más bajos, reflejando una mayor precisión en la predicción. A pesar de los valores reducidos del R^2 , las métricas de error (RMSE y MAE) indican un desempeño aceptable considerando la complejidad espacial y temporal del fenómeno.

La combinación de enfoques geoestadísticos y de aprendizaje automático representa un avance significativo para la vigilancia entomológica, ya que permite la elaboración de mapas de riesgo más detallados y reproducibles. Estos resultados pueden servir de base para la toma de decisiones en salud pública, orientando estrategias de control vectorial y prevención del dengue en los sectores con mayor vulnerabilidad.

Referencias

- CICY (2021). La expansión urbana de Mérida. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2021/2021-12-02-Espadas-et-al.-La-expansion-urbana-de-Merida.pdf?utm_source
- CONAGUA (2023). Normales climatológicas 1991–2020: Estación Mérida, Yucatán. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- CONAPO (2020). Índice de Rezago Social Municipal 2020. <https://www.gob.mx/conapo>
- Gobierno del Estado de Yucatán. (s.f.). *Mérida*. Gobierno del Estado de Yucatán. https://www.yucatan.gob.mx/estado/ver_municipio.php?id=50
- Gobierno del Estado de Yucatán (2025). Exhorta el Gobierno de Yucatán a no bajar la guardia ante el dengue. Secretaría de Salud de Yucatán (SSY). https://www.yucatan.gob.mx/saladeprensa/ver_notas.php?id=8366&utm_source=
- INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Mérida, Yucatán. <https://www.inegi.org.mx>
- OPS (2023). Factores climáticos y enfermedades transmitidas por vectores. <https://www.paho.org/es/temas/dengue>
- WeatherSpark. (s.f.). Clima promedio en Mérida, México, durante todo el año. <https://es.weatherspark.com/y/10032/Clima-promedio-en-M%C3%A9rida-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>