

# 19 CONGRESO de INVESTIGACIÓN en SALUD PÚBLICA

#19CONGISP #EquidadySostenibilidad

15-17 marzo 2023 • Cuernavaca • Morelos • México

## Drones para la identificación de factores de riesgo asociados a poblaciones de *Aedes aegypti*.

Kenia Mayela Valdez-Delgado, Víctor Muñiz-Sánchez, David Alejandro Moo-Llanes, Francisco Javier Hernández-López, Graciela González-Farías, Cecilia Izcapa-Treviño, Miguel Ángel Cruz Pliego, Gustavo Domínguez-Posadas, Moisés Osvaldo Armendáriz Valdez y Rogelio Danis-Lozano.



# Aedes aegypti

Este mosquito, es un ejemplo de *adaptación de una especie al ámbito humano*, con criaderos, hábitats, fuente de alimentación y desplazamiento activos y pasivos ligados al *entorno domiciliario*.



Foto: Dr. Cuauhtémoc Villarreal Treviño



Figure 3. Drone images of larvae breeding sites in outdoor (backyard) areas of houses in El Vergel, Tapachula, Chiapas, in (a) disposable plastic container; (b) plastic buckets and tubs; (c) cement washbasins (large); (d) WCs; (e) flowerpots; and (f) other (pools).

# Drones

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) pueden capturar datos geospaciales de alta calidad y alta resolución de manera efectiva, oportuna y flexible.

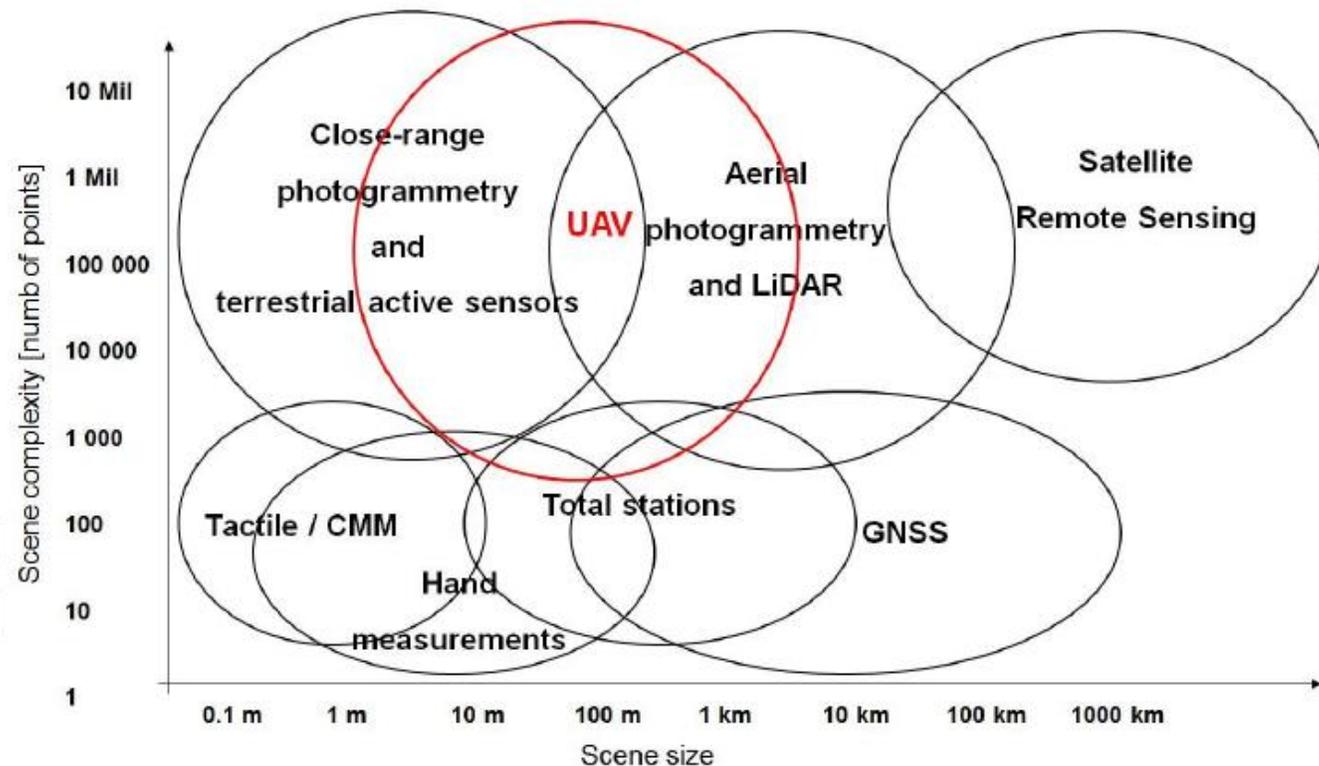
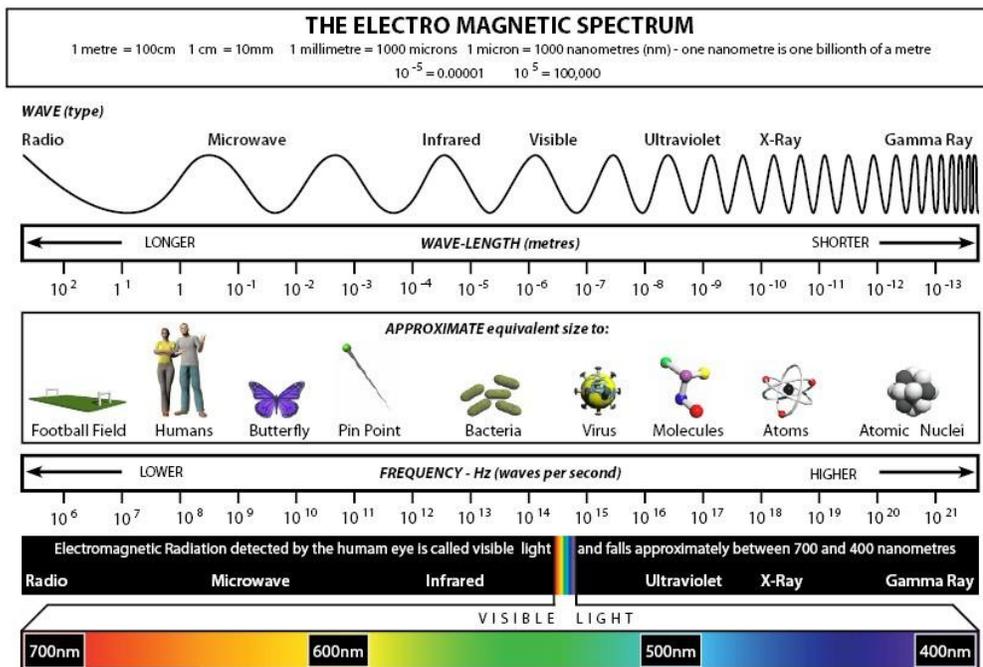


Fig. 1 Available Geomatics techniques, sensors and platforms for 3D recording purposes, according to the scene's dimensions and complexity.

# Objetivo.

- Generar un índice de riesgo para la abundancia de *Aedes aegypti* a nivel vivienda, basado en variables entomológicas, sociodemográficas y del paisaje, obtenidas de cartografía especializada elaborada con imágenes de alta resolución tomadas por drones.

# Materiales y Métodos

## El Vergel N=216

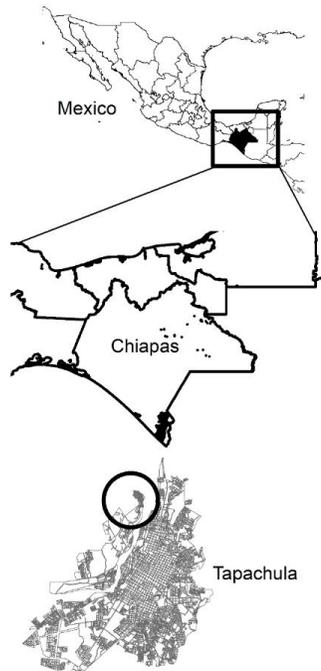


Figura 1. Área de estudio. El Vergel, Tapachula, Chiapas.  
Tomado de: Tesis Doctoral M en C. Kenia Mayela Valdez Delgado UANL.  
<http://eprints.uanl.mx/id/eprint/25097>

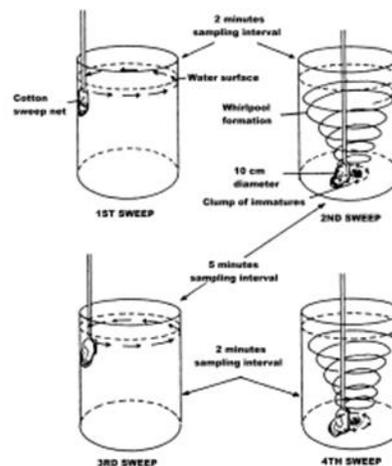


Fig. 3.12. Diagrammatic representation of the method of Tun-Lin et al. (1995) for sampling *Aedes aegypti* immatures from a 200 litre drum using a cotton sweep net

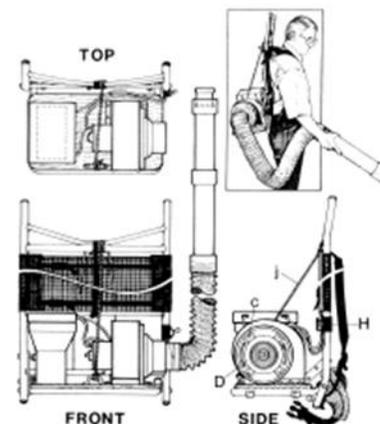


Fig. 5.24. The CDC backpack aspirator (Clark et al. 1994)

The apparatus was tested in indoor collections of *Aedes aegypti* from rooms and cupboards in Puerto Rico. Full details of the construction of this aspirator are provided as an appendix to the original paper, for those interested in constructing one.



CRIADEROS MAS COMUNES  
1. Cuervos viejos 6. Plantas  
2. Pisos 7. Lata descartadas  
3. Barriles, tonetes 8. Botellas vacías  
4. Macetas 9. Pedruzcos de botellas en muros  
5. Recipientes descartados 10. Cascaños de zapato

ÍNDICE DE CONDICIÓN DE VIVIENDA (ICV)			
Localidad o colonia	Municipio	Jurisdicción	
Domicilio			Fecha
Clave de sector	Clave de manzana	Folio	
RIESGO DE PRESENCIA DE <i>A. aegypti</i>			
Indicador	Característica	Riesgo	Puntuación
1. Apariencia de la vivienda			
1.a. Oquedades, aberturas o huecos en la pared (celosías, entretechos)	Ausentes	Bajo	1
	Pocos	Medio	2
	Muchos	Alto	3
1.b. Ventanas / puertas	Siempre cerradas o con malla de mosquetero	Bajo	1
	Abierta en el día o sin malla de mosquetero	Alto	3
1.c. Presencia de recipientes con agua dentro o fuera de la casa	Ninguno	Bajo	1
	Alguno (cerrado o tapado)	Medio	2
	Alguno (abierto)	Alto	3
1. Apariencia global de la vivienda			
	Promedio	Bajo	1
	Promedio	Medio	2
	Promedio	Alto	3
2. Sombra en el patio			
	< 25%	Bajo	1
	26-50%	Medio	2
	> 50%	Alto	3
3. Suciedad del patio			
	Limpio	Bajo	1
	Algo sucio (pasta, basura)	Medio	2
	Sucio y con recipientes con agua	Alto	3
PUNTUACIÓN ICV para <i>A. aegypti</i>			Bajo 3
			Medio 4 - 6
			Alto 7 - 9



# Materiales y métodos



Fig. 2. Drone Matrice 600 DJI



NORMA Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019, Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano.



Fig. 5. Ruta y proyecto de vuelo del drone.



Fig. 3. Cámara MicaSense.

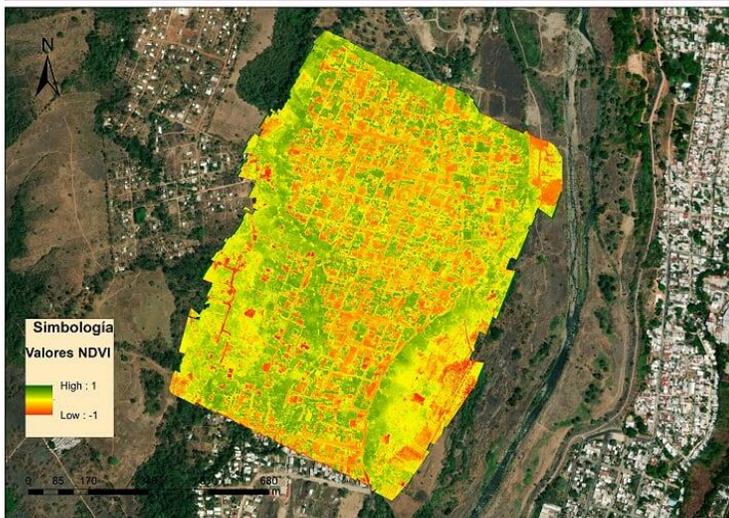


Fig. 4. Calibración de Cámara MicaSense.



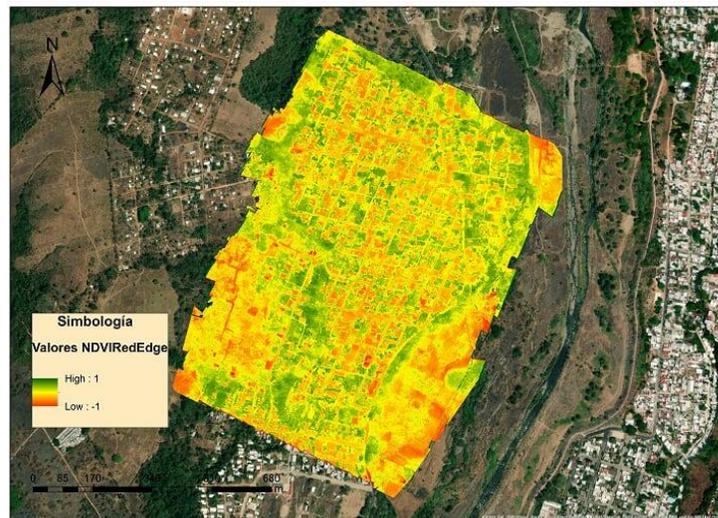
Fig.6. Vuelo inicial del drone Matrice 600.

El Vergel, Tapachula, México. NDVI.



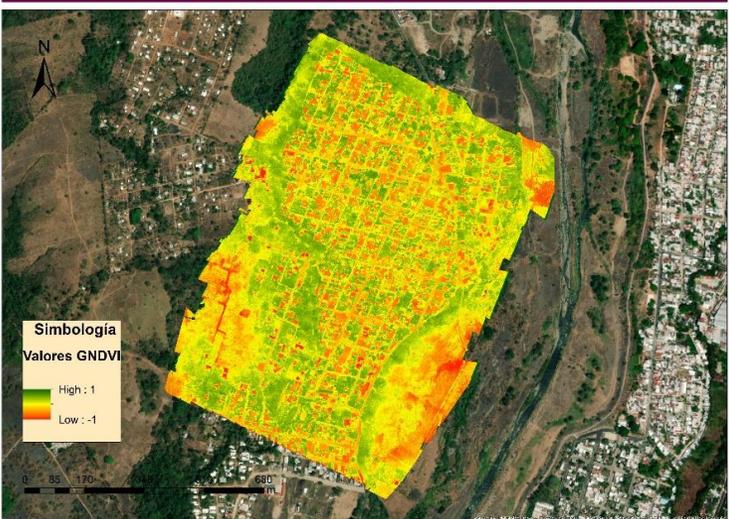
(a)

El Vergel, Tapachula, México. NDVI RedEdge.



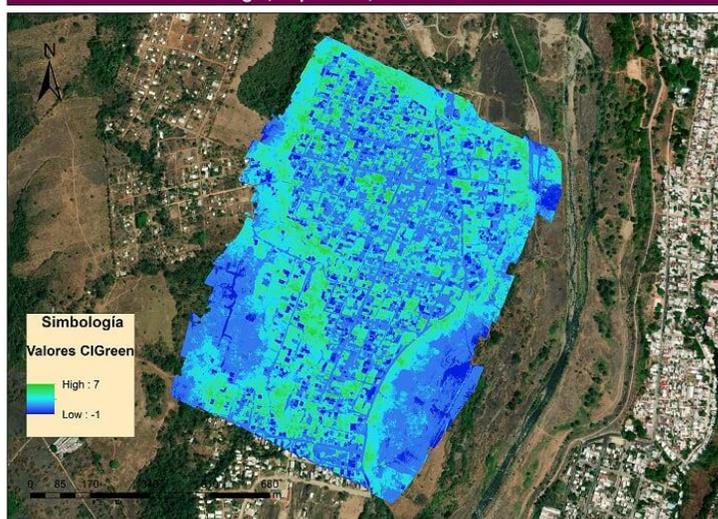
(b)

El Vergel, Tapachula, México. GNDVI.



(c)

El Vergel, Tapachula, México. CLGreen.



(d)

## Cartografía especializada

Se realizaron los mapas correspondientes a los índices NDVI, GNDVI, NDVI RedEdge y CLGreen, para el análisis de los datos obtenidos en cada una de las viviendas.

Fig. 7. Mapas de la colonia el Vergel (Tapachula, Chis.) elaborados con fotografías aéreas tomadas con un dron a 100 m de altura, (a). NDVI, (b) NDVI RedEdge, (c) GNDVI y (d) CLGreen. Tomado de: Tesis Doctoral M en C. Kenia Mayela Valdez Delgado UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/25097>

Tabla 4. Descripción de las variables empleadas para generar el Índice de Riesgo de Casa Aélica.

Variable	Tipo de variable	Descripción
Índice de Condición de la Vivienda (ICV)	Discreta	Sumatoria de todos los reactivos del ICV: 1 al 9
Índice de Condición de la Vivienda ponderado	Categórica	Criterio de puntuación del ICV: 1=3, 2=4-6 y 3=7-9
Índice de Condición de la Vivienda modificado (ICV <sub>2</sub> )	Discreta	Sumatoria de todos los reactivos del ICV, a excepción de los que corresponden a "aparición de la casa"
Índice de Condición de la Vivienda modificado ponderado	Categórica	Criterio de puntuación del ICV <sub>2</sub> : 1=2, 2=3 y 4, 3=5
Sombra del patio	Categórica	Sombra en el patio (obtenido de la encuesta de ICV) 1= <25%, 2=>25% pero <50% y 3= >50%
Mosquitos macho	Continua	Número de mosquitos macho de <i>Aedes aegypti</i> por vivienda
Mosquitos hembra	Continua	Número de Mosquitos hembra de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
Suma de mosquitos	Continua	Número de Mosquitos macho+ mosquitos hembra de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
Suma de pupas	Continua	Número de Pupas de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
1er estadio larval	Continua	Larvas de 1er estadio de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
2o estadio larval	Continua	Larvas de 2o estadio de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
3er estadio larval	Continua	Larvas de 3er estadio de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
4o estadio larval	Continua	Larvas de 4o estadio de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
Suma de larvas	Continua	Total de larvas de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
Criaderos positivos	Continua	Número de criaderos positivos a larvas y/o pupas de <i>Ae. aegypti</i> por vivienda
Hacinamiento	Continua	Número de personas/Número de cuartos por vivienda
SomDRONE	Categórica	Sombra. Determinada por medio de las imágenes aéreas realizadas por dron: 1= <25%, 2=>25 pero <50% y 3= >50%
CobVEGE	Categórica	Cobertura de Vegetación. Determinada por medio de las imágenes aéreas realizadas por dron: 1= <25%, 2=>25 pero <50% y 3= >50%
Altura de árboles	Continua	Promedio de la altura de los árboles en una manzana, cuyo valor se le asignó a las viviendas muestreadas en esa manzana.
NDVIRe	Continua	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada RedEdge
GNDVI	Continua	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde
NDVI	Continua	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
CIGreen	Continua	Índice de Clorofila
Modelo Digital de Superficie (MDS)	Continua	Modelo Digital de Superficie
Modelo Digital de Terreni (MDT)	Continua	Modelo Digital de Terreno

Tomado de: Tesis Doctoral M en C. Kenia Mayela Valdez Delgado UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/25097>

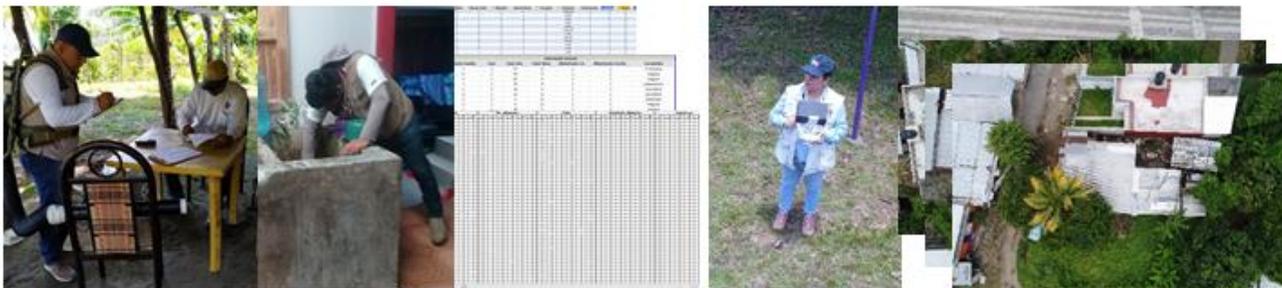
# Materiales y métodos

## Conjuntos de datos

Categoricos

Continuos

No estructurados



Representación vectorial y restricciones espaciales



Regresión de mínimos cuadrados parciales



Índice de riesgo para la detección de casas aélicas



Se utilizó una **metodología Machine Learning** para generar una variable categórica para cada casa, correspondientes al clúster al que pertenecen de acuerdo con una estructura de agrupamiento particular obtenida con un **algoritmo de agrupamiento con restricciones espaciales**.

La restricción que usamos es la **restricción de contigüidad en el espacio, especificando de esta manera qué observaciones (casas) se consideran conectadas**. Cuando incluimos estas conectividades en un **algoritmo de agrupamiento, se requiere que las observaciones en el clúster no solo sean similares entre sí según sus covariables, sino que también comprendan un conjunto contiguo de observaciones**.

Para ello se definió **una matriz de conectividad**  $C_{n \times n}$  en el **módulo de clúster del paquete sklearn en python** Pedregosa et al., 2011.

Fig. 8. Análisis de datos. Modificado de Muñiz-Sánchez, V.; Valdez-Delgado, K.M.; Hernandez-Lopez, F.J.; Moo-Llanes, D.A.; González-Farías, G.; Danis-Lozano, R. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Building a House Risk Index of Mosquito-Borne Viral Diseases. *Machines* 2022, 10, 1161. <https://doi.org/10.3390/machines10121161>

# Resultados

- En la Figura 9, se muestran las conectividades inducidas por C usando los centroides de los polígonos que definen las casas y la configuración de grupos de casas según cuatro regiones.
- Agregamos una variable categórica a nuestro conjunto de datos que representa la región asignada a cada casa.

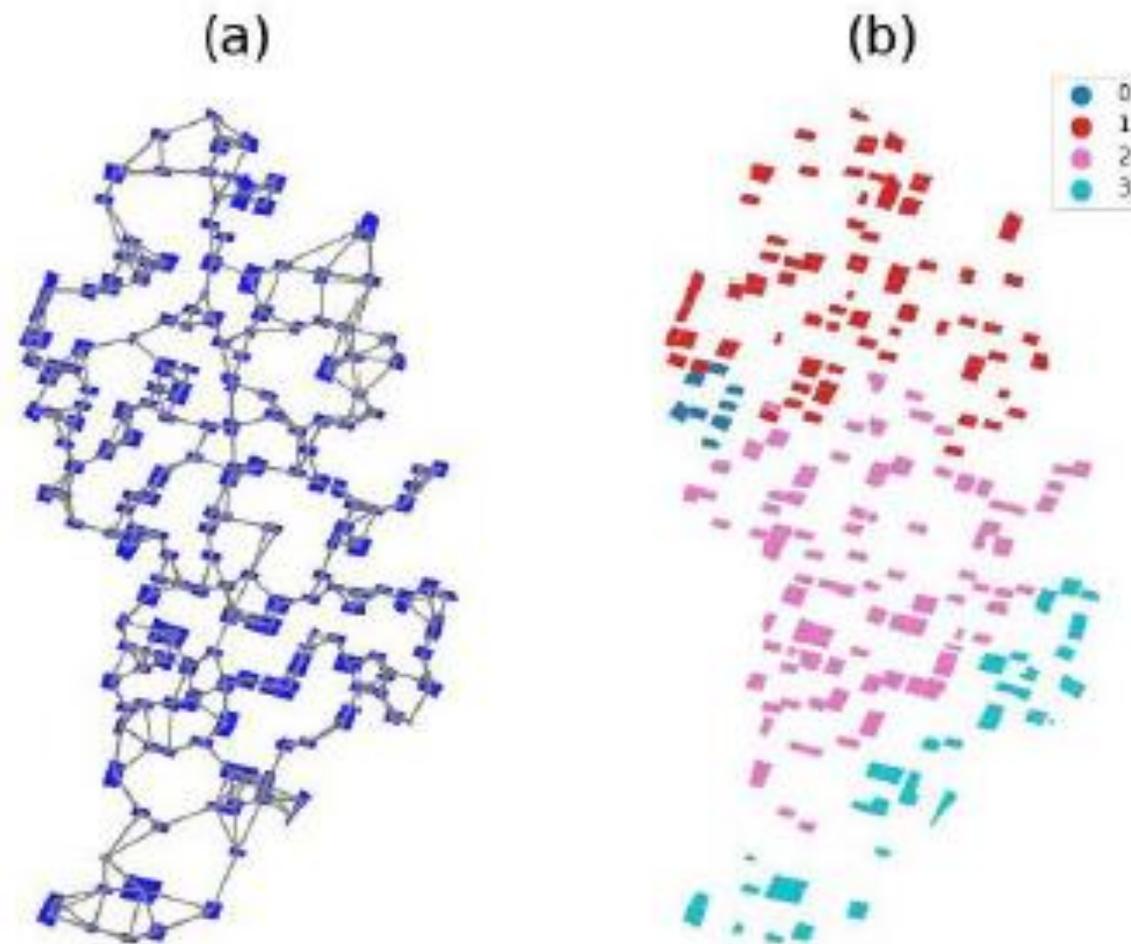


Figura 9. Agrupamiento jerárquico con restricciones de conectividad de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. (a) Distribución espacial de las casas y sus conectividades con  $k = 3$  NN. (b) Estructura de conglomerados con 4 regiones o conglomerados. Tomado de Muñiz-Sánchez, V.; Valdez-Delgado, K.M.; Hernandez-Lopez, F.J.; Moo-Llanes, D.A.; González-Farías, G.; Danis-Lozano, R. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Building a House Risk Index of Mosquito-Borne Viral Diseases. *Machines* 2022, 10, 1161. <https://doi.org/10.3390/machines10121161>

# Resultados

- Hay algunos picos evidentes del índice de riesgo, que corresponden principalmente a *viviendas en la periferia de la región de estudio*.
- Este patrón espacial de *viviendas de alto riesgo corresponde a la región 3* y algunas casas de las regiones 0 y 1 de los *clúster de conectividad*. Las casas con bajo riesgo se pueden encontrar en el centro de la región de estudio y corresponden a la *región 2*.

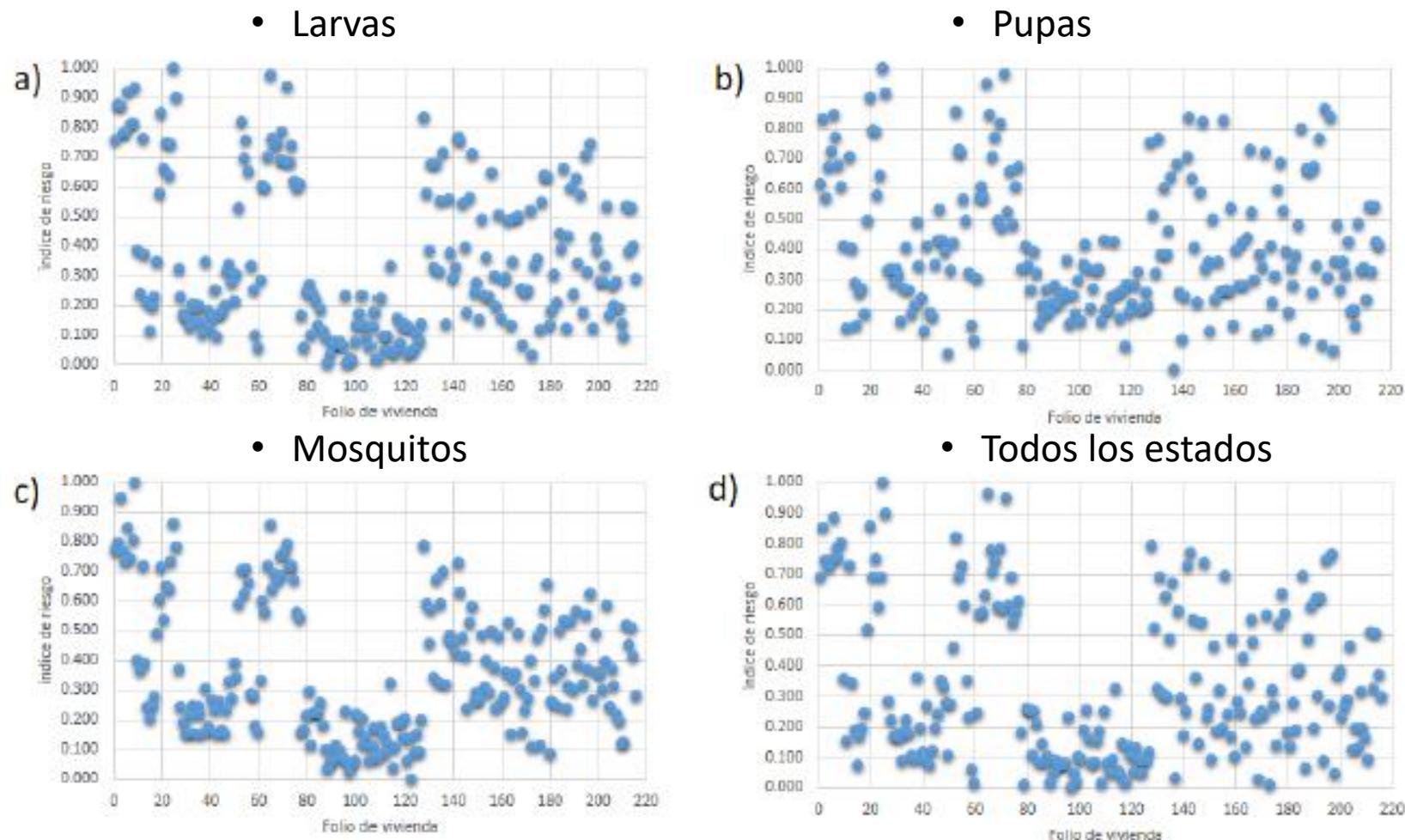


Figura 10. Índice de riesgo para *Ae. aegypti* "Casa aérea" para: a) Larvas, b) Pupas, c) Mosquitos y d) Todos los estados de *Ae. aegypti*. de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Tomado de: Tesis Doctoral M en C. Kenia Mayela Valdez Delgado UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/25097>

# Resultados

- Un índice de riesgo bajo (menor al 0.5), se definió en el 69.4% (150 viviendas), 70.4% (152), 71.8% (155) y 70.4% (152) viviendas para larvas, pupas, adultos y todos los estados de *Ae. aegypti* respectivamente.
- Se pueden observar patrones muy interesantes ya que *los valores más altos de índice de riesgo corresponden a viviendas en la periferia de la colonia El Vergel, principalmente.*

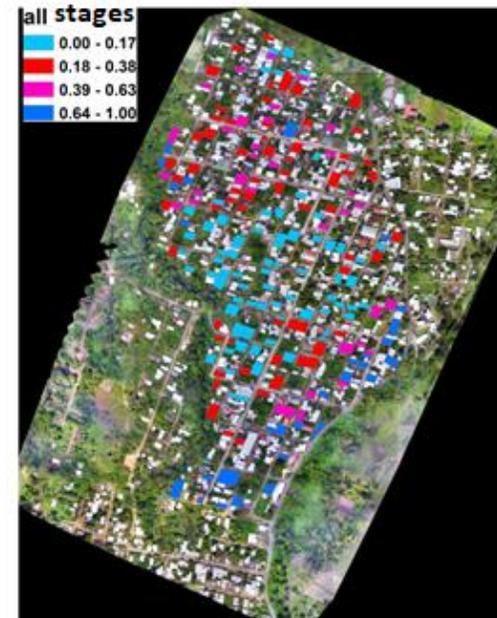
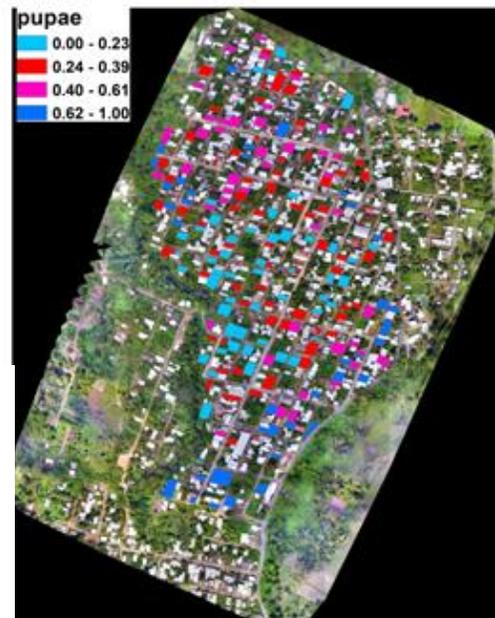
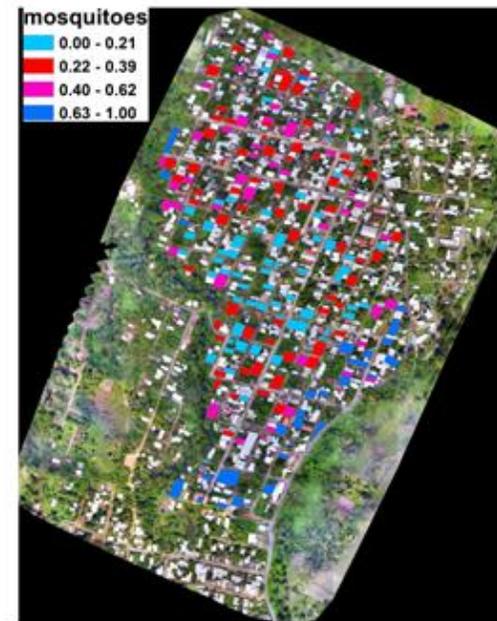
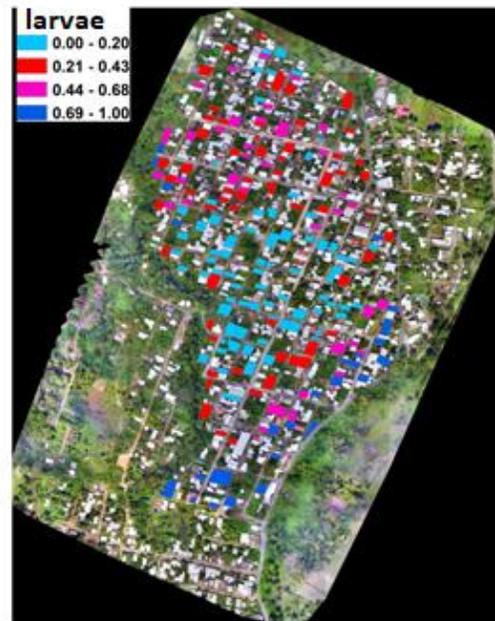
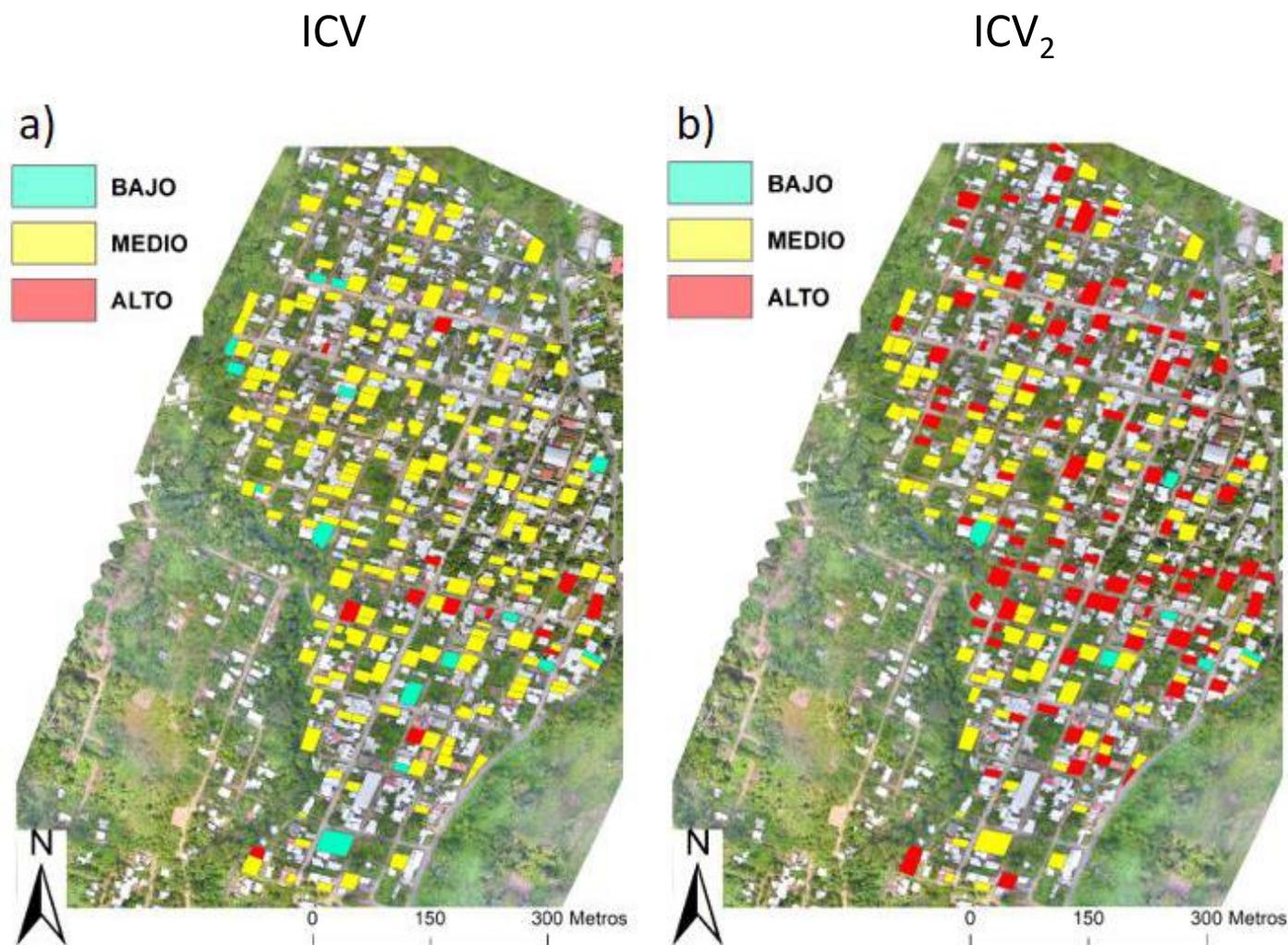


Figura 11. Índice de riesgo “Casa aérea” para *Ae. aegypti* de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, obtenido con una metodología de mínimos cuadrados parciales para diferentes variables de respuesta.

Tomado de: Muñiz-Sánchez, V.; Valdez-Delgado, K.M.; Hernandez-Lopez, F.J.; Moo-Llanes, D.A.; González-Farías, G.; Danis-Lozano, R. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Building a House Risk Index of Mosquito-Borne Viral Diseases. *Machines* 2022, 10, 1161. <https://doi.org/10.3390/machines10121161>



Los mapas elaborados para el área de estudio de *Índice de Condición de la Vivienda e Índice de Condición de la Vivienda Modificado* son contrastantes, ya que muestran en su mayoría un riesgo medio para el ICV (86.6%), con escasas viviendas de riesgo alto (6.5%); mientras que para el ICV<sub>2</sub> se divide entre riesgo medio (47.7%) y alto (49.5%). Para ambos, el riesgo bajo es escaso (6.9% y 2.8%, respectivamente).

Fig. 12. Mapa del Índice de Condición de la Vivienda ICV (a) e Índice de la Vivienda Modificado ICV2 (b) para la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Tomado de: Tesis Doctoral M en C. Kenia Mayela Valdez Delgado UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/25097>

# Resultados

- Las características de las viviendas con un índice de riesgo bajo (menor a 0.5) son diferentes al resto de viviendas en varios aspectos: cuentan con techos de losa de concreto y pisos de losa, servicios de mejor calidad y menor cobertura de vegetación (menor al 50%), entre otros, a diferencia de las casas periféricas, que son caracterizada por mayor cobertura vegetal (mayor al 50%), techos de lámina y servicios deficientes.



Fotos: Tesis Doctoral M en C. Kenia Mayela Valdez Delgado UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/25097>

# Conclusiones

- Los drones pueden ser utilizados para obtener información espacial del paisaje en tiempo real a través de cartografía especializada para la generación de un modelo predictivo multivariado que permite establecer un índice de riesgo relativo a la abundancia de *Ae. aegypti*, utilizando variables de diferente naturaleza.
- El modelo basado en ML y técnicas estadísticas multivariadas propuesto en este estudio para estimar el riesgo, demuestra alta confiabilidad en la identificación de áreas de alto riesgo dentro de la localidad de estudio. Esta metodología puede adaptar el modelo a diferentes regiones del país. La flexibilidad es dada en parte a la información en tiempo real proporcionada por los drones.
- El uso de drones se puede incorporar a la vigilancia de vectores y estrategias de control, proporcionando datos espaciales y temporales de los componentes del paisaje que permiten a los mosquitos vectores del dengue desarrollarse en un entorno dado.

Gracias!!!

[kenia.valdez@insp.mx](mailto:kenia.valdez@insp.mx)

