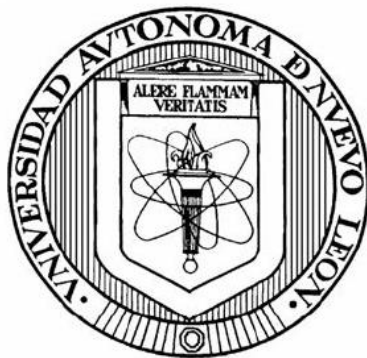


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



USO DE DRONES PARA LA ASOCIACIÓN DE FACTORES DE RIESGO CON LA
ABUNDANCIA DE MOSQUITOS *AEDES AEGYPTI* (LINNAEUS) DIPTERA:
CULICIDAE, EN ÁREAS DE TRANSMISIÓN DE DENGUE DE LA CIUDAD DE
TAPACHULA, CHIAPAS.

POR


KENIA MAYELA VALDEZ DELGADO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN ENTOMOLOGÍA MÉDICA Y VETERINARIA

2023

USO DE DRONES PARA LA ASOCIACIÓN DE FACTORES DE RIESGO CON LA
ABUNDANCIA DE MOSQUITOS *Aedes Aegypti* (LINNAEUS) DIPTERA:
CULICIDAE, EN ÁREAS DE TRANSMISIÓN DE DENGUE DE LA CIUDAD DE
TAPACHULA, CHIAPAS.

Comité de Tesis




Dr. Ildefonso Fernández Salas

Presidente



Dra. Violeta Ariadna Rodríguez Castro

Secretario



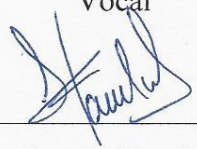
Dr. Humberto Quiroz Martínez

Vocal



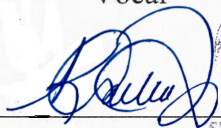
Dra. Beatriz López Monroy

Vocal



Dra. Susana Favela Lara

Vocal



Dra. Katiushka Arévalo Niño
Subdirectora de Posgrado



USO DE DRONES PARA LA ASOCIACIÓN DE FACTORES DE RIESGO CON LA
ABUNDANCIA DE MOSQUITOS *Aedes aegypti* (LINNAEUS) DIPTERA:
CULICIDAE, EN ÁREAS DE TRANSMISIÓN DE DENGUE DE LA CIUDAD DE
TAPACHULA, CHIAPAS.

Dirección de Tesis



Dr. Ildelfonso Fernández Salas

Director



Dr. Rogelio Danis Lozano

Director o Asesor Externo

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue financiado por el programa de apoyo a la investigación científica y tecnológica, PAICYT, UANL CN 902-19 “Utilización de drones para identificar criaderos del mosquito *Aedes aegypti* vector del dengue en Monterrey, NL y Tapachula, Chiapas”.

AGRADECIMIENTOS

A todos los miembros de mi comité de tesis, por su tiempo, asesoría y dedicación. Al Dr. Ildelfonso Fernández Salas por dirigir y revisar la presente, por brindarme su experiencia y sus consejos en todo momento, porque fue quien puso un drone en mis manos. A mis tutoras, Dra. Beatriz López Monroy y Dra. Susana Favela Lara, porque siempre estuvieron a mi lado, me apoyaron y me asesoraron en todos los procesos inherentes a mi doctorado y carrera profesional. A la Dra. Violeta Ariadna Rodríguez Castro por su apoyo, respuesta inmediata e incorporación a mi comité de tesis. A la Dra. Adriana Flores Suárez, por su paciencia, consejos y apoyo incondicional, por haber confiado en mí. Al Dr. Pedro César Cantú quien fue y sigue siendo un maestro para mí. A todos los catedráticos y alumnos del área de Entomología Médica/FCB por todos sus aportes y comentarios a la presente, por su amistad. A la Dra. Katiushka Arévalo Niño y al equipo de la Subdirección de Posgrado/FCB por todas las facilidades, atenciones y apoyo a una servidora.

Al Instituto Nacional de Salud Pública, Dr. Juan Rivera Dommarco y Dr. Eduardo Lazcano Ponce por las facilidades brindadas a una servidora. Al Dr. Rogelio Danis Lozano (Director Externo) por las atenciones a la presente, al M en C. Luis Cisneros Vázquez por todo tu apoyo en las tareas y metas institucionales y al M en C. David Moo Llanes por el apoyo recibido en la presente tesis. A los Técnicos en Salud Víctor Hugo López Estrada, José Antonio Zavala López, Miguel Muñoz y el Biol. Rafael Vázquez Sánchez por su apoyo en las encuestas de campo. A la Lic. Nancy Nayeli Díaz Alfaro, mi brazo derecho.

Al Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), al Dr. Fabián Correa Morales por su apoyo incondicional. Al Dr. Angel Gabriel Ocampo González, Dr. Sergio René Torreblanca López, Dra. Itzel Karina Solís Malo, Lic. Darío Mendoza López, Bióloga Elsa Contreras Cabrera y técnicos de campo del Distrito Sanitario VII, por las sugerencias y aprobación del protocolo de estudio y las facilidades brindadas para su realización. Al Sr. Manuel Cabrera presidente de la colonia El Vergel del municipio de Tapachula, por todas las facilidades y apoyo brindado para el

el desarrollo de las actividades y encuestas en campo.

Al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Dra. Cecilia Izcapa Treviño, Ing. Miguel Ángel Cruz Pliego, Ing. Gustavo Domínguez Posadas e Ing. Moisés Armendáriz Valdez, por toda su experiencia y capacitación en la implementación de protocolos de planeación, calibración, vuelo y supervisión en la toma de imágenes aéreas, fotogrametría y cartografía especializada.

Al Dr. Octavio García Salazar del Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica (CIIIA)/FIME, UANL por su experiencia y asesoría en la elaboración de resultados y discusión referente al uso de drones y elaboración de cartografía.

Al Centro de Investigación en Matemáticas A. C. (CIMAT), Dra. Graciela González Farías, Dr. Víctor Muñoz Núñez y Dr. Francisco Javier Hernández López, por su asesoría, experiencia y apoyo en el análisis de datos, desarrollo y uso de algoritmos y modelos matemáticos.

DEDICATORIA

A mi madre Teresa Delgado Martínez y a mi padre Carlos Valdez Ibarra, quienes trazaron un plan de vida para apoyarme, por su entrega. A mi hija Alegra Isabela Mahmud Valdez, mi más grande amor, mi más grande logro y mi más grande reto. Gracias por impulsar la mejor versión de mí, por inspirarme a formar un legado. Gracias por tu paciencia y tu amor incondicional. A mi hermano Carlos Darío Valdez Delgado y familia, mi tía Juanita y mi tío Guadalupe QEPD, mi prima Juanita y mis sobrinos. Los amo a todos.

Al Dr. Mauricio Hernández Ávila, quien me tendió la mano y me apoyó de forma incondicional en mi reincorporación a la ciencia y la academia. Al Dr. Miguel Ángel Lezana Fernández, Dr. Juan Arredondo Jiménez, Dr. Eric Raga Sarabia y Dr. Guadalupe Martínez Núñez, gracias por su apoyo y su amistad incondicional. A mis maestros y amigos que se adelantaron, Dr. Mario Camino Lavín †, Dr. Rogelio Pineda Mejía † y Dr. Gustavo Ponce García †, gracias por haber compartido sus enseñanzas y camino conmigo.

A mis amigos incondicionales Dr. Fabián Correa Morales, Biol. Pedro Gonzalez Santamarina, Soc. Pierre Burciaga, Dr. Cuauhtémoc Villarreal Treviño, Jana Celina Ríos Delgado, Dr. José Genaro Ordóñez, Mtro. Luis Cisneros Vázquez, Dra. Lilia González Cerón, Dra. Patricia Penilla Navarro, Dr. Cristian Arturo Zaragoza Jiménez, Dr. Miguel Lutzow Steiner y Capt. Roberto Angulo Kladt. Al Dr. José Santos García Alvarado y Dr. Juan Manuel Adame Rodríguez quienes confiaron en mí desde que estudiaba biología. A todos mis maestros y amigos de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL.

A la comunidad de El Vergel en Tapachula, al maravilloso estado de Chiapas y a mi amado país México, por permitirme contribuir un poco por tantas cosas que he recibido. A todos los que han creído en mí, de alguna u otra forma; los que, con pequeñas o grandes acciones, me han apoyado en mi camino.

Que siga ardiendo la flama de la verdad. EyyAllah.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	10
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
1 INTRODUCCIÓN.....	15
2 ANTECEDENTES	17
2.1 Situación epidemiológica del dengue.....	17
2.2 <i>Aedes aegypti</i>	17
2.3 Métodos de vigilancia entomológica tradicionales.	18
2.4 Factores asociados a las poblaciones de mosquitos <i>Ae. aegypti</i>	22
2.5 Aplicaciones generales del uso de drones.	26
2.6 Drones para la vigilancia y control de mosquitos.	31
2.7 Fotogrametría y cartografía especializada.....	33
2.8 Legislación e inclusión comunitaria en el uso de drones.	35
3 JUSTIFICACIÓN	40
4 HIPÓTESIS	41
5 OBJETIVOS	42
5.1 Objetivo general.	42
5.2 Objetivos específicos.....	42
6 MATERIAL Y MÉTODOS.....	43
6.1 Objetivo específico 1.....	43
6.1.1 Área de estudio.....	43
6.1.2 Elaboración de cartografía especializada.	44
6.1.2.1 Sistema aéreo.....	44
6.1.2.2 Interfaz y sensores.	45
6.1.2.3 Planificación del vuelo.	46
6.1.2.4 Ejecución de sobrevuelos.	47
6.1.2.5 Obtención y procesamiento de imágenes aéreas.	49
6.1.2.6 Ortomosaicos y cartografía especializada.	51

6.1.2.7	Identificación de elementos del paisaje.....	55
6.1.3	Colección de datos y muestreos entomológicos.	55
6.2	Objetivo específico 2.....	58
6.2.1	Análisis de datos.	58
6.3	Objetivo específico 3.....	64
6.3.1	Descripción de las variables.....	64
6.3.1.1	Variables independientes.....	64
6.3.1.2	Variables dependientes o explicativas.....	65
6.3.2	Restricciones espaciales.....	65
6.3.3	Construcción del índice de riesgo de casa aérea.	67
6.3.4	Elaboración de mapas.	69
6.4	Objetivo específico 4.....	70
6.4.1	Determinación y desarrollo del estudio.....	70
6.4.1.1	Vigilancia terrestre o encuesta entomológica tradicional.....	71
6.4.1.2	Vigilancia aérea por medio de drones.	71
6.4.1.3	Determinación de la efectividad y prueba estadística.	72
6.4.2	Análisis de costo-efectividad.	73
7	RESULTADOS	75
7.1	Objetivo específico 1.....	75
7.1.1	Vuelos del dron.	75
7.1.2	Fotogrametría y cartografía.....	76
7.1.3	Entomología.....	85
7.1.3.1	Primer muestreo del 13 al 30 de agosto de 2019.....	86
7.1.3.2	Segundo muestreo del 19 al 05 de diciembre de 2019.....	91
7.2	Objetivo específico 2.....	98
7.2.1	Asociación entre variables.	98
7.3	Objetivo específico 3.....	104
7.3.1	Restricciones espaciales. Matriz de conectividad.	104
7.3.2	Índice de riesgo de casa aérea y generación de mapas.....	105
7.4	Objetivo específico 4.....	109
7.4.1	Vigilancia terrestre.....	109
7.4.2	Vigilancia aérea con drones.	111
7.4.3	Efectividad de la vigilancia aérea.	113

7.4.4	Análisis de Costo-Efectividad de la vigilancia aérea.....	116
7.4.4.1	Costos vigilancia terrestre.	116
7.4.4.2	Costos vigilancia aérea.....	118
7.4.4.3	Razón de Costo-Efectividad de la vigilancia aérea.	120
8	DISCUSIONES	122
8.1	Objetivo específico 1.....	122
8.2	Objetivo específico 2.....	127
8.3	Objetivo específico 3.....	132
8.4	Objetivo específico 4.....	137
9	CONCLUSIONES	144
10	VALORES Y PRODUCTOS AGREGADOS	146
11	PERSPECTIVAS.....	147
12	BIBLIOGRAFÍA	149
13	ANEXOS 1. Formatos de campo.	178
13.1	Consentimiento informado.....	178
13.2	Encuesta demográfica y condiciones de vivienda.	179
13.3	Encuesta para determinar el Índice de Calidad de la Vivienda (ICV).	181
13.4	Encuesta entomológica para adultos de <i>Ae. aegypti</i>	182
13.5	Encuesta entomológica para huevos, larvas y pupas de <i>Ae. aegypti</i>	183

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores entomológicos (métodos disponibles) y principales índices entomológicos para la vigilancia de <i>Ae. aegypti</i>	18
Tabla 2. Equipo de cómputo y sistema de coordenadas utilizado.....	47
Tabla 3. Descripción de las variables obtenidas de las encuestas de campo, fotografía aérea y cartografía especializada de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	58
Tabla 4. Descripción de las variables empleadas para generar el Índice de Riesgo de Casa Aélica.....	66
Tabla 5. Vuelos realizados con el dron Matrice 600 DJI ® en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	75
Tabla 6. Posición y orientación de las cámaras empleadas Zemmuse X5® en espectro visible o RGB y MicaSense® Red Edge MX o multispectral...	76
Tabla 7. Parámetros de las cámaras utilizadas durante los vuelos del dron.....	77
Tabla 8. Criaderos de <i>Ae aegypti</i> por categoría localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas del 13 al 30 de agosto de 2019.....	88
Tabla 9. Relación de estados inmaduros de <i>Ae aegypti</i> en criaderos localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 13 al 30 de agosto de 2019.	90
Tabla 10. Criaderos de <i>Ae aegypti</i> por categoría localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019.....	93
Tabla 11. Relación de estados inmaduros de <i>Ae aegypti</i> localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019.	96
Tabla 12. Coeficiente de correlación de Spearman entre los factores demográficos, socioeconómicos y ambientales con la abundancia de mosquitos <i>Ae. aegypti</i> (adultos, larvas y pupas) del primer muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Realizado del 13 al 30 de agosto de 2019...	98

Tabla 13. Coeficiente de correlación de Spearman entre los factores demográficos, socioeconómicos y ambientales con la abundancia de mosquitos <i>Ae. aegypti</i> (adultos, larvas y pupas) del primer muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Realizado del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019.....	100
Tabla 14. Variables empleadas en el modelo de regresión realizado.....	102
Tabla 15. Regresión binomial negativa para mosquitos y larvas de <i>Ae. aegypti</i> con valores significativos de z o t-test (<0.05) con altos y significativos coeficientes de regresión para adultos.....	103
Tabla 16. Criaderos positivos a larvas y pupas de <i>Ae. aegypti</i> por categoría de recipiente y por ubicación, en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.	110
Tabla 17. Relación de criaderos identificados por fotografía aérea en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	111
Tabla 18. Concordancia entre la vigilancia aérea y la vigilancia terrestre para identificar criaderos de <i>Ae. aegypti</i> en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	114
Tabla 19. Contenedores/recipientes detectados por dron (VA) y vigilancia terrestre (VT) como posibles criaderos de <i>Ae. aegypti</i> en la colonia El Vergel, Tapachula, México.....	115
Tabla 20. Número de viviendas con al menos un recipiente o contenedor como posible criadero de <i>Ae. aegypti</i> detectado por el dron (VA) y vigilancia terrestre (VT) en 216 viviendas de la colonia El Vergel, Tapachula, México.....	116
Tabla 21. Relación de costos en la vigilancia operativa tradicional del programa de vigilancia y control de vectores Distrito Sanitario VII, de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	117
Tabla 22. Razón de costo-efectividad de la vigilancia terrestre tradicional.....	117
Tabla 23. Relación de costos de la vigilancia aérea realizada por medio de drones, en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	119
Tabla 24. Razón de costo-efectividad de la vigilancia aérea por medio de drones...	120

Tabla 25. Razón de costo-efectividad incremental de la vigilancia aérea (intervención nueva) versus la vigilancia terrestre (práctica actual, estándar o control).....	121
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio. Mapa de la Ciudad de Tapachula, ubicada en la región Soconusco del estado de Chiapas, con la localización de la colonia El Vergel, al norte de la ciudad (izquierda). Colonia El Vergel, con la ubicación de las casas encuestadas (derecha).....	43
Figura 2. Drone Matrice 600 DJI ® utilizado en este estudio.....	45
Figura 3. Calibración de la cámara MicaSense® por parte de personal de CENAPRED (izquierda), instrucciones para calibración (derecha).....	46
Figura 4. Protocolo para la planificación/planeación del vuelo del drone (CENAPRED, Secretaría de Seguridad, Gobierno de México)	48
Figura 5. Protocolo de ejecución de vuelo del drone (CENAPRED, Secretaría de Seguridad, Gobierno de México)	50
Figura 6. Procedimiento para la elaboración de la cartografía utilizada en el presente estudio.....	53
Figura 7. Árbol de decisión para la elección de estudios económicos. Tomado de Van den Boom 2022.....	70
Figura 8. Drone Phantom 4 Pro DJI ® utilizado en el presente objetivo.....	71
Figura 9. Ruta y proyecto de vuelo del drone utilizando la aplicación Pix4D®.....	76
Figura 10. Ortomosaico y el modelo de superficie digital disperso correspondiente antes de la densificación. Cámara X5 de espectro visible. Tomado del reporte generado con Pix4Dmapper vs 4.3.	77
Figura 11. Ortomosaico y el modelo de superficie digital disperso correspondiente, antes de la densificación. Tomado del reporte generado con Pix4Dmapper vs 4.3.31. Cámara MicaSense® RedEdge multiespectral.....	78
Figura 12. Detalles del ortomosaico RGB realizado de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	78
Figura 13. Mosaico georreferenciado en espectro visible de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. con 2.5 mm de resolución espacial.....	79
Figura 14. Ortomosaico con clasificación supervisada de la vegetación presente en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	79

Figura 15. Mosaico georreferenciado en espectro visible con identificación de las viviendas de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	80
Figura 16. Modelo Digital de Terreno y Curvas de Nivel (10 m) de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.	81
Figura 17. Modelo Digital de Superficie de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas...	81
Figura 18. Ortomosaico con clasificación de la vegetación para definir altura y radio aproximado de los árboles en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	82
Figura 19. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	83
Figura 20. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	83
Figura 21. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada RedEdge (NDVIRE) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	84
Figura 22. Índice de Clorofila (CIGreen) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	85
Figura 23. Encuestas domiciliarias en la Colonia El Vergel, municipio de Tapachula, Chiapas.....	85
Figura 24. Búsqueda y registro de criaderos larvarios de <i>Ae. aegypti</i> en peridomicilio.	87
Figura 25. Mosquitos <i>Ae. aegypti</i> colectados durante el primer muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 13 al 30 de agosto de 2019. En color azul se representan los mosquitos macho y en color gris los mosquitos hembra.	91
Figura 26. Criadero de larvas y pupas de <i>Ae. aegypti</i> con presencia de huevos y mosquitos adultos.....	92
Figura 27. Búsqueda y colecta de mosquitos adultos de <i>Ae. aegypti</i> en el interior de las viviendas.....	95
Figura 28. Mosquitos <i>Ae. aegypti</i> colectados durante el segundo muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019. En color azul se representan los mosquitos macho y en color gris los mosquitos hembra.	97
Figura 29. Ejemplo del contraste en la obtención de los indicadores Sombra del 102Patio (encuestas domiciliarias), Sombra Drone y Cobertura Vegetal	

(Foto aérea/cartografía especializada RGB): a) Sombra del Patio 1 (Menor a 25%) y Sombra Drone (Mayor a 50%) y b) Sombra del Patio 1 (Menor a 25%) y Cobertura Vegetal (Mayor a 50%)	97
Figura 30. Análisis de Kernel de valores multiespectrales de: a) NDVI y b) NDVIRE en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	102
Figura 31. 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.....	104
Figura 32. Índice de riesgo para <i>Ae. aegypti</i> “Casa aérea” para: a) Larvas, b) Pupas, c) Mosquitos y d) Todos los estados de <i>Ae. aegypti</i> . de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	105
Figura 33. Mapa del Índice de Riesgo “Casa aérea” para: a) Larvas, b) Pupas, c) Mosquitos y d) Todos los estados de <i>Ae. aegypti</i> en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	107
Figura 34. 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 segundo muestreo.....	108
Figura 35. Gráfica de barras del número de criaderos larvarios de <i>Ae. aegypti</i> utilizando vigilancia terrestre y vigilancia aérea en viviendas de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.....	112
Figura 36. Identificación de recipientes, criaderos potenciales de <i>Ae. aegypti</i> , en las viviendas de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Peridomicilio (Izquierda) y Techos (Derecha): a) Recipientes de plástico desechable, b) Balde o cubeta, c) Tanque, d) Maceta, 2. Techo: e) Tinaco, f) Llanta y g) Otros.....	113

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

VANT	Vehículo aéreo no tripulado.
RPAS	Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia del inglés Remote Piloted Aircraft System.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
CENAPRECE	Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades.
DGE	Dirección General de Epidemiología.
INSP	Instituto Nacional de Salud Pública.
CENIDSP	Centro de Información para Decisiones en Salud Pública.
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres.
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil.
CIMAT	Centro de Investigación en Matemáticas.
CIIIA	Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica.
PLISA	Plataforma de Información en Salud para las Américas.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática.
AGEB	Áreas Geoestadísticas Básicas.
ICV	Índice de Condición de la Vivienda.
ICV ₂	Índice de Condición de la Vivienda Modificado.
SIG	Sistemas de Información Geográfica.
GNSS	Sistema Global de Navegación por Satélite, del inglés Global Navigation Satellite System.

GPS	Sistema de Posicionamiento Global, del inglés Global Positioning System.
GLONNAS	Sistema Global de Navegación por Satélite del ruso Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya.
CMOS	Semiconductor Complementario de Óxido Metálico, del inglés Complementary Metal Oxide Semiconductor.
DMS	Distancia de la muestra del suelo.
GNU	Sistema operativo de tipo Unix.
UTM	Universal Transversal de Mercator, del inglés Universal Transverse Mercator.
LiDAR	Sistema de medición y detección de objetos mediante láser, del inglés Light Detection and Ranging.
RADAR	Sistema electrónico de localización, del inglés Radio Detecting and Ranging.
IMU	Unidad de Medida Inercial, del inglés Inertial Measurement Unit.
RGB	Bandas del espectro rojo, verde y azul, del inglés Red, Green and Blue.
NIR	Infrarrojo cercano, del inglés Near-Infrared.
MDT	Modelo Digital de Terreno.
MDS	Modelo Digital de Superficie.
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, del Inglés Normalized Difference Vegetation Index.
GNDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde del inglés Green Normalized Difference Vegetation Index.
NDVIR _e	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada RedEdge del inglés Normalized Difference Vegetation Index RedEdge.
CIGreen	Índice de Clorofila del inglés Chlorophyll Index – Green.
PLS	Regresión de mínimos cuadrados parciales, del inglés Partial Least Squares regression.
VT	Vigilancia terrestre.

VA	Vigilancia aérea.
TIFF	Formato de archivo de imágenes con etiquetas del inglés Tagged Image File Format.
JPEG	Formato de archivo de imagen fotográfica del inglés Joint Photographic Experts Group.
RCA	Razón de costo-efectividad.
RCEI	Razón de costo-efectividad incremental.

RESUMEN

Nuestro objetivo general fue el evaluar el uso de drones para identificar áreas de riesgo asociadas a poblaciones de *Aedes aegypti* en áreas de transmisión de dengue de la ciudad de Tapachula, Chiapas. En la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, en los meses de agosto y noviembre de 2019, se utilizaron drones comerciales a 30m y 100m de altura respectivamente, bajo los protocolos de CENAPRED siguiendo la NOM-107-SCT3-2019. Simultáneamente, en visitas domiciliarias, se obtuvieron datos entomológicos, sociodemográficos, Índice de Condición de la Vivienda e Índice de Condición de la Vivienda modificado y el número de larvas, pupas y mosquitos de *Ae. aegypti*. Se obtuvieron fotografías aéreas de alta resolución y cartografía especializada en espectro visible y multispectral, donde se obtuvo la cobertura vegetal, de sombra y los índices de vegetación NDVI, NDVIRE, GNDVI y CIGreen. Se evaluó la asociación de las variables independientes obtenidas con las variables entomológicas (dependientes o explicativas). Asimismo, mediante las variables obtenidas y la distribución geográfica de las viviendas, se construyó un modelo para determinar el índice de riesgo de “casa aérea” por medio de una metodología basada en mínimos cuadrados parciales. Se realizó un análisis de costo-efectividad de la vigilancia aérea por medio de drones y la vigilancia operativa tradicional. Los valores medios y altos de los índices de vegetación NDVIRE ($p < 0,05$) y NDVI ($p < 0,05$) se asociaron con la cantidad de mosquitos adultos por vivienda. En cuanto al índice de riesgo, los resultados muestran un patrón espacial de viviendas de bajo riesgo en el centro de la colonia El Vergel y que aumenta hacia la periferia. Esta metodología permite adaptar el modelo a diferentes regiones de nuestro país, debido a la disponibilidad de información en tiempo real proporcionada por drones. Finalmente, la concordancia entre el drone (vigilancia aérea) y la vigilancia terrestre fue del 64.9% en detectar la presencia de algún contenedor (criadero potencial) por parte de ambos métodos. Los drones pudieron identificar 1 contenedor por cada 2.8 encontrado por vigilancia terrestre. Aunque el uso de drones no resultó ser costo-efectivo en comparación con la vigilancia terrestre, indudablemente mejoraría la vigilancia de *Aedes aegypti* en entornos domésticos como un complemento para fortalecer las actividades del programa operativo en el país.

ABSTRACT

Our general objective was to evaluate the use of drones to identify risk areas associated with *Aedes aegypti* populations in areas of dengue transmission in Tapachula, Chiapas. In the El Vergel neighborhood, Tapachula, Chiapas, in August and November 2019, commercial drones were used at 30m and 100m height, respectively, under CENAPRED protocols following NOM-107-SCT3-2019. Simultaneously, in-home visits, entomological and sociodemographic data, Premise Condition Index and modified Premise Condition Index, and the number of larvae, pupae, and mosquitoes of *Ae. aegypti*. High-resolution aerial photographs and specialized cartography in the visible and multispectral spectrum were obtained, where the vegetation cover, shade, and the NDVI, NDVIRE, GNDVI, and CIGreen vegetation indices were obtained. The association of the independent variables obtained with the entomological variables (dependent or explanatory) was evaluated. Likewise, through the variables obtained and the geographical distribution of the dwellings, a model was built to determine the risk index of "aedic house" through a methodology based on partial least squares. A cost-effectiveness analysis of aerial surveillance using drones and traditional operational surveillance was performed. Medium and high values of the NDVIRE ($p < 0.05$) and NDVI ($p < 0.05$) vegetation indices were associated with the number of adult mosquitoes per dwelling. Regarding the risk index, the results show a spatial pattern of low-risk dwellings in the downtown of the El Vergel neighborhood that increases towards the periphery. This methodology allows the model to be adapted to different regions of our country due to the availability of real-time information provided by drones. Finally, the agreement between the drone (aerial surveillance) and the ground surveillance was 64.9% in detecting the presence of a container (potential breeding site) by both methods. The drones were able to identify 1 container for every 2.8 found by ground surveillance. Although the use of drones did not prove to be cost-effective compared to ground surveillance, it would undoubtedly improve the surveillance of *Ae. aegypti* in domestic settings as a complement to strengthen the activities of the national operational program.

1 INTRODUCCIÓN

Se estima que cerca del 60% del territorio nacional presenta condiciones que favorecen la transmisión de las ETV, aunado a lo anterior y paulatinamente, aumentan los lugares con presencia de mosquitos vectores, donde en el pasado, debido a las condiciones climáticas y/o altitud, éstos no se encontraban (CENAPRECE 2022). En la frontera sur del país existen las condiciones propicias para que se presenten y propaguen las Enfermedades Transmitidas por Vector, como un clima tropical, vectores transmisores, pobreza, acceso deficiente a servicios públicos de salud y educación, así como un importante flujo migratorio, de manera tal que representa un enorme reto el determinar los escenarios donde éstas se presentan.

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT), mejor conocidos como drones, ofrecen la posibilidad de recopilar información espacial detallada en tiempo real a un costo relativamente bajo, dentro de la epidemiología de las enfermedades infecciosas y la investigación en salud pública, pueden proporcionar datos espaciales y temporales precisos para comprender los vínculos entre la transmisión de la enfermedad y los factores ambientales; su uso evita muchas de las limitaciones asociadas con los datos de satélite, por ejemplo, tiempos de repetición largos, contaminación de la nube, baja resolución espacial, falta de homogeneidad en el ángulo de la cámara u horario de la toma (Nex y Remondino 2014). Para la investigación de la epidemiología de las enfermedades infecciosas y la salud pública, los drones pueden proporcionar datos precisos críticos desde el punto de vista espacial y temporal para comprender los vínculos entre la transmisión de enfermedades y los factores ambientales (Fornace *et al.* 2014; Hardy *et al.* 2017; Eskandari *et al.* 2020; Rojas-Viloria *et al.* 2020). En cuanto a la vigilancia de mosquitos, usando drones se pueden recolectar imágenes aéreas que luego son analizadas para identificar y mapear sitios de cría, estas imágenes se pueden agregar en mapas precisos para apoyar la aplicación de medidas de vigilancia y control y/o se pueden usar en materiales de comunicación para demostrar las condiciones de riesgo específicas para un área determinada (Landau *et al.* 2012).

Debido a la importancia de evaluar el uso de nuevas tecnologías en la vigilancia aérea de factores que propician el incremento de mosquitos vectores en el contexto urbano, en la presente tesis nos planteamos las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son los factores ambientales, del paisaje, cobertura del suelo, demográficos y socioeconómicos que tienen una estrecha relación con la abundancia de mosquitos adultos de *Ae. aegypti*?, ¿La fotografía aérea de alta definición mediante el uso de drones es una herramienta que coadyuvará a determinar las zonas que son condicionantes a la presencia de mosquitos adultos de *Ae. aegypti*? ¿Es costo-efectivo el emplear esta técnica como un diagnóstico preciso para dirigir de manera oportuna las acciones de prevención y control de mosquitos? Como investigación operativa a resolver requerimos implementar el uso de drones y su tecnología en zona urbana para la obtención de fotografías aéreas a fina escala para detectar las áreas de riesgo de presencia de mosquitos *Ae. aegypti* con generación de mapas de riesgo.

Por todo lo anterior, este estudio se basa en: 1. El uso de drones de última generación para la obtención de fotografía aérea de alta resolución en el espectro visible y multiespectral para determinar la cobertura vegetal, tipo de vegetación y presencia de criaderos que se relacionan con la abundancia y distribución de los mosquitos *Ae. aegypti* en entornos urbanos, 2. La obtención de datos demográficos y sociodemográficos a través de la aplicación de encuestas al interior de las viviendas, determinación del Índice de Condición de la Vivienda (ICV) e Índice de Condición de la Vivienda modificado (ICV₂) en las mismas áreas de muestreo, 3. La asociación de los factores antes mencionados con los indicadores larvarios y pupales de *Ae. aegypti* y con la presencia de mosquitos adultos, a nivel vivienda, 4. La realización de mapas de riesgo a la presencia de *Ae. aegypti* en base a las estimaciones realizadas y 5. La realización de un análisis de costo efectividad de la estrategia de vigilancia aérea vs la vigilancia tradicional que realiza el programa operativo.

2 ANTECEDENTES

2.1 Situación epidemiológica del dengue.

Los virus transmitidos por *Aedes* (Dengue, chikungunya y zika) se han convertido en una de las principales fuentes de morbilidad en las zonas urbanas. En todo el mundo, la respuesta del personal de salud pública a estos virus es reactiva a la ocurrencia de casos sintomáticos (una pequeña proporción de todas las infecciones). El dengue es una de las más comunes enfermedades virales transmitidas por mosquitos (Huy *et al.* 2013, Shepard *et al.* 2016; Messina *et al.* 2019) y ha crecido dramáticamente, con aproximadamente la mitad de la población mundial en riesgo. Aunque se estima que cada año se producen entre 100 y 400 millones de infecciones, más del 80 % son generalmente leves y asintomáticas; muchos casos también se diagnostican erróneamente como otras enfermedades febriles (OMS 2022). En la Región de las Américas, los cuatro serotipos de dengue (DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DEN-V 4) circulan y, en algunos casos, circulan simultáneamente. Actualmente cerca de 500 millones de personas están en riesgo de contraer dengue. En esta región durante 2021, se confirmaron 521.923 casos de dengue, 3,271 fueron casos graves y se reportaron 436 muertes (PLISA 2022), Al cierre de 2021, en México se reportaron 6,746 casos confirmados de dengue, con 300 casos de dengue grave y 39 defunciones (DGE 2021). En la SE 44 de 2022 se confirmaron 1,273,484 en las Américas, 3,929 fueron casos graves y 1,150 defunciones (PLISA 2022); para nuestro país, se han confirmado 9,745 casos, 308 de dengue grave y 29 defunciones (DGE 2022).

2.2 *Aedes aegypti*.

Aedes (*Stegomyia*) *aegypti* es un mosquito cosmopolita que se encuentra especialmente en las latitudes 35° N y 35° S. En las Américas, *Ae. aegypti* es el principal mosquito vector del dengue (Ibañez-Bernal y Gómez-Dantes 1995), y se encuentra ampliamente distribuido en todo el territorio (Lwande *et al.* 2019; Iwamura *et al.* 2020; Kraemer *et al.* 2015); solo Canadá y Chile continental están libres de dengue y del vector, Uruguay no tiene casos de dengue, pero si tiene presencia de *Ae. aegypti* (OPS 2022). Recientemente, se reportó la presencia de *Ae. aegypti* en la Ciudad de México (Dávalos-Becerril *et al.* 2019; Mejía-Guevara *et al.* 2020).

2.3 Métodos de vigilancia entomológica tradicionales.

La vigilancia entomológica tradicional realizada en los domicilios por el Programa de Control de Vectores en México, se realiza mediante la determinación de los índices entomológicos: Índice de casas positivas, índice de recipientes positivos e índice de Breteau (Tun Lin *et al.* 1995b), éstos indicadores han demostrado tener poca relación con las densidades de adultos y en algunas situaciones sus valores no están asociados con la presencia de casos en la localidad (Tun-Lin *et al.* 1996; Focks y Chadee 1997; Espinoza-Gómez 2001; Bowman *et al.* 2014; Garjito *et al.* 2020, Saleh *et al.* 2020). De 2008 a la fecha, el programa nacional ha incorporado los indicadores pupales como el índice de pupas e índice de casa positiva a pupas (Focks 2004), asimismo, otros indicadores mediante el uso de ovitrampas, como el porcentaje de ovitrampa positiva, promedio de huevos por ovitrampa, de huevos por manzana, manzanas positivas y porcentaje de manzanas positivas a huevos de *Ae. aegypti* (Norma de Vectores 2014). Los métodos de muestreo tradicionales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Indicadores entomológicos (métodos disponibles) y principales índices entomológicos para la vigilancia de *Ae. aegypti*.

Método de vigilancia	Utilidad	Ventajas	Desventajas	Principales indicadores entomológicos
Muestreos con ovitrampas	Proveen información sobre la distribución espacial (presencia/ ausencia y agregación) y temporal (fluctuación) de mosquitos hembra.	Económicas. Operadas con poco personal con amplia cobertura en poco tiempo.	Compiten en forma desventajosa con los criaderos existentes, que pueden ser más atractivos, y pueden dar información errónea.	Índice de ovitrampas positivas (IOP): Número de casas con ovitrampas positivas a <i>Aedes</i> por cada 100 casas.
	Monitoreo de la infestación/ reinfestación en áreas libres del vector o de baja transmisión.	Poco intrusivas. Requieren poco mantenimiento.	La relación respecto a la abundancia de adultos no es clara	Índice de huevos por ovitrampa (IHO): Tasa de ovipostura de <i>Aedes</i>
	Evaluación de intervenciones basadas en el control de adultos.	Son altamente sensibles para monitorear el impacto de las intervenciones de control		
	Proveen material para establecer colonias y realizar estudios de susceptibilidad/ resistencia a insecticidas y/o búsqueda de virus.			

Tabla 1. Indicadores entomológicos (métodos disponibles) y principales índices entomológicos para la vigilancia de *Ae. aegypti*. *Continuación*.

Método de vigilancia	Utilidad	Ventajas	Desventajas	Principales indicadores entomológicos
Muestreos larvarios	Conocer los niveles de infestación (casas y abundancia de criaderos en un universo dado) anteriores a la aplicación de las medidas de control y el impacto de estas, en particular las de control de criaderos con saneamiento específico y/o uso de larvicidas químicos o biológicos.	Son las medidas más usadas (y en muchos casos las únicas) para describir el grado de infestación por <i>Ae. aegypti</i> . Proporcionan información sobre los hábitats larvarios más abundantes	Dependen de la localización visual de los contenedores en el ambiente doméstico y rara vez se aplican en otros ambientes o espacios públicos, lo que limita la identificación de criaderos crípticos importantes.	Índice de casas positivas (ICP): Número de casas con <i>Aedes</i> inmaduros por cada 100 casas. Índice de recipientes positivos (IRP): Número de recipientes con larvas de <i>Aedes</i> por cada 100 recipientes con agua. Índice larvario de Breteau (IB): Número de recipientes con <i>Aedes</i> inmaduros por cada 100 casas.

Tomado de Documento técnico para la implementación de intervenciones basado en escenarios operativos genéricos para el control del *Aedes aegypti*. OPS, 2019.

Asimismo, la Dirección del Programa de Control de Vectores del CENAPRECE y la Dirección de Geografía Médica/CENIDSP/Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) diseñaron en 2008, la Plataforma Nacional de Vigilancia Entomológica y Control Integral del Vector, ahora llamado Sistema Integral para el monitoreo del Vector (<http://geosis.mx/aplicaciones/sismv/>) que se utiliza por todos los programas estatales de control de Dengue, Chikungunya y Zika; la cual fue creada con el objetivo de proporcionar los detalles geográficos necesarios para planificar y evaluar el impacto de las actividades de control y su costo-efectividad, promoviendo el uso de información para la toma de decisiones en todos los niveles del programa de control de vectores. Este sistema está basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la vigilancia del dengue y la experiencia adquirida durante su desarrollo e implementación podría ser útil en otros países endémicos del dengue (Hernández Ávila *et al.* 2014).

Actualmente, en la mencionada plataforma, se determinan estimaciones de riesgo basadas en el número de huevos obtenido a través de ovitrampas (número de huevos por manzana) y los casos probables reportados a la Dirección General de Epidemiología (DGE), el cual se presenta en cuatro categorías: Alto Riesgo (AR), Moderado Alto Riesgo (MAR), Moderado Bajo Riesgo (MBR) y Bajo Riesgo (BR) (Guías metodológicas Programa Dengue CENAPRECE). Sin embargo, cabe mencionar que las ovitrampas se colocan distribuidas en toda la zona urbana o por zonas donde por diversos factores, como la reciente pandemia de COVID 19, se interrumpe su lectura, el resultado es una subestimación del riesgo y acciones dispersas de vigilancia y control del vector. Por todo lo anterior, es necesario comprender los factores que condicionan la presencia, distribución y concentración de los mosquitos en entornos urbanos donde pueden causar brotes y epidemias.

Existe amplia evidencia científica de indicadores que realizan estimaciones de riesgo a la presencia de mosquitos mediante la medición de características de la vivienda y presencia/ausencia de criaderos del vector, como el Índice de Condición de la Vivienda (Premise Condition Index PCI en inglés) (Tun Lin *et al.* 1995a) y el índice Maya (IM), respectivamente (Scott y Morrison 2010; Miller *et al.* 1992, Danis Lozano *et al.* 2002). El índice de condición de la vivienda es un indicador ampliamente utilizado que se propuso como una herramienta de evaluación rápida que incrementa la eficacia para detectar casas positivas a presencia de larvas o pupas de mosquitos por un 270 a 370% (Tun Lin *et al.* 1995a) y permite analizar las características idóneas para la reproducción y refugio de los mosquitos.

El Índice de Condición de la Vivienda (ICV) está construido a través de la conjunción de tres variables: 1) La condición o mantenimiento de la casa (oquedades, mosquiteros, puertas, ventanas y presencia de recipientes con agua), 2) La limpieza y 3) La sombra proyectada en el patio. Utilizando este indicador se determinó que el grado de sombra en las viviendas y el desorden en el patio se correlacionan con las encuestas larvarias positivas y con el número de contenedores infestados de larvas y pupas (Tun Lin *et al.* 1995a, Manrique-Saide *et al.* 2014, Hustedt *et al.* 2020); este índice tiene una

modificación, el índice de Condición de la Vivienda modificado, que sólo toma en cuenta la limpieza y la sombra proyectada por la vegetación en el patio (PCI₂) (Tun-Lin *et al.* 1995a; Moloney *et al.* 1998). Por otra parte, el Índice Maya (IM) es un indicador construido a partir de una matriz de 3x3 donde se combina la presencia de contenedores artificiales controlables (criaderos) y desechables, estima el riesgo de las viviendas basándose en la presencia de los contenedores asignándoles categóricamente tres niveles de riesgo: alto, mediano y bajo (Miller *et al.* 1992).

Se han propuesto indicadores no entomológicos, como la distribución y densidad de las poblaciones humanas, las condiciones socioeconómicas, de vivienda y de servicios públicos, el clima, etc. para medir la vulnerabilidad de un área o región geográfica a la transmisión de virus por *Ae. aegypti*. Al igual que con los indicadores entomológicos, la sensibilidad y especificidad de los índices de vulnerabilidad no han sido validadas epidemiológicamente. Además, pueden variar entre áreas geográficas de un país, según las diferentes condiciones que definan el riesgo de transmisión de virus (OPS 2019). Es de suma importancia evaluar indicadores de diversas fuentes en zonas de alta vulnerabilidad del país y zonas fronterizas.

Los programas de control de vectores no utilizan métodos "únicos". Las innovaciones deben considerarse complementarias, las intervenciones tradicionales y/o nuevas de mayor complejidad se puede implementar de forma proactiva utilizando un enfoque de estratificación de riesgos de mayor cobertura en áreas prioritarias. Se deben anticipar complicaciones en el seguimiento y evaluación, ya que hay poca evidencia y experiencia. Otros requisitos básicos para la adopción de innovaciones tecnológicas incluyen un reglamento o marco legislativo para su uso en salud pública (medio ambiente, bioseguridad y bioética); siguiendo un conjunto de Protocolos y Cartera relacionados con seguridad, control de calidad, eficacia, y así sucesivamente; y la integración necesaria con los programas locales de control de vectores, incluyendo acuerdos / aceptación por instituciones y comunidades. En términos de requisitos administrativos y financieros, todavía se debe resolver si estas innovaciones tecnológicas pueden ser adquiridos bajo la estructura presupuestaria actual (como un producto o servicio). Con el fin de implementar

más rápidamente las nuevas tecnologías, necesitamos desarrollar un modelo de implementación a medio y largo plazo y un plan de financiamiento, logística de producción, distribución, seguimiento y evaluación con asociaciones público-privadas (OPS 2019, Dantés *et al.* 2020).

2.4 Factores asociados a las poblaciones de mosquitos *Ae. aegypti*.

Comprender la dinámica espacial de las poblaciones de mosquitos y cómo los factores ambientales afectan a su abundancia y distribución, es central para prevenir brotes de enfermedades, ya que permite identificar las áreas prioritarias para la vigilancia de patógenos y el control vectorial (Ferreguti *et al.* 2015). La cobertura terrestre tiene una gran influencia sobre la presencia de mosquitos y la distribución de los vectores y es fuertemente gobernada por factores ambientales que crean hábitats adecuados (Kolivas 2006; Orta-Pineda *et al.* 2021). Asimismo, la transformación del paisaje antropogénico tiene un efecto importante en la transmisión, sin embargo, los efectos de la urbanización en las poblaciones de mosquitos son poco conocidos (Ferreguti *et al.* 2015).

Se ha demostrado que la vegetación se asocia con los criaderos de diferentes especies de mosquitos vectores de paludismo como *Anopheles albimanus* (Savage *et al.* 1990; Rejmankova *et al.* 1992; Rodríguez *et al.* 1996) y *An. pseudopunctipennis* (Fernández-Salas *et al.* 1994) y se ha documentado el uso de sensores remotos y sistemas de información geográfica para el análisis de factores asociados a la transmisión del paludismo (Pope *et al.* 1994; Beck *et al.* 1994; Beck *et al.* 1997; Rogers *et al.* 2002).

Trasladándonos al momento actual del ecosistema urbano, el techo verde, un componente cada vez más común de la infraestructura verde urbana, puede proporcionar múltiples ecosistemas, mitigación al cambio climático y desafíos a las islas de calor urbano, su adopción ha sido cuestionada por una preconcepción de que éstos atraen plagas urbanas como los mosquitos, a medida que más ciudades se vuelven vulnerables para las enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes transmitidas por mosquitos, la brecha de conocimiento debe ser cubierta. Se han realizado diferentes estudios para determinar la preferencia de hábitat de los mosquitos vectores a los techos verdes,

encontrando que no son particularmente preferidos por los mosquitos vectores locales en comparación con los techos desnudos y otras zonas urbanas (Wong y Jim 2016). Estos hallazgos requieren una mejor comprensión de la ecología del vector en diversos paisajes urbanos para mejorar la eficacia del control de enfermedades en medio de la creciente urbanización y el cambio climático (Campbell 2015; Wong y Jim 2016).

Los parámetros de microclima ambiental concurrentes se midieron en estos sitios, identificando sistemáticamente a la temperatura y la velocidad del viento como factores significativos. La velocidad del viento representó las diferencias en la abundancia de mosquitos entre los diferentes sitios, mientras que la temperatura ejerció su efecto sobre la abundancia, principalmente a través de la variación estacional. Contrariamente a la concepción común, los techos verdes tuvieron una abundancia de vectores significativamente menor en comparación con los controles (Wong y Jim 2017).

Los mosquitos urbanos presentan una distribución espacial heterogénea en el entorno construido caracterizado por infraestructura verde. Los hallazgos determinan que los techos verdes elevados no son particularmente preferidos por los mosquitos. Los datos sugieren que diferentes tipos de infraestructura verde urbana puede estar asociada con diversos grados de uso del hábitat dependiendo de la calidad y la disponibilidad de recursos de este (Wong y Jim 2018).

Se realizó una revisión cuyo objetivo fue analizar los modelos de distribución espacio-temporal en poblaciones de mosquitos *Aedes* y sus factores influyentes, se utilizaron cinco bases de datos de búsqueda electrónica: PubMed, MEDLINE, EMBASE, Scopus y Google Scholar hasta el 17 de mayo de 2017 y se identificaron 21 estudios publicados relevantes que resaltan diferentes combinaciones de metodologías, modelos y factores influyentes, solo unos pocos estudios adoptaron un enfoque integral que destaca la interacción entre el medioambiente, sistemas meteorológicos y topográficos. Los artículos seleccionados mostraron hallazgos inconsistentes en términos de número y tipo de factores influyentes que afectan la distribución de los mosquitos vectores, siendo atribuido a: (i) disponibilidad limitada de datos de alta resolución para variables físicas;

(ii) variación en métodos de muestreo, comportamiento de alimentación y oviposición; (iii) colinealidad de datos y distribución estadística de datos observados. Esta revisión destaca la necesidad y prepara el escenario para un enfoque riguroso de modelado multisistema para mejorar nuestro conocimiento sobre la presencia y abundancia de *Aedes* spp. dentro de su rango de vuelo en respuesta a la interacción entre el medio ambiente y sistemas meteorológicos (Sallam *et al.* 2017).

Tradicionalmente, se utilizaba la fotografía satelital para realizar el análisis espacial de los factores que condicionan la presencia de mosquitos vectores, principalmente del género *Anopheles* spp (Byrne *et al.* 2021; Ohemeng y Mukherjee 2015); sin embargo, para *Aedes aegypti*, los entornos urbanos son más complejos y las fotografías aéreas requieren más resolución entre otros factores.

Dos décadas atrás, se evaluó el uso de la fotografía aérea satelital como una herramienta de vigilancia para identificar a gran altura los sitios de reproducción y reposo de *Aedes aegypti* en áreas residenciales, comparado con la aplicación del Índice de Condición de la Vivienda modificado (PCI2) (Tun-Lin *et al.* 1995a, 1995b), como una técnica de evaluación rápida al interior de las viviendas. Los valores de PCI2 se estimaron a partir de la interpretación de la fotografía aérea infrarroja y en el espectro visible 1:3.000 para las mismas áreas, encontrándose lo siguiente: 1) Los niveles de sombra pueden ser precisos, identificados a partir de imágenes en color e infrarrojos y el PCI2 se puede identificar con precisión a partir de fotografías infrarrojas, 2) Utilizar las imágenes en el espectro infrarrojo permite una diferenciación más precisa entre tipos estructurales de vegetación tales como árboles, arbustos y césped, 3). Las condiciones del patio no pueden identificarse con precisión desde cualquier tipo de fotografía aérea debido a la resolución espacial de la fotografía, que no pudo delinear los artículos más pequeños, asimismo las fotografías no son completamente verticales por lo que la sombra ocultó gran parte del desorden del jardín y los vuelos para las tomas aéreas no pudieron ser en los mismos horarios, tomando la fotografía de espectro visible a las 8:30 am en comparación a las de espectro infrarrojo a las 10 am, dando como resultado sombras más largas y por lo tanto, áreas más grandes que permanecen invisibles ocultando grandes detalles del patio.

Finalmente, se determinó que la debilidad de la fotografía aérea utilizada como predictor de la prevalencia de los sitios de cría de *Ae. aegypti* y abundancia de criaderos, se debió principalmente a la incapacidad para identificar con precisión las condiciones del patio (Moloney *et al.* 1998).

Dado que no hubo diferencia estadística entre las encuestas en las viviendas y la utilización del espectro infrarrojo para determinar el indicador PCI₂, la vigilancia aérea para *Ae. aegypti* mediante la identificación de sus sitios de cría tiene potencial. Para mejorar la vigilancia aérea de los componentes de la condición del patio, se propuso utilizar una imagen a mayor escala y/o una imagen tomada más cerca de mediodía, lo que reduciría el sombreado; además, las tecnologías multispectrales y de microondas no se aplicaron en este estudio, lo que puede facilitar un mejor reconocimiento de los componentes del índice de condición de casa (Moloney *et al.* 1998).

Se comparó la abundancia de mosquitos con dieciséis variables de cubierta terrestre derivadas de datos multispectrales de NAIP de 2010 y LiDAR de 2008. Las variables se extrajeron por cinco zonas de amortiguación (10-50 m de radio a intervalos de 10 m. alrededor de los sitios de atrapamiento y se realizó una regresión para determinar la mejor escala para la observación y las variables de cobertura del suelo; se determinó que el buffer de 30 m de radio es el mejor para observar la relación entre la cobertura terrestre y la abundancia de mosquitos *Aedes*, la presencia de *Ae aegypti* se asoció positivamente con la estructura y la altura media de los árboles y presentó una asociación negativa con la tierra desnuda; asimismo, la presencia de *Culex quinquefasciatus* se asoció positivamente con el pavimento y árboles de altura media y negativamente con los arbustos; estos hallazgos enfatizan la vegetación, superficies impermeables y la influencia del suelo con la presencia de mosquitos en un entorno urbano. Por último, mediante la relación de la cubierta terrestre y la abundancia de mosquitos se realizaron mapas de riesgo de presencia estacional que destacaron áreas de alto riesgo, las cuales pueden ser útiles para enfocar las acciones del programa de control de mosquitos (Landau *et al.* 2012).

Utilizando información de vigilancia pasiva geocodificada de casos históricos de DENV, se determinó una marcada superposición espacio-temporal con los casos de dengue, chikungunya y zika, lo cual enfatiza el valor de utilizar esta información para hacer predicciones de posibles fuentes de invasión para otros virus transmitidos por *Aedes*, así como la consideración de enfoques espacialmente orientados a la vigilancia entomológica y control de vectores en entornos urbanos complejos (Bisanzio *et al.* 2018).

Para maximizar el efecto de las acciones de control de vectores, las áreas con números persistentemente altos de casos de enfermedades transmitidas por *Aedes* podrían ser identificados y priorizados para intervenciones preventivas, para lo cual se identificaron hotspots en nueve ciudades endémicas del sur de México con una alta carga de casos de dengue en un período de diez años. La estadística se aplicó a segmentos anuales del conjunto de datos de casos de dengue, zika y chikungunya para identificar puntos críticos espaciales de cada enfermedad en cada ciudad. Se obtuvo una superposición entre focos del 61.7% para dengue y zika y 53.3% para dengue y chikungunya. Los focos de dengue en 2008-16 fueron significativamente asociados con los focos de dengue detectados durante 2017–20 en cinco de las nueve ciudades. Este estudio proporciona evidencia de la superposición de enfermedades transmitidas por *Aedes* dentro de puntos críticos geográficos y un marco metodológico para la estratificación del riesgo de transmisión de arbovirus dentro de las zonas urbanas (Bizancio *et al.* 2018; Dzul-Manzanilla *et al.* 2021).

2.5 Aplicaciones generales del uso de drones.

Los drones son dispositivos aerotransportados y autopropulsados que no tienen a un piloto a bordo. Son conocidos por varios nombres, incluyendo vehículos aéreos no tripulados (VANT), sistemas aéreo no tripulados, avión controlado de forma remota para incluir elementos terrestres al sistema y sistemas aéreos controlado de forma remota (Sandbrook 2015). También se puede decir que todos los drones son RPA y UAV, pero no todos los UAV y RPA son drones.

En la última década se han realizado esfuerzos de investigación para la estabilización de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) o drones para regulación y seguimiento de trayectoria, (García-Salazar *et al.* 2020; Ramirez-Rodriguez *et al.* 2014). La mayor parte del mercado está ocupada por sistemas de múltiples rotores, que muestran una mayor carga útil y mayor agilidad que los sistemas de ala fija. En contraste, los sistemas de ala fija exhiben una mayor duración de vuelo (González *et al.* 2017).

La industria de los vehículos aéreos no tripulados se ha desarrollado rápidamente en los últimos años, la extensión del uso de drones a aplicaciones comerciales, aparte de los dominios militares y recreativos, ha crecido exponencialmente (Wilson 2014; Luppicini *et al.* 2016); estos robots, a menudo asociados con aplicaciones de defensa, podían tener un gran impacto en tareas civiles, incluido el transporte, la comunicación, búsqueda y rescate en desastres naturales, la mitigación de desastres, monitoreo ambiental y la preservación del medio ambiente, mapeo, agricultura de precisión, al mantenimiento de infraestructura, inspección estructural, topografía y logística (Alexis *et al.* 2015; Floreano *et al.* 2015; Bircher *et al.* 2015; Bircher *et al.* 2016; González *et al.* 2017, Yang *et al.* 2017).

En efecto, se ha incrementado el número de publicaciones que involucran aplicaciones civiles según (Colomina y Molina 2014; Eskanari *et al.* 2020) y la mayoría de los estudios se concentran en Canadá, Estados Unidos, Brasil y Chile (Eskandari *et al.* 2020; Rojas-Viloria *et al.* 2020). Los enfoques de investigación recientes han estado utilizando la tecnología de drones para mapear diferentes sitios o zonas inaccesibles para los seres humanos. Por ejemplo, en pilas de lixiviación en la industria minera (He *et al.* 2022), tierras de cultivo para aplicaciones agrícolas (Agarwal *et al.* 2019) y entornos marinos (Kok *et al.* 2020; Kwon *et al.* 2020).

Se espera que los drones desempeñen un papel importante en las ciudades inteligentes conectadas del futuro. Entregarán bienes y mercancías, servirán como puntos móviles para el acceso inalámbrico de banda ancha y mantendrán la vigilancia y la seguridad de las ciudades inteligentes. Sin embargo, el uso generalizado de aviones no

tripulados para futuras ciudades inteligentes también reúne varias preocupaciones y desafíos técnicos y sociales que deben abordarse, incluso en las áreas de ciberseguridad, privacidad y seguridad pública (Vattapparamban *et al.* 2016).

Los drones para los proyectos de salud han proporcionado mapas a las comunidades para comprender los peligros ambientales y llenar los vacíos dentro de los datos geográficos existentes, lo que permite a los gobiernos y organizaciones ayudar de manera eficiente a las comunidades a prepararse y prevenir dichos peligros. Así como otros beneficios indirectos como mitigar los riesgos existentes asociados con viajar en caminos inseguros; creación de capacidad local; proporcionar información demográfica para mejorar otros aspectos no relacionados con la salud como infraestructura y servicios. Estos beneficios indirectos pueden potencialmente tener efectos a largo plazo, como dotar a las personas de habilidades y mejorar el bienestar, lo que da como resultado cambios positivos sostenibles en estas comunidades (Jeyabalan *et al.* 2020).

Desde el punto de vista de investigación, los drones pueden recopilar información espacial detallada en tiempo real a un costo relativamente bajo y se están utilizando en investigación ecológica y de conservación (Eskandari *et al.* 2020; Rojas-Viloria *et al.* 2020). Además, los drones pueden ser útiles en la investigación de la epidemiología de las enfermedades infecciosas y la salud pública al proporcionar datos espacial y temporalmente precisos para comprender los vínculos entre la transmisión de enfermedades y los factores ambientales (Fornace *et al.* 2014; Hardy *et al.* 2017; Eskandari *et al.* 2020; Rojas-Viloria *et al.* 2020).

El imaginar que los drones pueden formar redes autónomas incorporadas en el tráfico aéreo, con un alto nivel de arquitectura para el diseño de un sistema de colaboración que consta de drones con sensores incorporados e integrados, además de estaciones con detección, coordinación, y funcionalidad de comunicación y redes. Se ha demostrado en diferentes escenarios, las capacidades de una red de cuadricópteros diseñados siguiendo los principios de la arquitectura. A partir de varias pruebas en el mundo real, se observó que, para un diseño efectivo de redes de drones, especialmente para aplicaciones

dinámicas, se debe enfocar en definir mejor las interacciones entre detección, coordinación, y la comunicación, así como las restricciones impuestas por la aplicación en cuestión. Las investigaciones actuales se dirigen en el enfoque del modelado avanzado y el diseño de un sistema multi-VANT. Si bien todavía hay muchos temas abiertos para lograr un sistema multi-VANT ideal, estamos seguros de que las aplicaciones para las que se implementan se mantendrán en aumento y múltiples VANTs ocuparán nuestros cielos en un futuro próximo (Yanmaz *et al.* 2018).

Un equipo de drones trabajando en cooperación suele ser más efectivo que un solo UAV en aplicaciones como vigilancia, mapeo, búsqueda y rescate, reconocimiento, así como en misiones de defensa. La formación de múltiples drones tiene implicaciones importantes en términos de consumo de tiempo, tasa de finalización de tareas, además de que no solo la formación del vuelo es suficiente ventaja de múltiples vehículos, sino que la adaptación de la formación es importante, lo que se conoce como coordinación y dinámica. Este tipo de aplicaciones y tareas de drones son muy importantes en estos tiempos, ya que explotan al máximo las habilidades de estos (Gutiérrez-Martínez *et al.* 2022; Jiménez-Lizárraga *et al.* 2018; Muñoz *et al.* 2017; Ollervides-Vazquez *et al.* 2020; Rojo-Rodríguez *et al.* 2018a; Rojo-Rodríguez *et al.* 2018b; Rojo-Rodríguez *et al.* 2019).

Las aplicaciones de teledetección son fundamentales para muchos de los principales mercados. Se basan en el uso de sensores pasivos, como cámaras RGB, multiespectrales, hiperespectrales y térmicas, y sensores activos como LiDAR o RADAR (González *et al.* 2017). Además, los drones pueden ser equipados con varios sensores y cámaras para hacer inteligencia, vigilancia, y misiones de reconocimiento. Las aplicaciones de los drones se pueden categorizar de maneras diferentes, puede basarse en el tipo de misiones (militares /civil), el tipo de zonas de vuelo (exterior / interior) y el tipo de ambiente de vuelo (bajo el agua / en el agua / tierra / aire / espacio) (Hassanalian *et al.* 2017).

Con la disponibilidad y el desarrollo de datos de imágenes multisensor, multitemporal, multirresolución y multifrecuencia de los satélites operacionales de observación de la Tierra, también han aparecido más limitaciones en las aplicaciones de

imágenes de teledetección, y la más importante es el límite de costo (Chuvienco 2010). Para superar las limitaciones, se desarrolla la tecnología de los VANT (drones) para aplicaciones de teledetección. La potencia de sus sensores brinda imágenes de alta resolución espacial, algunos equipados con sensores multiespectrales que brindan más información sobre la cobertura detallada, los insumos gráficos procesados con las fotografías aéreas proporcionan índices de cobertura derivados de la interpretación de colores y texturas por pixel lo que apoya la generación de productos de alta precisión. Es una efectiva herramienta de estudio de la cobertura vegetal, se estipula como fundamental para trabajos de alto detalle en la toma de imágenes con las características esenciales de alta resolución espacial, espectral y temporal por la posibilidad de tomar frecuentemente datos de cobertura, estos datos inciden en la calidad de los resultados (Bendig *et al.* 2012; Landau *et al.* 2012; Ivošević *et al.* 2017).

Las plataformas de detección de los vehículos aéreos no tripulados equipadas con diferentes sensores se han convertido recientemente en una herramienta para un fenotipado rápido y no destructivo de alto rendimiento en cultivos y tienen la ventaja de una operación flexible y conveniente, con un acceso a la información oportuno y de alta resolución espacial. Los VANT-RSPs son una herramienta poderosa para estudiar fenotipos (Guijun *et al.* 2017).

Las tendencias futuras de la tecnología VANT se centrarán en los siguientes aspectos: Aumentar el tiempo de vuelo; establecer un marco regulatorio estable; en la integración de sistemas de detección, sistemas de paracaídas y sistemas de amortiguadores para aumentar la seguridad; desarrollando una navegación robusta en interiores y en escenarios sin cobertura GNSS; mejora de los sistemas de control bajo cargas activas (es decir, pulverización de fluidos, brazos de robótica); en el desarrollo de una integración robusta con aplicaciones de aviones tripulados; mejorar la posibilidad de realizar trabajos de colaboración con otros sistemas autónomos (terrestres, marinos y aéreos) y en mejorar la interacción VANT-humano (González *et al.* 2017).

Las operaciones con drones plantean nuevos problemas de optimización y nuevas metodologías, desafíos, que deben abordarse en futuras investigaciones. Al aprovechar la optimización de vanguardia y modelos de investigación de operaciones, formulaciones y metodologías de solución, los investigadores pueden obtener mejores soluciones y una visión más profunda de los problemas emergentes. Entre las características más valiosas de la tecnología de aviones no tripulados y de la tecnología automatizada en general, es la flexibilidad de despliegue. Por lo tanto, la investigación futura debe trabajar esquemas de planificación dinámicos para un rango de operaciones de drones relevantes que cumplan con un conjunto de criterios deseados en promedio o con cierta garantía. Las investigaciones futuras también deberían desarrollar enfoques para tratar la incertidumbre de los datos. Además, deberían centrarse en cuestiones estratégicas de diseño para optimizar el rendimiento, practicidad y economía (Otto *et al.*, 2018).

2.6 Drones para la vigilancia y control de mosquitos.

Se han diseñado drones para el control de mosquitos vectores de ETV's, para rociar larvicidas, dejar caer tabletas de larvicidas, esparcir gránulos de larvicidas, para aplicación de adulticidas en ultra bajo volumen, muestreos en cuerpos de agua y vigilancia de mosquitos adultos (Williams *et al.*, 2020; Faraji *et al.*, 2021). Asimismo, los drones pueden ayudar a los operadores de las acciones de control de vectores, a optimizar los tratamientos, al identificar y mapear con precisión la cobertura de criaderos utilizando imágenes estándar y multiespectrales (Johnson *et al.*, 2020) y como herramientas para la liberación de mosquitos estériles (Bouyer *et al.* 2020; Marina *et al.*, 2022).

En cuanto a la vigilancia de mosquitos, usando drones se pueden recolectar imágenes aéreas que luego son analizadas para identificar y mapear sitios de cría. Estas imágenes se pueden agregar en mapas precisos para apoyar la aplicación de medidas de vigilancia y control y/o se pueden usar en materiales de comunicación para demostrar las condiciones de riesgo específicas para un área determinada (Landau *et al.* 2012).

La detección de objetos en imágenes aéreas tomadas por drones, como una especie de técnica floreciente, tiene numerosas aplicaciones, como el análisis de imágenes aéreas,

vigilancia inteligente y enrutamiento de inspección (Liu *et al.*, 2012). De tres años a la fecha, se han realizado diferentes estudios donde se explora el uso de drones para identificar los criaderos larvarios de diferentes especies de mosquitos. En Perú, se utilizó cartografía multiespectral junto con el análisis Random Forests (Bosques Aleatorios) para identificar criaderos larvarios de *Anopheles darlingi* (Carrasco *et al.*, 2019). En Brasil, para detectar criaderos de *Aedes aegypti* (Veloza *et al.* 2019; Aragão *et al.* 2020).

Las encuestas basadas en drones proporcionan una solución flexible y de bajo costo para mapear los cuerpos de agua para la difusión operativa de las campañas de eliminación de enfermedades transmitidas por mosquitos vectores. Los ortomosaicos generados también se puede utilizar para proporcionar información vital para otras actividades de planificación de la salud pública (Hardy *et al.* 2017).

Se evaluó el uso de un drone con una cámara multiespectral en un estudio para cuantificar el agua superficial acumulada en un pantano de marea de 0,54 km² que colinda con la Bahía de San Francisco, CA, EE. UU. Los resultados proporcionaron información para inspecciones enfocadas en áreas potenciales de reproducción de mosquitos y áreas identificadas donde las zanjas existentes necesitaban mejoras para aumentar la circulación de agua en el pantano para reducir la reproducción de mosquitos. Las larvas y pupas de mosquitos se podían ver claramente en contenedores blancos o negros a alturas de hasta 14 y 8 m, respectivamente. Un algoritmo de inteligencia artificial identificó larvas y pupas de mosquitos en videos con un 94.1% y 52.8% de precisión, respectivamente. Este estudio demostró que un drone equipado con cámaras multiespectrales y zoom proporciona un medio para que las agencias de control de vectores evalúen rápida y cuantitativamente el paisaje en busca de la presencia de aguas superficiales y larvas de mosquitos (Haas-Stapleton *et al.* 2019)

Las técnicas de detección de objetos han experimentado recientemente un gran progreso. Especialmente con el desarrollo de conjuntos de datos visuales a gran escala y mayor poder de cálculo, la red neuronal profunda (del inglés deep neural network) y particularmente, la red neuronal convolucional (del inglés convolutional neural network),

ha demostrado batir récords de desempeño en tareas de visión por computadora, incluida la detección de objetos. Por otro lado, con el desarrollo del hardware de computación, los métodos basados en el aprendizaje profundo no solo pueden mejorar la precisión, sino también realizar la detección en tiempo real (Liu *et al.* 2012).

A este respecto, se ha utilizado un algoritmo basado en redes neuronales entrenado con imágenes multiespectrales para la detección de criaderos larvarios de *Aedes albopictus* en zonas suburbanas de Nueva York. Este enfoque combinando imágenes de drones y análisis de redes neuronales, tiene el potencial de aumentar drásticamente la capacidad de vigilancia, aumentando el alcance y reduciendo el tiempo necesario para los métodos convencionales de vigilancia sobre el terreno (Case *et al.* 2019). Otra técnica empleada, el análisis de imágenes aéreas basado en objetos geográficos (GEOBIA del inglés Object-Based Image Analysis), identificó con precisión las características del medio ambiente asociadas al hábitat larvario de *Anopheles gambiae* sensu lato, *An. coustani*, *An. pretoriensis* y *An. funestus*, lo cual la convierte en una herramienta con mucho potencial (Staton *et al.* 2021). Asimismo, se pueden usar otras plataformas dentro de la detección de objetos como Google Engine ® (Youssefi *et al.* 2020; Frake *et al.* 2020) y Google Street View ® (Haddawy *et al.* 2019; Prachyabrued *et al.* 2020; Su Yin *et al.* 2021) y Big Earth Observation Data® (Moreno *et al.* 2018) y explorar el uso de dispositivos móviles (Carrillo *et al.* 2021). Cabe señalar que la investigación del uso de drones en la vigilancia de mosquitos vectores en nuestro país comienza con la presente tesis.

2.7 Fotogrametría y cartografía especializada.

La fotogrametría es la técnica que tiene por objetivo determinar la forma y dimensiones, mediante el uso de fotografías como perspectivas centrales. Una aplicación importante consiste en el levantamiento de planos topográficos y mapas. La información sobre la ubicación espacial es fuente importante de datos para la fotogrametría, mientras que la información física se refiere a la manera en la que el sensor recibe la radiación electromagnética retrodispersada. Mediante el proceso de triangulación se realiza un ajuste de datos de pares estereoscópicos para incrementar la densidad de los puntos

obtenidos por el GPS, o estación total, calculando las coordenadas para cualquier punto medio en dos pares estereoscópicos. (Galindo *et al.* 2010).

Una nube de puntos está compuesta por un conjunto de nodos en el espacio, donde cada nodo cuenta con características de posición e intensidad (Coral 2015). Es información recabada por el sensor aerotransportado que puede ser de tipo LiDAR o mediante la toma de datos con UAV. Esta información se refiere a un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional que cuenta con coordenadas x, y, z, según la resolución con la que se pretenda trabajar se puede crear una nube de puntos densa. Entre más puntos se generen más información y detalle obtendremos, de igual forma con menos puntos tendremos una menor resolución espacial. Esta información es importante para generar modelos digitales de elevación y analizar el terreno (Saez y Beltrán 2015).

El Modelo Digital de Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Superficie (MDS) se crean a partir del proceso realizado sobre la nube de puntos generada por las fotografías captadas. El MDS representa mediante datos ráster todas las estructuras y la vegetación, mientras que el MDT representa la superficie del terreno sin distinguir los elementos antrópicos, por lo que se debe de trabajar en la eliminación de elementos como edificios, árboles y demás estructuras ajenas al relieve (Saez y Beltrán 2015).

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI), permite obtener los valores de biomasa y su respuesta clorofílica, principalmente en el infrarrojo cercano y el rojo, y se relaciona con la actividad fotosintética de las plantas, permitiendo determinar su vigorosidad la respuesta espectral de la vegetación es visible en la banda roja e infrarrojo cercano. Estos valores están entre -1 y 1, donde nos indica que los que están por encima de 0.1 refieren a la presencia de vegetación y cuantos más altos sean los valores existe mayor vigor en las plantas (Díaz 2015).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI) determina el verdor de la planta o actividad fotosintética para determinar la captación de agua y nitrógeno, el cual es más sensible a las variaciones en el nivel de clorofila por lo que es

utilizado en etapas más avanzadas en el crecimiento de cultivos. Este es una variante del NDVI que permite estimar rendimientos en cultivos con altos valores de humedad (ArcGIS Pro 2020).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada RedEdge (NDVIRE), es un índice espectral que se construye como una mezcla de bandas del Infrarrojo Cercano (NIR) y una banda que utiliza un estrecho rango espectral entre el Rojo visible y el NIR. Es más sensible que el NDVI durante un cierto período de maduración del cultivo. Es más útil que el NDVI para un uso intensivo durante toda la temporada de cultivo, ya que el NDVI a menudo se vuelve impreciso cuando las plantas acumulan la cantidad máxima posible de clorofila (Observing System 2020).

El Índice de clorofila (CIGreen), se aplica para calcular la cantidad de clorofila en las plantas, este utiliza las bandas Verde y RedEdge, que son sensibles a variaciones de contenido de clorofila en vegetación para identificar el estado fenológico o la presencia de alguna enfermedad, como lo es la clorosis que se nota por el tono amarillo en las plantas y denota una disminución de los niveles de clorofila o ausencia de nutrientes (Observing System 2020).

2.8 Legislación e inclusión comunitaria en el uso de drones.

El uso de drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) en aplicaciones comerciales, tiene el potencial de alterar dramáticamente varias industrias y, en el proceso, cambiar nuestras actitudes y comportamientos con respecto a su impacto en nuestras vidas diarias. La aparición de drones desafía las nociones tradicionales de seguridad, protección, privacidad, propiedad, responsabilidad y regulación con su capacidad para recopilar datos y transportar cargas, los drones están cambiando la forma en que pensamos y sentimos sobre nuestro entorno físico (Rao *et al.* 2016; Luppicini *et al.* 2016; Custers 2016). También cargan con la percepción de que son equipos de vigilancia, y su uso comercial ha sido criticado tanto por individuos como por organizaciones activistas (Clarke 2016).

Los drones han sido legitimados por las regulaciones y licencias de las agencias federales, son utilizados por las compañías para realizar estudios, inspecciones e imágenes y su desarrollo tecnológico está impulsado por comunidades activas de aficionados y entusiastas. Esta tensión presenta desafíos únicos para su integración en la infraestructura pública, gubernamental y privada existente actualmente (Rao *et al.* 2016; Luppicini *et al.* 2016). Los mecanismos regulatorios actuales no abordan adecuadamente las preocupaciones sobre la privacidad y las libertades civiles (Fin *et al.* 2012). Se necesita una cuidadosa consideración de la idoneidad de los controles sobre los impactos de los drones en dos valores importantes: la seguridad pública y la privacidad del comportamiento (Clarke 2014). Los parlamentos y los reguladores han sido muy lentos en abordar las amenazas a la seguridad pública y la vigilancia del comportamiento incorporadas en los aviones no tripulados, sobre la base de un conjunto pragmático de principios para el diseño de un esquema regulatorio, se propone que los países apliquen los acuerdos reglamentarios existentes y, cuando sea necesario, los enmienden y amplíen (Clarke 2016).

Hay una notable ausencia de enfoques legales para el discurso que evalúa el uso de drones. Incluso cuando los drones se discuten en un contexto legal, los argumentos afirman que los drones requieren un nuevo régimen legal para adaptarse a las cualidades y circunstancias modernas. Los drones se ajustan de manera compatible con los regímenes legales existentes, en particular el derecho penal internacional y el derecho internacional humanitario de conformidad con los principios generales del derecho internacional (Alberstadt 2014).

El uso limitado de aviones no tripulados se relaciona en gran medida con el corto tiempo de vuelo, asociado con la descarga de la batería que la alimenta y la necesidad de recargarla. Sin lugar a duda, un gran obstáculo en el uso de drones es el riesgo anterior de privacidad y los derechos de los ciudadanos (Kardasz y Doskocz 2016). La integración de los sistemas de aviones de control remoto (RPAS) en la sociedad actual depende de la capacidad de sus operadores para demostrar la seguridad (Pappot y De Boer 2015).

Asimismo, ha sido limitada la investigación sustantiva respecto a la percepción pública y la aceptación de drones (Birtchnell y Gibson 2015; Clothier *et al.* 2015). Se realizó una encuesta al público australiano diseñadas para investigar (a) si el público percibe que los drones son más riesgosos que la aviación tripulada existente, (b) si la terminología utilizada para describir la tecnología influye en la percepción del público, y (c) cuáles son las preocupaciones más amplias que pueden influir en la aceptación pública de la tecnología. Se encontró que el público australiano mantiene actualmente una actitud relativamente neutral hacia los drones, los encuestados no consideraron que la tecnología es demasiado insegura, arriesgada, beneficiosa o amenazadora. Los drones son vistos en gran parte como de riesgo comparable al de la aviación tripulada existente, además, la terminología tuvo un efecto mínimo en la percepción de los riesgos o aceptabilidad de la tecnología. La respuesta neutral es probable debido a la falta de conocimiento sobre la tecnología, que también se identificó como la preocupación pública más frecuente en oposición a los riesgos asociados con su uso, la privacidad, el uso militar y el mal uso (por ejemplo, el terrorismo), las cuales también fueron preocupaciones públicas importantes. Los resultados sugieren que la sociedad aún tiene que formarse una opinión de los drones y que a medida que aumenta el conocimiento público, es probable que cambie la posición actual. La comunicación de la industria y la cobertura de los medios probablemente influirán en la posición final adoptada por el público, lo que puede ser difícil de cambiar una vez establecida (Clothier *et al.* 2015). Es necesario realizar estudios de esta naturaleza en todas las regiones y áreas que requieran el uso de esta tecnología, para tener las bases y evaluar el cambio de conciencia y conductual de las comunidades.

Será cada vez más importante desarrollar mejores procedimientos para el manejo de hallazgos sensibles e incidentales por medio de drones y otras formas de equipos de teledetección, por lo tanto, sería prudente para la investigación en comunidad, desarrollar directrices éticas adicionales. Debido a la complejidad de estos temas, muchos grupos diferentes deben participar en este esfuerzo, incluyendo a los investigadores que trabajan con drones, expertos legales y representantes de la comunidad. Un taller dedicado a identificar desafíos éticos claves, proponer lineamientos, e identificar áreas para mayor investigación podría ser un valioso punto de partida. Mientras tanto, vale la pena que los

investigadores pueden construir sobre: 1) La identificación cuidadosa si la investigación involucra actividades con drones que impliquen la investigación de seres humanos, 2) La participación con las comunidades locales que podrían verse afectadas, y 3) Desarrollar planes para manejar los hallazgos de una manera que se ajuste a el tipo de investigación y el entorno en el que se realiza (Elliott *et al.* 2019).

Se recomienda que se deben identificar las percepciones de la comunidad sobre el uso de drones como un requisito previo para la actividad de drones en todos los países. Asimismo, como aplicaciones de la salud pública requieren financiamiento. En un estudio innovador se diseñó un plan de participación comunitaria que brinda un medio simple pero efectivo para generar y mantener la confianza y la capacidad de aceptación en el uso de drones en África. Los autores recomendaron considerar como esencial este tipo de inversiones (Hardy *et al.* 2022b).

Se realizó un estudio transversal llevado a cabo en Malasia, México y Turquía para evaluar el conocimiento de las enfermedades causadas por los mosquitos *Aedes*, las percepciones sobre el uso de drones para la recopilación de datos y la aceptación de drones para la vigilancia del mosquito *Aedes* alrededor de las casas. En comparación con las personas que viven en Turquía, los mexicanos tenían 14.3 ($p < 0.0001$) veces más probabilidades y los malasios tenían 4.0 ($P = 0.7030$) veces más probabilidades de estar dispuestos a descargar una aplicación para la vigilancia de mosquitos. En comparación con los habitantes urbanos, los habitantes rurales tenían 1.56 veces más probabilidades de estar dispuestos a recibir capacitación. Se encontró apoyo generalizado de la comunidad para el uso de drones en la vigilancia de mosquitos y esta aceptación de la comunidad sugiere un potencial de éxito en la vigilancia de mosquitos utilizando drones (Annan *et al.* 2022).

Para la operación del dron, México cuenta con una legislación creciente en el uso de estos dispositivos. La NORMA Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2019 y emitida por la Dirección General de Aeronáutica Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

El objetivo de esta Norma Oficial es establecer los requerimientos para operar un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano y en su caso, obtener la aprobación de tipo del diseño de un RPAS y/o su autorización de operación (DOF 2019).

Finalmente, para futuros estudios, se deben considerar abordajes como la Ciencia Ciudadana donde colabora una amplia red de personas. Los participantes proporcionan datos experimentales e instalaciones para los investigadores, plantean nuevas preguntas y co-crean una nueva cultura científica. Mientras agregan valor, los voluntarios adquieren nuevos conocimientos y habilidades y obtienen una comprensión más profunda del trabajo científico de maneras atractivas. Como resultado de este escenario abierto, en red y transdisciplinario, se mejoran las interacciones ciencia-sociedad-política, lo que a su vez conduce a una investigación más democrática basada en la evidencia y la toma de decisiones informada (Serrano-Sanz *et al.* 2014).

3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la estimación de los factores de riesgo a la presencia de mosquitos vectores es limitada y superada por los costos operativos, con escasa cobertura y oportunidad. El contar con una herramienta eficiente y oportuna para visualizar, analizar y determinar los factores asociados con la abundancia de mosquitos *Aedes* spp. es necesario en un país que se enfrenta cotidianamente a enfermedades como dengue, zika y chikungunya; asimismo, el riesgo de la introducción de la fiebre amarilla al país no ha disminuido, por lo que un adecuado sistema de vigilancia para un control oportuno de las poblaciones del mosquito vector es esencial en la frontera sur del país.

El uso e implementación de drones y fotografía aérea de alta resolución de espectro visible, multiespectral e infrarroja como tecnología de punta, nos permitirá conocer el ecosistema urbano del mosquito *Aedes* spp. y contribuirá de manera sustancial en el análisis para determinar las áreas de distribución y concentración de sus poblaciones en la Ciudad de Tapachula, Chiapas; sin las limitaciones que presentan los sistemas de percepción remota más antiguos y otras técnicas de fotografía aérea. Además, nos permitirá comparar los resultados obtenidos a los de la aplicación de las encuestas del índice de casa positiva e índice de casa positiva modificado, como predictores de la presencia del vector en los domicilios, de manera tal que la vigilancia por drones pueda acortar los tiempos de toma de datos y análisis de estos, haciendo más eficientes y de manera a priori, las acciones de control.

Debido a la flexibilidad de la Plataforma Nacional de Vigilancia y Control del Vector, los mapas obtenidos pueden ingresarse a ésta y retroalimentar la información para mejorar la toma de decisiones en la zona fronteriza con Guatemala y podrán replicarse en áreas similares en el país. Finalmente, esta tecnología podrá extrapolarse para determinar las rutas que sirven de corredor al desplazamiento de mosquitos, útil para la aplicación de otras medidas alternativas de control, como la liberación de mosquitos estériles, generando capas de información que también pueden incluirse dentro de la Plataforma Nacional.

4 HIPÓTESIS

La fotografía aérea de alta definición y a fina escala obtenida mediante el uso de drones es una herramienta costo-efectiva para determinar las zonas que son condicionantes a la abundancia de mosquitos *Aedes aegypti* en áreas persistentes para la transmisión de Dengue, Chikungunya y Zika de la Ciudad de Tapachula, Chiapas.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo general.

Evaluar el uso de drones para identificar áreas de riesgo asociadas a poblaciones de *Aedes aegypti* en áreas de transmisión de dengue de la ciudad de Tapachula, Chiapas.

5.2 Objetivos específicos.

- 1 Caracterizar el microhábitat de *Aedes aegypti* a través de elementos del paisaje, utilizando datos de imagen de alta resolución espacial por fotografía aérea realizada por drones.
- 2 Determinar la asociación de factores demográficos, socioeconómicos y ambientales con la abundancia de mosquitos *Ae. aegypti*.
- 3 Generar mapas de riesgo que asocien el análisis del paisaje y los factores demográficos y socioeconómicos con la abundancia de mosquitos *Ae. aegypti* en áreas de transmisión.
- 4 Realizar un análisis de costo-efectividad de la vigilancia por medio de fotografía aérea realizada por drones y la vigilancia operativa tradicional.

6 MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Objetivo específico 1.

6.1.1 Área de estudio.

Tapachula, Chiapas. Conocida como "La Perla del Soconusco", su nombre proviene del náhuatl: Tlapacholatl "tierra anegadiza", Tlopacholi "cosa anegada" y Atl "Agua". En el 2020 la Ciudad de Tapachula cuenta, según datos de INEGI, con una población de 217,550 habitantes en una superficie de 93,615 Ha y a una altitud media de 176 msnm; concentrando el 61.5% del total de habitantes del municipio del mismo nombre (353,706 habitantes) [INEGI 2020, CNP 2020]. Las zonas de estudio se basaron en los AGEBs (INEGI), las manzanas (Unidades en las que se basa el trabajo operativo) y viviendas (donde se recopiló la información de los indicadores entomológicos, socioeconómicos y demográficos). El Vergel es una colonia en el Noroeste de Tapachula, Chiapas con una extensión de 433 km² (Figura 1). Geográficamente, está emplazado a una distancia de 4.29 km (dirección W) del centro del municipio de Tapachula. Tiene una población estimada de 4,290 personas (residentes y trabajadores) en 592 viviendas. Se contabilizaron 597 habitantes por km², con una edad promedio de 11 años y una escolaridad promedio de siete años cursados (INEGI 2020).

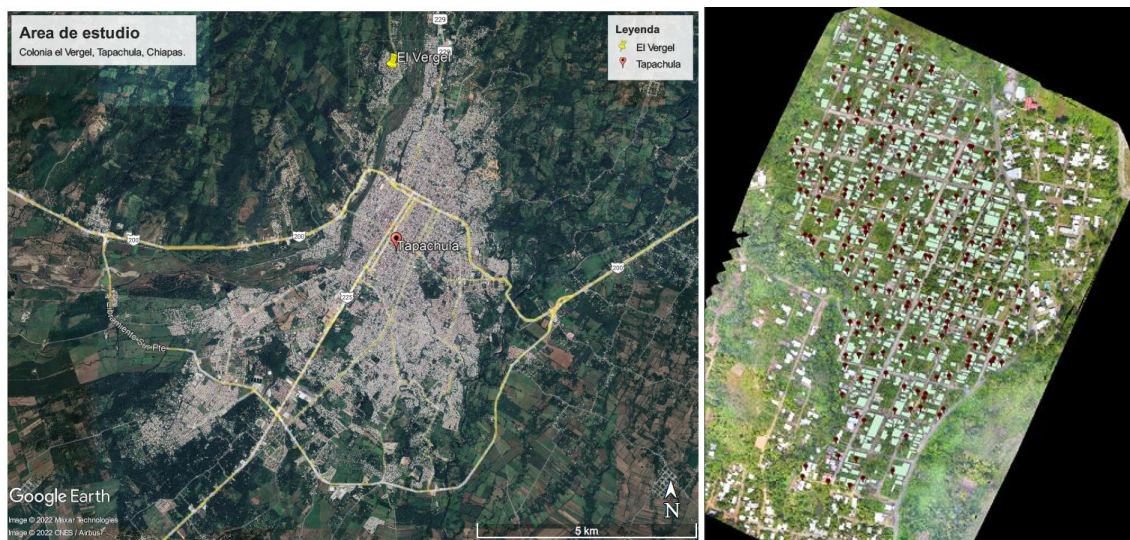


Figura 1. Área de estudio. Mapa de la Ciudad de Tapachula, ubicada en la región Soconusco del estado de Chiapas, con la localización de la Colonia El Vergel, al norte de la ciudad (izquierda). Colonia El Vergel, con la ubicación de las casas encuestadas (derecha).

Los siguientes apartados de la metodología son detallados dado que no son del conocimiento general, se construyeron durante y para la presente tesis y están basados en el conocimiento existente de la elaboración de cartografía tradicional, adaptada a las características particulares de las imágenes aéreas tomadas por drones.

6.1.2 Elaboración de cartografía especializada.

Con el objetivo de obtener productos cartográficos: ortomosaicos, modelos digitales de superficie (MDS) y modelos digitales de terreno (MDT), curvas de nivel, así como la clasificación de objetos en la superficie del área de estudio, clasificación de viviendas, cobertura vegetal e índices de vegetación de agricultura de precisión (NDVI, GNDVI, NDVI_{re} y CIGreen) se llevaron a cabo sobrevuelos con un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), mejor conocido como VANT o drone, para la obtención de fotografías aéreas con una resolución espacial de 5 cm por pixel. Las cuales se tomaron en el mismo período que se realizaron las encuestas domiciliarias.

6.1.2.1 Sistema aéreo.

Se utilizó un equipo Modelo Matrice 600 DJI (DJI® Austin, TX, EE. UU.), un drone multirrotor con seis rotores (ver Figura 2). Con las siguientes características: Peso de 9.6 kg., una velocidad máxima de 64.8 km/h, máxima altitud de vuelo de 2500 msnm, una resistencia a velocidad del viento de 28.8 km/h, un tiempo de vuelo sin carga útil de 35 min y con carga útil de 6 kg de 16 min, con una temperatura de funcionamiento de -10° a 40°C, una distancia de transmisión de 3.5 - 5 km, una precisión de vuelo estacionario de ±0.5 m (vertical) y ±1.5 m (horizontal) y una autonomía de 38 mín (Manual Matrice 600 DJI). Puede navegar de forma autónoma ya que incluye un piloto automático A3 Pro equipado con una Unidad de Medida Inercial (IMU) y sensor GPS. Además, incluye una cámara Zenmuse X5 (DJI® Austin, TX, EE. UU.), con un potente sensor que graba videos 4K y captura imágenes a 16 MP. Además de la cámara antes mencionada, se le instaló una cámara multispectral MicaSense RedEdge -MX con sensor RGB. Esta cámara tiene cuatro bandas espectrales: verde (G, 530-570 nm), rojo (R, 640-680 nm), borde rojo (RE, 730-740 nm) e infrarrojo cercano (NIR, 770-810 nm) (AgEagle Aerial Systems Inc.®,

Wichita, Kansas, EE. UU.). Así, fue posible obtener tomas de ambas cámaras en un solo vuelo, lo que redujo el tiempo de trabajo en campo.



Figura 2. Drone Matrice 600 DJI ® utilizado en este estudio.

6.1.2.2 Interfaz y sensores.

El software de interfaz del drone, se descargó a través del sitio web oficial de DJI (<https://www.dji.com/mx/downloads>) y se instaló en una computadora portátil como estación terrestre, además, se instaló en la computadora el Pix4D para obtener la fotogrametría. La aviónica de este drone multirrotor consta de una brújula, una unidad de medición inercial, un sensor y cámaras a bordo. El sensor de la brújula proporciona la guía del vehículo aéreo con respecto al campo electromagnético de la Tierra. La unidad de medida inercial (IMU) da la orientación durante el vuelo. El sensor GPS proporciona la posición.

Antes de planificar los vuelos autónomos, se inicializó el UAV, considerando el software y hardware instalado en el UAV multirrotor. Las cámaras Zemmuse X5 y MicaSense Red Edge MX se calibraron teniendo en cuenta los parámetros de la hoja de datos. También se realizó en tierra la calibración de la cámara multiespectral Micasense Rededge M®, en base a las indicaciones requeridas por los fabricantes (Micasense®, 2019) (Figura 3). Después de elegir el equipo adecuado de trabajo, se determinó la fecha en la que se realizaron los vuelos. Una vez estipulada la fecha, fue necesario considerar las condiciones meteorológicas idóneas para el mejor desempeño del drone. Se verificó el

clima para obtener algunas variables de estado adecuadas, como la temperatura, la humedad, la nubosidad, la velocidad del viento, la precipitación y la posición del sol en el cenit mediante el uso de la aplicación UAV-Forecast (UAV-Forecast® Cupertino, CA, EE. UU.). Esta información es crucial ya que determina la cantidad de sombra de los objetos sobre la superficie de la Tierra, influyendo en la ausencia de información en el procesamiento fotogramétrico (Pérez 2001). En este estudio, los vuelos se realizaron alrededor de mediodía, para reducir la sombra en los objetos del paisaje.



Figura 3. Calibración de la cámara MicaSense® por parte de personal de CENAPRED (izquierda), instrucciones para calibración (derecha).

6.1.2.3 Planificación del vuelo.

Es una de las partes más importantes de esta metodología, ya que de ella dependerá la calidad de los resultados obtenidos. En primer lugar, se estudió la colonia El Vergel para identificar la topografía, vegetación, obstáculos y posibles fuentes de interferencia en el terreno utilizando la plataforma Google Earth (Google Earth 2019). El vuelo se estableció a través de los polígonos definidos en el software Pix4D Capture (Pix4D, 2019), con un traslape entre las fotografías del 75%, a una altura de 100 m sobre los puntos de despegue del dron y una velocidad media de 8m/s de vuelo. A partir de esta información,

se estimó el tiempo de vuelo de cada polígono, teniendo en cuenta la energía de las baterías en torno a los 20 minutos. Se programaron las misiones de la manera más eficiente posible y se eligieron todos los accesorios necesarios. Asimismo, se verificó la actualización del firmware del Matrice600 y su radiocontrol y la aplicación Pix4Dcapture en el dispositivo utilizado. Una vez en campo, se eligió la zona de despegue y aterrizaje, considerando un cinturón de seguridad de 5 metros a la redonda y la ubicación de los operadores (ver Figura 4).

Los RPAS de tipo comercial tienen un navegador GPS con un error que va entre los 3 y 7 metros en la horizontal, además de que los modelos generados manejan la altura de vuelo del dron, por lo que fue necesario la colocación de puntos de control en el terreno para mejorar la precisión, con el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que son sistemas de alta precisión que permiten corregir los resultados a través de la toma de puntos, mediante el método estático para construir una línea base; a partir de la cual se realizó el método Real Time Kinematic (RTK) para la toma de puntos en tiempo real a partir de coordenadas conocidas. La Tabla 2 resume el equipo de cómputo y el sistema de coordenadas utilizado en el proceso.

Tabla 2. Equipo de cómputo y sistema de coordenadas utilizado.

Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12- ore Processor RAM: 32gb GPU: NVIDIA GeForce RTX2080 TI (Driver: 26.21.14.3200)
Sistema operativo	Windows 10 Pro, 64-bit
Equipo para manejo remoto	Ipad mini 4, modelo MK9P2CL/A
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Sistema de coordenadas de puntos de control	WGS 84 / UTMzona 15N (EGM96 Geoid)
Sistema de coordenadas de salida	WGS 84 / UTMzona 15N (EGM96 Geoid)

6.1.2.4 Ejecución de sobrevuelos.

Los vuelos del dron fueron basados en el protocolo desarrollado por el CENAPRED (Figura 5) para asegurar el éxito de las misiones, considerando la Circular Obligatoria para el Uso de Aeronaves Pilotadas a Distancia (SCT 2019), la cual se encontraba vigente en el tiempo que se desarrollaron los sobrevuelos. Cabe mencionar

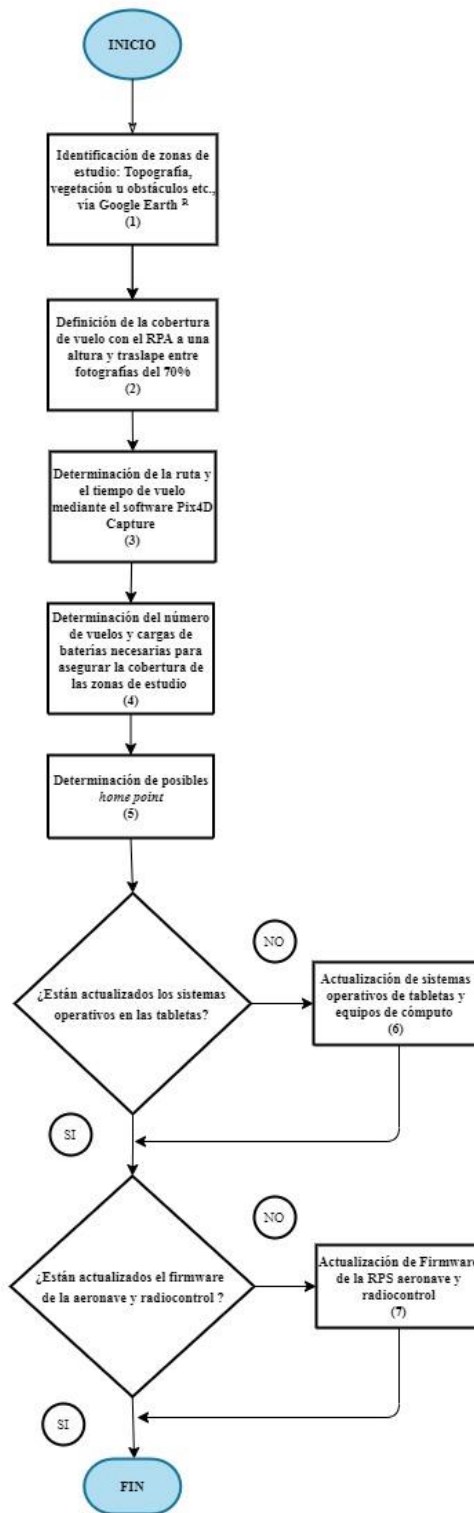


Figura 4. Protocolo para la planificación/planeación del vuelo del dron (CENAPRED, Secretaría de Seguridad, Gobierno de México).

que, a partir de enero de 2020, la Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019 que establece los requisitos para operar un sistema de aeronaves pilotadas a distancia (DOF 2019) es la normatividad nacional que debe seguirse. Asimismo, mencionar que las etapas de planeación y ejecución del sobrevuelo del drone, se realizaron en conjunto con personal del CENAPRECE, Institución que pertenece a la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana del Gobierno de México, por lo que cuenta con todos los permisos para operar un drone en el país.

La conexión entre el drone y el radiocontrol se garantizó comprobando que el drone ejecutó los puntos de aterrizaje y despegue previamente elegidos para evitar una pérdida de señal. Una vez definida la etapa de aterrizaje y despegue, se realizaron los sobrevuelos considerando las características descritas en la etapa de planificación y ejecución (Figura 4 y 5). Para la realización del plan de vuelo se utilizó la aplicación PIX4D capture® (Pix4D® 2017). que permite mantener constantes las variables de velocidad de vuelo, altura de vuelo, ángulo de inclinación de la cámara y traslape entre imágenes. Una vez que se llevó a cabo el plan de vuelo sobre el área de estudio, se obtuvieron las fotografías con una coordenada central, captadas por el sensor en formato .JPG y se transfirieron al equipo de cómputo para su procesamiento. Para asegurar que las fotografías cubrieran toda la zona de estudio, se realizó un procesamiento previo *in situ* a baja calidad.

6.1.2.5 Obtención y procesamiento de imágenes aéreas.

El procesamiento de las imágenes obtenidas se realizó en el software PIX4D (Pix4Dmapper versión 4.3.31). Siguiendo el flujo de trabajo del software se importaron las fotografías, de las cuales se obtuvieron las coordenadas correspondientes al centroide de cada una. Esta característica es fundamental para obtener datos georreferenciados. Se realizaron dos procesamientos, uno a partir de fotografías provenientes de una cámara óptica X5 de la marca DJI y otro a partir de la cámara multispectral micascense Rededge® que trabaja con cinco bandas (R, G, B, NIR y RedEdge). Ambos procesos se realizaron colocando puntos de control para ajustar el modelo y disminuir el error producido por las alturas de vuelo. Como se mencionó con anterioridad, las imágenes de

las cámaras se procesaron en el sitio utilizando una computadora portátil para garantizar que las fotografías obtengan la calidad, cobertura y superposición adecuadas para generar los productos cartográficos con alta calidad (Figura 5).

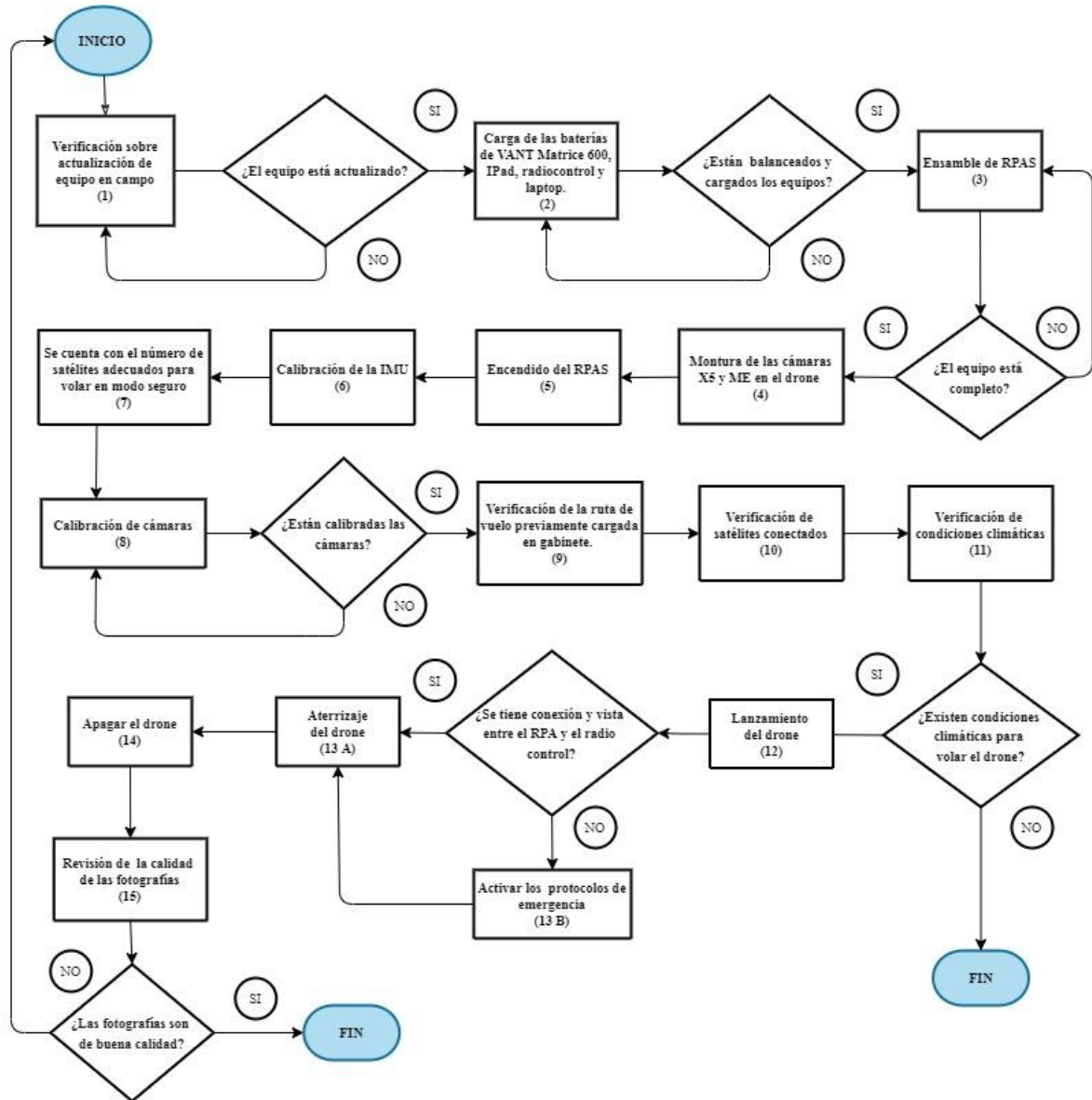


Figura 5. Protocolo de ejecución de vuelo del drone (CENAPRED, Secretaría de Seguridad, Gobierno de México).

Se orientaron las fotos para que el software identifique los puntos de concordancia entre las imágenes superpuestas y estime la posición de cada cámara para un posterior emparejamiento en base a los datos del GPS montado en el drone. Los sensores GPS

proporcionaron precisiones aceptables entre 3 y 5 m para los ejes horizontal y vertical de los productos cartográficos. Se tomaron como referencia las coordenadas de puntos de control obtenidas en el gabinete de constelaciones GLONNAS para ajustar las imágenes de ambas cámaras. Se realizó un ajuste de datos de pares estereoscópicos mediante el proceso de triangulación para aumentar la densidad de los puntos obtenidos por el GPS, calculando las coordenadas para cualquier punto medio en dos pares estereoscópicos (Galindo 2010). Para procesar y añadir puntos de control se realizó el primer paso del procesamiento y se revisaron las opciones de procesamiento para configurar los parámetros necesarios, posteriormente se importaron los puntos de control en un formato .csv que contenía las coordenadas (x, y, z), en este paso se ajustaron los puntos para que queden en el lugar que corresponde en la fotografía, para posteriormente reoptimizar el modelo.

6.1.2.6 Ortomosaicos y cartografía especializada.

En los siguientes pasos del procesamiento se generaron los productos cartográficos como la nube de puntos, el Modelo Digital de Superficie (MDS) y el Modelo Digital de Terreno (MDT) curvas de nivel y ortomosaicos. Estos productos cartográficos se obtuvieron para ambas cámaras, realizando un procesamiento por separado (Pix4Dmapper® versión 4.3.31), con una resolución espacial de 5 cm, ambos en formato .tif. Mediante el software Pix4D, junto con las orientaciones definidas y puntos comunes y el cálculo de la profundidad, se construyó una nube densa con puntos georeferenciados, a partir de la cual, se construyó la textura generando un modelo del área de estudio donde se conocen las posiciones en x, y, z, a partir de las cuales se generaron los productos cartográficos.

Los ortomosaicos se realizaron tanto para las imágenes obtenidas de la cámara óptica como para las obtenidas con la cámara multiespectral, con la diferencia que para la segunda (multiespectral) se realizó la calibración en campo y luego se integró a la imagen. La obtención del ortomosaico RGB de alta resolución se basó en los algoritmos implementados por el software Pix4D®, el cual realiza automáticamente el traslape entre cada una de las fotografías y genera los puntos de concordancia entre cada una de ellas

(Pix4D® 2017). De acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo, con el ortomosaico generado con las fotografías obtenidas con la cámara multispectral se realizaron combinaciones entre sus bandas para resaltar elementos que se buscan dentro de la imagen, como el compuesto 4-3-2 en el RGB, que resalta los valores presentes en la vegetación asociándolos con un tono rojo, utilizando las bandas de infrarrojo, rojo y rojo, respectivamente. De esta forma, los compuestos sirven para tener la primera vista de otro rango del espectro electromagnético sin necesidad de aplicar procesos más complicados.

El MDT es el insumo usado para calcular la pendiente, la dirección y la acumulación del flujo en el terreno con lo cual es posible generar mapas de utilidad. Proporciona la identificación aproximada de la superficie sin vegetación y sin infraestructuras hechas por el hombre calculando pendientes y áreas de acumulación de agua. El cual, al ser procesado en un SIG permitió extraer las curvas de nivel con una equidistancia que va desde los 50 cm. Este proceso se realizó en el software ENVI a partir de la ortofoto en formato .TIFF, con una resolución espacial por debajo de los 5 cm, que cuenta con el sistema de referencia WGS 1984 UTM Zona 15N. Para que la ortofoto pueda ser procesada, se le aplicó una corrección radiométrica mediante firmas espectrales usando el algoritmo de factores de cálculo de línea empírica que compara la firma obtenida de la librería de ENVI (ENVI LiDAR 2013) y la obtenida en campo, generando una imagen calibrada radiométricamente. Este proceso se llevó a cabo ya que el software no contiene los módulos para procesar imágenes obtenidas por drones (Figura 6).

Para la clasificación de la vegetación y las viviendas se utilizó como base el ortomosaico generado a partir de las fotografías obtenidas con la cámara ZenmuseX5 (espectro visible), el cual fue sometido a calibración radiométrica utilizando la librería de firmas espectrales ENVI (ENVI LiDAR 2013). Se estimó la cantidad de vegetación en el área de estudio a partir de la clasificación contenida en la nube definida, generando un archivo de puntos en formato shapefile. Este formato representa los valores de altura y radio de cada punto de vegetación con valores superiores a 30 centímetros y se utilizó para generar la capa de árboles en el ortomosaico de espectro visible. Se generaron regiones de

interés ROI de acuerdo con la cobertura de vegetación y viviendas presentes en el terreno (Figura 6).

Se realizó un post-procesamiento en la imagen, mediante la clasificación supervisada con el método de Estimación de Máxima Verosimilitud (Medina y Atehortúa 2019), que toma estadísticas de cada clase en cada banda y calcula la probabilidad que tienen los píxeles de entrar dentro de una categoría o clase previamente generada mediante ROI. Este método asume que los datos siguen una función de distribución normal, toma estadística de cada clase en cada banda para asignar la probabilidad de que un píxel cualquiera pertenezca a cada una de las clases, ya que calcula la probabilidad de que los píxeles ingresen a una categoría o tipo generado previamente a través de las áreas de interés seleccionadas con entrenamiento de imágenes. El píxel se asigna de este modo a la clase a la que es más probable que pertenezca.

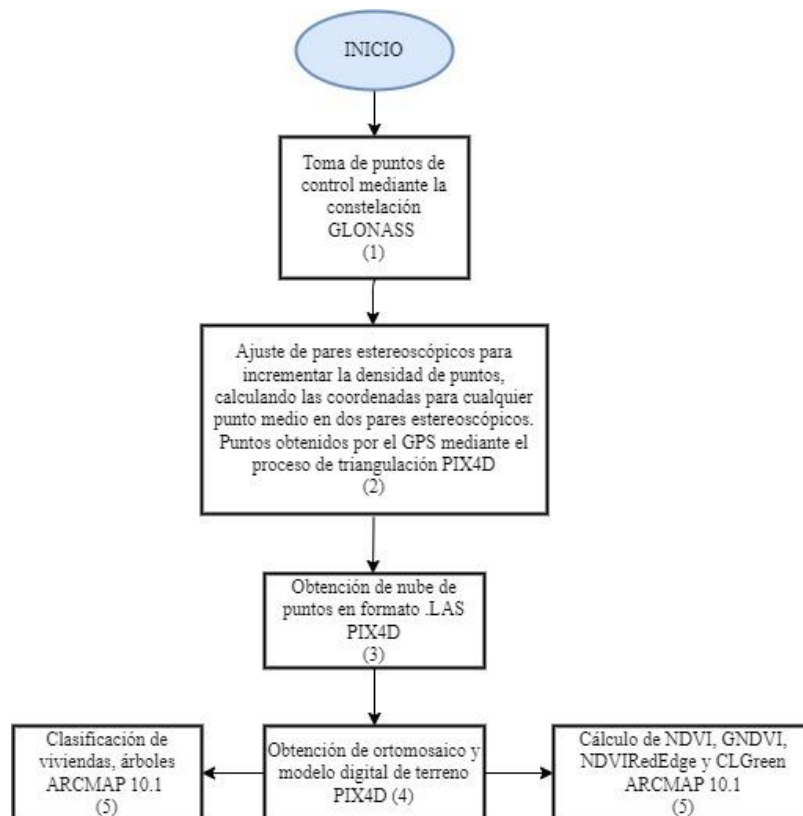


Figura 6. Procedimiento para la elaboración de la cartografía utilizada en el presente estudio.

Finalmente utilizando como insumo un ortomosaico multiespectral con las bandas (R-G-B-IR-RE), se generaron los diferentes índices de vegetación mediante el software Arcmap, a partir de su herramienta de calculadora ráster (Figura 6). Los índices evaluados fueron:

- a) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): Este índice permite estimar la biomasa, cobertura, calidad, estrés hídrico y desarrollo de la vegetación por su respuesta de clorofila en las bandas del espectro electromagnético, principalmente en el infrarrojo cercano y el rojo (Rouse *et al.* 1974; Sanjerehei 2014; Jiménez-Jiménez *et al.* 2019).
- b) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI): Este índice es una variante de NDVI. Este índice permite evaluar el verdor de la planta o actividad fotosintética para determinar la captación de agua, detección de estrés hídrico, estimación de IAF y concentración de nitrógeno (Kemerer *et al.* 2007; Sanjerehei 2014; Jiménez-Jiménez *et al.* 2019).
- c) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada RedEdge (NDVIRE): Este índice se calculó utilizando las reflexiones de la luz infrarroja cercana y la luz RedEdge. Este índice estima el contenido de clorofila de las capas más externas de la copa, sino también es capaz de penetrar más profundamente en la copa del árbol que el NDVI. La luz RedEdge del espectro electromagnético no es tan fuertemente absorbida por los pigmentos de clorofila como la luz roja visual en la hoja, por lo que la luz penetra más profundamente en la copa del árbol (Sanjerehei 2014, Observing System 2020).
- d) Índice de Clorofila (CIGreen): Este índice se centra en las masas vegetales para calcular el contenido total de la clorofila a través de las bandas del verde visible y el infrarrojo (o red edge para mayor visibilidad). Estas partículas bandas son especialmente sensibles a variaciones del contenido de clorofila en vegetación o detección de los estados del nitrógeno (Sanjerehei 2014; Jiménez-Jiménez *et al.* 2019, Observing System 2020).

6.1.2.7 Identificación de elementos del paisaje.

Mediante el software ArcGIS® vs 10.3, se identificaron: 1). Zonas residenciales, 2). Las viviendas encuestadas, 3) La cobertura de vegetación por vivienda encuestada, 4). La cobertura de edificación por vivienda encuestada, y 5). La cobertura de sombra en cada una de las viviendas. Se consideraron los siguientes elementos del paisaje dentro de los análisis realizados en los Objetivos 2 y 3:

- a. Partiendo del ortomosaico RGB de la colonia El Vergel y una vez obtenido los formatos ráster, se continuó con el procesamiento de polígonos que abarcan la cobertura de los edificios y la vegetación. Se ubicaron las 216 viviendas en el ráster antes mencionado. En la superficie total de cada vivienda se digitalizaron dos tipos de polígonos: a) cobertura de edificio y b) cobertura de vegetación. Asimismo, se obtuvo la cobertura de sombra, la cual es el resultado de la cobertura de edificios (techos) más la cobertura de árboles (vegetación). Las tres diferentes coberturas se definieron en porcentajes y se dividieron en tres estratos: 1. Menos de 25%; 2. De 25 hasta 50%; y 3. Más del 50%.
- b. Utilizando la cartografía multiespectral de los índices de vegetación NDVI, GNDI, NDVIRE y CIGreen, y utilizando el software ArcGIS® vs 10.3; se definieron 100 puntos al azar dentro de cada vivienda, los cuales fueron promediados para cada una de ellas.

6.1.3 Colección de datos y muestreos entomológicos.

Se realizó un muestreo estratificado polietápico (Silva Aycaguer, 1993) donde los primeros estratos fueron definidos a través del análisis de las fotografías aéreas obtenidas y la cobertura arbórea (sombra) por manzana. Se realizaron encuestas en 216 viviendas en la colonia El Vergel en Tapachula, Chiapas durante el periodo de lluvias comprendido entre del 13 al 30 de agosto de 2019 y período de secas del 19 de noviembre al 05 de diciembre del 2019, reemplazando únicamente 11 viviendas en el segundo muestreo. Las encuestas fueron realizadas a un habitante mayor de edad de cada vivienda (Anexo I). Cada habitante ofreció su consentimiento informado por escrito.

Las casas seleccionadas fueron visitadas por 4 técnicos en salud, a razón de un promedio de 200 casas/semana, las cuales fueron georreferenciadas. En cada vivienda y mediante formatos de campo (Ver Anexo I. Formatos de Encuesta), recorrido sistemático y exploración visual, se realizaron las siguientes encuestas: a) Índice de Calidad de la Vivienda (ICV) (Tun-Lin *et al.* 1995a), e índice de condición de la vivienda modificado (Moloney *et al.* 1998), b) Encuesta Entomológica para adultos de *Ae. aegypti*, c) Encuesta Entomológica para criaderos larvarios de *Ae. aegypti*, y d) Encuesta demográfica y socioeconómica, como sigue:

a) Encuesta para el Índice de Calidad de Vivienda (ICV). Esta encuesta consta de seis preguntas relacionadas con la apariencia de la casa, apariencia global de la casa, sombra del patio y suciedad del patio (Tun-Lin *et al.* 1995a), de esta encuesta también se obtuvo el índice de condición de la vivienda modificado (Moloney *et al.* 1998). El valor del índice oscila en tres niveles: Bajo, Medio y Alto (Anexo 1). El formato (Tun-Lin *et al.* 1995a, Lineamientos CENAPRECE) se divide en 3 componentes, 1. Apariencia de la vivienda, 2. Sombra en el patio, 3. Suciedad del patio; los cuales se subdividen en: 1. Apariencia de la vivienda, 1a. Oquedades, aberturas o huecos en la pared (celosías, entretechos), 1b. Ventanas/puertas y 1c. Presencia de recipientes con agua dentro o fuera de la casa. El promedio del indicador No. 1, Apariencia de la vivienda, se obtiene de la siguiente manera: $1a + 1b + 1c / 3$, denominándose: Apariencia global de la casa. 2. Sombra en el patio contempla los porcentajes de cobertura, <25% de sombra, <50% de sombra y >50% de sombra. 3. Suciedad del patio hace referencia a la presencia de recipientes con agua, pasto y basura en el patio. Cada componente se registra calificando los subcomponentes antes descritos y al final el ICV se obtiene de la siguiente manera: 1. Apariencia global de la casa + 2. Sombra del patio + 3. Suciedad del patio. La suma de estos valores será la calificación final. Para el ICV modificado ICV₂ (Moloney *et al.* 1998), únicamente se toma en cuenta la calificación y promedio de los componentes: Sombra en el patio y la suciedad del patio.

b) Encuesta Entomológica para adultos de *Ae. aegypti*. Se realizó una inspección visual para la colecta manual de mosquitos de *Ae. aegypti* en reposo utilizando aspiradores back pack (WHO 1995; Silver 2008). En cada una de las viviendas se registraron los baños,

habitaciones, sala y diferentes cuartos, en intradomicilio y peridomicilio. El conteo de mosquitos se realizó manualmente en el campo y registrado por casa. Luego, los mosquitos adultos fueron colocados en pequeños recipientes cubiertos con tul y rotulados por casa y transportados en una hielera hasta el laboratorio donde fueron identificados morfológicamente de acuerdo con (Darsie y Ward 2016). Esta encuesta consta de seis preguntas relacionadas con la abundancia, ubicación y estado fisiológico de los mosquitos adultos en cada vivienda, entre otros. Consta de un índice sumativo de todas las variables de la encuesta (Anexo 1). El valor del índice oscila en tres niveles: Bajo, Medio y Alto

c) Encuesta Entomológica para criaderos por larvas de *Ae. aegypti*. Se realizó el conteo manual y el registro del total de huevos, larvas y pupas por contenedor/recipiente para cada una de las viviendas visitadas. Se utilizaron cucharones, redes de malla, coladores finos y pipetas de plástico para revisar cada contenedor. Los recipientes pequeños y medianos se vaciaron para el conteo de larvas y pupas, y para los contenedores grandes, el personal utilizó recipientes pequeños donde se contaron todos los estados inmaduros de *Ae. aegypti* por calado hasta que no se observó actividad de larvas o pupas en el contenedor/recipiente (Arredondo Jiménez y Valdez Delgado, 2006). Las especies fueron identificadas en campo según (Darsie y Ward 2016). Además, esta encuesta consta de 9 preguntas relacionadas con el tipo de recipiente, utilidad, tipo de sombra, ubicación, tipo de llenado, con agua, volumen de agua, características del contenedor y criaderos positivos (Cantidad de huevos, larvas por estadio y pupas). De igual manera que la encuesta anterior, esta encuesta consta de un índice sumativo de todas las variables de la encuesta (Anexo 1). El valor del índice oscila en tres niveles: Bajo, Medio y Alto.

d) Encuesta demográfica y socioeconómica. Esta encuesta consta de 17 preguntas relacionadas con habitantes/vivienda, sexo, edad, alfabetización, escolaridad y ocupación, las características y tipo de material de la vivienda, tipo de piso, paredes y techo, electricidad, fuente de agua, entre otros (Danis Lozano *et al.* 2002). De igual manera, esta encuesta consta de un índice sumativo de todas las variables de la encuesta (Anexo 1). El valor del índice oscila en tres niveles: Bajo, Medio y Alto. De esta encuesta se extrajo el índice de hacinamiento que se refiere al número de personas por habitación por vivienda encuestada.

6.2 Objetivo específico 2.

6.2.1 Análisis de datos.

El análisis de datos estará basado en la asociación entre los datos entomológicos: larvas, pupas y adultos de *Ae. aegypti*, como variables dependientes o explicativas y los datos demográficos y socioeconómicos, cobertura y tipo de vegetación, presencia de criaderos y parámetros ambientales como variables independientes (Tabla 3). En el objetivo 1 se definió como se obtienen los valores para cada una de las variables y sus categorizaciones. Se realizó una correlación de Spearman (Flores-Ruiz *et al.* 2017) para los dos muestreos realizados, mediante el paquete estadístico SPSS versión 26 (IBM® SPSS® Statistics, Nueva York, Estados Unidos de América).

Tabla 3. Descripción de las variables, obtenidas de las encuestas de campo, fotografía aérea y cartografía especializada de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Tipo	Variable	Descripción	Categorías	Número
ICV	ICV	Índice de Condición de la Vivienda. Sumatoria de todos los reactivos del ICV 1 al 9.	3	1
			4-6	2
			7-9	3
	ICVm	Índice de Condición de la Vivienda Modificado. Sumatoria de todos los reactivos del ICV a excepción de los que corresponden a "apariciencia de la casa", de 2 a 6.	2	1
			3-4	2
			5-6	3
Entomológico	<i>Ae. aegypti</i>	Abundancia total de mosquitos adultos de <i>Ae. aegypti</i>	Abundancia de 0-1 mosquitos	3
			Abundancia de 2-3 mosquitos	2
			Abundancia de 4-32 mosquitos	1
Paisaje *	CobEdi	Cobertura de Edificios	Más del 50%	3
			De 25% al 50%	2
	CobVege	Cobertura de vegetación	Menos de 25%	1
			Más del 50%	3
			De 25% al 50%	2
		Menos de 25%	1	

* Obtenido de las fotografías aéreas realizadas por drones, en el muestreo 1.

Tabla 3. Descripción de las variables empleadas, obtenidas de las encuestas de campo, fotografía aérea y cartografía especializada de El Vergel, Tapachula, Chiapas (Continuación)

Tipo	Variable	Descripción	Categorías	Número
Paisaje multiespectrales ^o	CIGreen	Promedio de 100 puntos al azar por vivienda del índice CIGreen	-1	3
			0	2
			1-3	1
	NDVIRE	Promedio de 100 puntos al azar por vivienda del índice NDVIRE	-0.107 a 0.010	3
			0.011 a 0.191	2
			0.199 a 0.470	1
	GNDVI	Promedio de 100 puntos al azar por vivienda del índice GNDVI	-0.115 a 0.030	3
			0.031 a 0.358	2
			0.362 a 0.646	1
	NDVI	Promedio de 100 puntos al azar por vivienda del índice NDVI	-0.135 a 0.015	3
			0.136 a 0.307	2
			0.310 a 0.739	1
Criaderos	Utilidad	Tipo de utilidad del recipiente	Controlable (1.00-1.50)	2
			Desechable (1.51-2.00)	1
			Ninguna (1.00-1.50)	3
	Sombra	Tipo de Sombra	Bajo vegetacion (1.51-2.50)	2
			Sombra (2.51-3.00)	1
			Intradomiciliar (1.51-2.00)	2
	Ubicación	Lugar de Ubicación	Peridomiciliar (1.00-1.50)	1
			Llenado Activo (1.51-2.50)	1
			Llenado Pasivo (1.00-1.50)	2
	Tipollenado	Tipo de Llenado	No (2.51-3.00)	3
			Si (1.00-1.50)	1
			No (1.51-2.00)	2
	Agua	Con Agua	Bajo (0.00-129.00)	3
			Medio (130.00-504.00)	2
			Alto (505.00-2410.00)	1
Volumen	Promedio del volumen de los criaderos	Abiertos (1.00-1.50)	1	
		Moderadamente abiertos (1.51-2.50)	2	
		Cerrados (2.51-3.00)	3	
Características	Características de los contenedores	Bajo (0.00-0.33)	3	
		Medio (0.34-3.50)	2	
		Alto (3.51-24.00)	1	
Larvas	Larvas de 1o, 2o, 3o y 4o de <i>Ae. aegypti</i> en una vivienda	Bajo (0.00-0.33)	3	
		Medio (0.34-3.50)	2	
		Alto (3.51-24.00)	1	

* Obtenido de la cartografía especializada multiespectral, en el muestreo 2.

Tabla 3. Descripción de las variables empleadas, obtenidas de las encuestas de campo, fotografía aérea y cartografía especializada de El Vergel, Tapachula, Chiapas (Continuación)

Tipo	Variable	Descripción	Categorías	Número
Criaderos	Larvas2	Larvas de 3o y 4o estadio de <i>Ae. aegypti</i> en una vivienda.	Bajo (0.00-0.07)	3
			Medio (0.08-2.50)	2
			Alto (2.51-29.00)	1
	Pupas	Pupas de <i>Ae. aegypti</i> en una vivienda.	Bajo (0.00)	3
			Medio (0.04-3.50)	2
			Alto (3.51-24.00)	1
	CATEindex	Índice de criaderos. Sumatoria de los 10 reactivos anteriores.	Bajo (24.00-26.00)	3
			Medio (20.00-23.00)	2
			Alto (13.00-19.00)	1
	Socioeconómico	Techo	Tipo de material con que está construido el techo	Cemento
Loza				1
Lamina/Loza				2
Lamina				3
Cemento				1
Cemento/Block				2
Cemento/Ladrillo				2
Block		2		
Pared		Tipo de material con que está construida la pared	Block/Ladrillo	2
			Block/Lamina	2
			Ladrillo	2
			Lamina/Madera	3
			Lamina	3
			Madera	3
			Azulejo	1
Piso		Tipo de material con que está construido el piso	Cemento/Azulejo	1
			Cemento	1
			Cemento/Tierra	2
			Tierra	3
Apte		Apariencia del Techo	Buena	1
			Regular	2
Appa		Apariencia de las paredes	Mala	3
			Buena	1
			Regular	2
Appi		Apariencia del piso	Mala	3
			Buena	1
			Regular	2
Renta	La casa es rentada	No	1	
		Si	2	

Tabla 3. Descripción de las variables empleadas, obtenidas de las encuestas de campo, fotografía aérea y cartografía especializada de El Vergel, Tapachula, Chiapas (Continuación)

Tipo	Variable	Descripción	Categorías	Número
Socioeconómica	F_Agua	Fuente de agua	Potable	1
			Potable/Pozo	2
			Pozo	2
			Rio	2
			Lluvia	3
	Cisterna	Carro cisterna de agua	Si	2
			No	1
	Tiempo	¿Todo el tiempo? /Frecuencia del servicio de agua	Si	2
			No	1
	Desechos	Disposición de desechos	Drenaje	1
			Drenaje/Letrina	2
	CATE_ventanas	Categorización de la cantidad de ventanas en la vivienda	Alto (5-13 ventanas)	1
			Medio (3-4 ventanas)	2
			Bajo (0-2 ventanas)	3
	CATE_hacina	Categorización del grado de hacinamiento en la vivienda, medido por el número de personas/cuarto	Bajo (1.14-8.00)	1
Medio (0.57-1.00)			2	
CATE_SocioE	Índice socioeconómico Sumatoria de los 13 reactivos de socioeconómico	Alto (0.11-0.50)	3	
		Alto (13.60-17.70)	1	
		Medio (17.77-21.00)	2	
			Bajo (21.25-26.25)	3

Para la interpretación del coeficiente de correlación de Spearman se siguieron las siguientes aseveraciones: Valores de rho -1 correlación negativa grande y perfecta, -0.9 a -0.99 correlación negativa muy alta, -0.7 a -0.89 correlación negativa alta, -0.4 a -0.69 correlación negativa moderada, -0.2 a -0.39 correlación negativa baja, -0.01 a -0.19 correlación negativa muy baja, 0 correlación nula, 0.01 a 0.19 correlación positiva muy baja, 0.2 a 0.39 correlación positiva baja, 0.4 a 0.69 correlación positiva moderada, 0.7 a 0.89 correlación positiva alta, 0.9 a 0.99 correlación positiva muy alta y 1 correlación positiva grande y perfecta (Martínez y Campos 2015).

Asimismo, se realizó otro análisis estadístico para determinar la asociación entre las variables número de estadios inmaduros (larvas) y adultos con los valores de las capas multi-espectrales (NDVIRE, GDNVI, NDVI y MDT) y comenzar a darle una connotación

espacial. Cabe aclarar que este análisis estadístico sólo se realizó con los datos del segundo muestreo, para conocer la relación de los indicadores de vegetación y las variables dependientes referentes al vector *Ae. aegypti*. Se realizó un análisis de regresión binomial negativa utilizando Stata v15.0 (Statacorp®, Texas, Estados Unidos de América). Para utilizar como variables independientes las capas multi-espectrales se realizó un análisis de densidad de Kernel (Shawe-Taylor y Cristianini 2004), se seleccionaron 100 puntos aleatorios (píxeles) dentro de cada uno de los polígonos de estudio (casa). Se definieron tres niveles de intensidad de Kernel para cada una de las capas multi-espectrales (alto, medio y bajo), como variables independientes para buscar una relación con las variables dependientes (larvas y adultos) para ser incorporados en el análisis de regresión binomial negativa. El análisis descriptivo mostró que la variable de resultado son los datos de recuento excesivamente dispersos (larvas y adultos). La alta varianza de los datos y la frecuencia de conteos cero hacen que la distribución de Poisson sea inapropiada. Por lo tanto, se seleccionó la regresión binomial negativa para este modelo.

La regresión binomial negativa predice el logaritmo del resultado con una combinación lineal de variables de exposición: $\text{Log}(\text{número de larvas y/o adultos}) = \text{intersección} + b_1(\text{var1}) + b_2(\text{var2}) + \dots + b_i(\text{vari})$, donde la intersección es el término constante y b_1, b_2, \dots, b_i son los coeficientes de regresión dados para cada variable de interés (capas multi-espectrales). La variable de resultado fue el número de estadios inmaduros larvas y mosquitos adultos por casa. Las variables capas multispectrales de interés fueron Capa NDVI, Capa NDVIRE, Capa CIGREEN, Capa GDNVI, Capa MDT y Capa MDS.

Desarrollo de modelos y prueba de bondad de ajuste. Los modelos de regresión se construyeron de forma aditiva: variables sin evidencia de una asociación significativa con el resultado (es decir, devolviendo la prueba z o t p -valor superior a 0,05) se eliminaron los modelos se probaron con y sin términos de interacción. Se exploró la colinealidad potencial mediante la construcción de matrices de coeficientes de correlación para las variables de exposición número de larvas/adultos y los valores de densidad de Kernel para las capas multispectrales. Como no se supone una varianza constante en la regresión

binomial negativa, la heterocedasticidad no se probó formalmente, sino que se exploró mediante gráficos de residuales. Finalmente, se calculó el estadístico de Pregibon para determinar la bondad de la función de enlace (para la regresión binomial negativa, una función de enlace logarítmica) en modelos de regresión. La estadística de prueba de Pregibon toma las predicciones del resultado del modelo candidato (y sus cuadrados) como predictores en una regresión secundaria. Si la función de enlace es correcta, el valor p de la prueba t resultante debe ser insignificante (Ashmore *et al.* 2020).

6.3 Objetivo específico 3.

6.3.1 Descripción de las variables.

Se seleccionaron 22 variables de diferentes tipos obtenidas de las encuestas de campo mencionadas en el objetivo 1, variables entomológicas, condición de la vivienda y demográficas. Además de variables del paisaje (ambientales) obtenidas de la cartografía especializada realizada de las imágenes por drones, como los índices de vegetación NDVI, GNDVI, NDVIRE, CIGreen, altura y cobertura de árboles, cobertura de vegetación y de sombra, como sigue (Tabla 4).

6.3.1.1 Variables independientes.

- a) Índice de Calidad de Vivienda (ICV). Esta encuesta consta de seis preguntas relacionadas con la apariencia de la casa, apariencia global de la casa, sombra del patio y suciedad del patio (ICV) (Tun-Lin *et al.* 1995a), de esta encuesta también se obtuvo el índice de condición de la vivienda modificado (ICV₂) (Moloney *et al.* 1998). El valor del índice oscila en tres niveles: Bajo, Medio y Alto, de esta encuesta se obtuvo el valor de sombra en el patio donde se determina la variable de sombra del patio proyectada en el suelo debido a objetos como techos, láminas o árboles (Ver Anexo 1).
- b) Índice de hacinamiento. Datos obtenidos de la encuesta socioeconómica (Ver Anexo 1). Se refiere al número de personas por habitación por vivienda encuestada.
- c) Sombra Drone y Cobertura Vegetal. Se ubicaron las 216 viviendas en el formato ráster de espectro visible de la comunidad de estudio. En la superficie total de cada vivienda se digitalizaron dos tipos de polígonos: a) sombra del drone y b) cobertura de vegetación. La sombra del drone se refiere a la sombra proyectada sobre el suelo, determinada por la cobertura de los techos y árboles en las viviendas. Asimismo, la cobertura de la vegetación se definió a través de la cobertura de árboles en cada vivienda encuestada. Ambos se dividieron en tres estratos: 1. Menos de 25% de cobertura de vegetación; 2. De 25-50% de cobertura de vegetación; y 3. Más del 50% de la cobertura de vegetación, de la misma forma para la cobertura de sombra en cada una de las viviendas.
- d) Índices de vegetación. El shapefile de las viviendas (N=216) de El Vergel, Tapachula, Chiapas fueron separados individualmente vivienda por vivienda. Posteriormente,

dentro de cada vivienda se crearon aleatoriamente 100 puntos en la plataforma de ArcMap® 10.3. Finalmente, se extrajo la información de los multiespectrales (NDVIre, GNDVI, NDVI y CIGreen), modelo digital de superficie (MDS) y modelo digital de terreno (MDT). Por lo tanto, se crearon 216 bases de datos con valores de cada vivienda y su información espacial. Finalmente, se construyó una base de datos que incluye el promedio de cada capa multiespectral (N=3) y el modelo digital (N=1). Estos valores fueron usados como un proxy a los valores de abundancia de cada multiespectral y al modelo digital.

- e) Altura de árboles. Con el shapefile de la cartografía de altura y copa de árboles y su ubicación correspondiente en el área de estudio, se determinó el promedio de altura de todos los árboles en cada una de las manzanas que tenían viviendas encuestadas y este valor se les asignó a todas las viviendas encuestadas de esa manzana.

6.3.1.2 Variables dependientes o explicativas.

- a) Número de mosquitos adultos de *Ae. aegypti*. Información obtenida de la encuesta de mosquitos adultos (Ver Anexo 1). Se refiere al número de mosquitos adultos de *Aedes aegypti* en cada vivienda, machos y hembras.
- b) Número de larvas y pupas de *Ae. aegypti*. Información obtenida de la encuesta de estadios inmaduros (Ver Anexo 1). Se refiere al número de larvas de 1ero, 2º, 3ero y 4º estadio y al número de pupas de *Ae. aegypti* por cada vivienda encuestada.

6.3.2 Restricciones espaciales.

Se utilizó una metodología de Machine Learning para generar una variable categórica para cada casa que se sumó a las variables originales y que corresponde al conglomerado que pertenecen de acuerdo con una estructura de agrupamiento particular obtenida con un algoritmo de agrupamiento con limitaciones espaciales, para aprovechar la posibilidad de obtener representaciones de nuestros datos con datos mixtos (diferente naturaleza de variables) [Pagés 2014; Davidow y Matteson 2020]. La restricción que se usó fue la restricción de contigüidad en el espacio, especificando de esta manera qué observaciones (casas) se consideran conectadas. Cuando se incluyen estas conectividades en un algoritmo de agrupamiento, se requiere que las observaciones en un agrupamiento

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 ₂)	Discreta	Sumatoria de todos los reactivos del ICV, a excepción de los que corresponden a "apariciencia de la casa"
Índice de Condición de la Vivienda modificado ponderado	Categórica	Criterio de puntuación del ICV ₂ : 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 drone: 1= <25%, 2=>25 pero <50% y 3= >50%
CobVEGE	Categórica	Cobertura de Vegetación. Determinada por medio de las imágenes aéreas realizadas por drone: 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

no solo sean similares entre sí de acuerdo con sus covariables, sino también para comprender un conjunto contiguo de observaciones. Para ello, se definió una matriz de conectividad $C_{n \times n}$ con entradas $C_{ij} = 1$ si las observaciones i y j se consideran contiguas y 0 en otro caso. Entonces se consideró que un clúster es contiguo si hay un camino entre cada par de observaciones en ese grupo, es decir, el subgrafo es completamente conexo. Muchos algoritmos de agrupamiento clásicos se han modificado para tener en cuenta este tipo de restricciones (Murtagh 1985; Wagstaff *et al.* 2001), sin embargo, se decidió utilizar un método de agrupamiento jerárquico aglomerativo adaptado para manejar las restricciones de conectividad implementadas en el módulo de clúster del paquete sklearn en python (Pedregosa *et al.* 2011).

6.3.3 Construcción del índice de riesgo de casa aérea.

El índice propuesto se basa en la regresión de mínimos cuadrados parciales (del inglés Partial Least Squares regression PLS), que es una clase de técnicas para modelar relaciones entre conjuntos de variables observadas por medio de variables latentes. Comprende de tareas de regresión y clasificación, así como técnicas de reducción de dimensiones y herramientas de modelado. La suposición subyacente de todos los métodos PLS es que los datos observados son generados por un sistema o proceso que es impulsado por un pequeño número de variables latentes (no observadas ni medidas directamente) (Helland 1990; Rosipal y Kramer 2006). Proyecciones de los datos observados a su estructura latente por medio de PLS fue desarrollado por Herman Wold y colaboradores (1975).

El método de calibración PLS se describe en términos de la estructura de covarianza conjunta de las variables explicativas y la variable predicha (Helland 1990). Crea vectores de puntuación ortogonales (también llamados latentes, vectores o componentes) maximizando la covarianza entre diferentes conjuntos de variables. El predictor y las variables pronosticadas (respuesta) se consideran cada una como un bloque de variables, luego extrae los vectores de puntaje que sirven como una nueva representación del predictor y realiza una regresión de las variables de respuesta en estos nuevos predictores (Rosipal y Kramer 2006).

Se siguió la notación de Wegelin [2000]. Sea $\tilde{X}_{n \times p}$ y $Y_{n \times 1}$ las matrices que representan un conjunto de variables independientes y dependientes, respectivamente, que asumimos, están relacionadas linealmente. PLS tiene como objetivo encontrar un conjunto de vectores de puntuaciones latentes $\{\alpha_1, \dots, \alpha_R\}$ y $\{\omega_1, \dots, \omega_R\}$, que son ortogonales y están relacionados con la columna espacio de \tilde{X} y Y , de tal manera que, para cualquier valor entre 1 y R , este conjunto de vectores abarque el subespacio "más interesantes" de los rangos de ambas matrices (Wegelin 2000). Tomado por separado, α_r y ω_r para $r = 1, \dots, R$, puede ser la solución PLS para \tilde{X} y Y , sin embargo, la solución de PLS no tiene en cuenta solo $\tilde{X}'\tilde{X}$ o $Y'Y$, sino la covarianza cruzada $\tilde{X}'Y$. Centrémonos en el primer par de puntuaciones latentes α_1 y ω_1 . En este caso, PLS se puede establecer como un método para encontrar vectores a y b tales que:

$$\text{Cov}(\alpha_1, \omega_1) = \max_{\|a\| = \|b\| = 1} \text{Cov}(\tilde{X}'a, Yb).$$

Si a_1 y b_1 son la solución de (1), se puede demostrar que $\text{Cov}(\alpha_1, \omega_1) a_1 b_1'$ es la mejor aproximación de rango uno de $\tilde{X}'Y$ en el sentido de mínimos cuadrados (Wegelin 2000). El procedimiento de ajuste de PLS se basa en el parcial iterativo no lineal algoritmo de mínimos cuadrados (NIPALS) Wold [1975], que nos da el conjunto completo de soluciones (α_r, ω_r) y (a_r, b_r) , para $r = 1, \dots, R$. La matriz de datos $\tilde{X}_{n \times p}$ es la representación p -dimensional del conjunto de datos de tipo mixto original obtenido con la metodología antes descrita. La variable dependiente Y es una matriz de $n \times 1$ (es decir, un vector). En este caso, la solución viene dada por un caso particular de PLS conocido como PLS1 (Wegelin 2000, Rosipal y Kramer 2006). La solución es dada por el primer par de puntajes PLS, porque nuestro índice propuesto viene dado por $\tilde{X}'a_1$. Todo el desarrollo de los algoritmos y análisis de datos se realizaron con el software Phyton® y la plataforma Júpiter®. Los datos para el índice de riesgo de casa aérea, se obtuvieron para larvas, pupas, mosquitos adultos y todos los estados de *Ae. aegypti*

6.3.4 Elaboración de mapas.

Una vez contando con el índice de riesgo, se obtuvieron las bases de datos en formato shapefile y mediante el software ArcGIS®, utilizando la cartografía RGB obtenida, se elaboraron los mapas de la colonia El Vergel correspondientes a los índices de riesgo de casa aédica para mosquitos adultos, larvas, pupas y todos los estados de *Ae. aegypti*,

6.4 Objetivo específico 4.

6.4.1 Determinación y desarrollo del estudio.

Se determinó realizar un estudio de costo efectividad dado las características del estudio y de los datos a obtener (Ver Figura 7). Para evaluar la efectividad de la vigilancia de criaderos realizada por el dron versus la vigilancia tradicional, se visitaron 216 viviendas de la colonia El Vergel del municipio de Tapachula, Chiapas, del 13 al 30 de agosto de 2019; 205 de las cuales, se visitaron por segunda ocasión para la realización de los objetivos 1, 2 y 3.

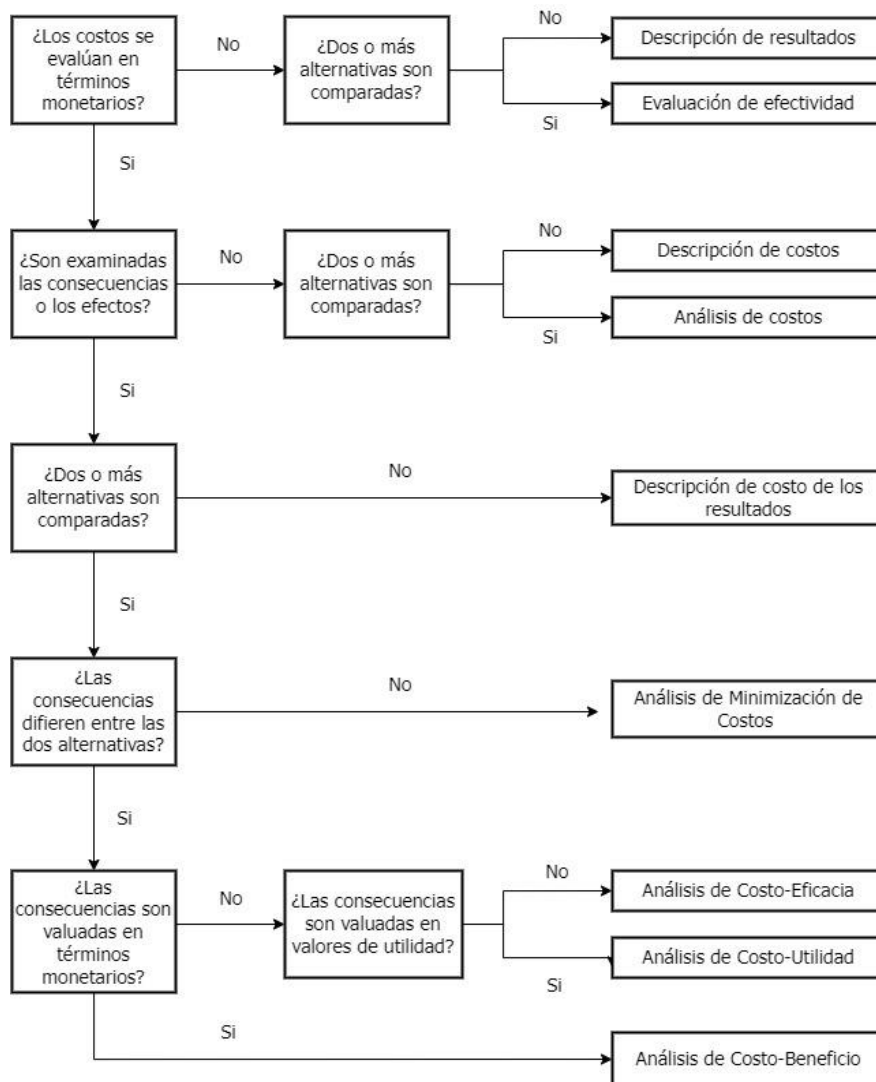


Figura 7. Árbol de decisión para la elección de estudios económicos. Tomado de Van den Boom 2022.

6.4.1.1 Vigilancia terrestre o encuesta entomológica tradicional.

En las 216 viviendas, se realizó la búsqueda de recipientes o contenedores que tradicionalmente han sido catalogados como posibles criaderos de *Ae. aegypti* (NOM Vectores 2015); los cuales, son todos aquellos capaces de retener agua y convertirse en criaderos de este mosquito, luego, los contenedores se clasificaron según su tipo, utilidad, tipo de sombra, ubicación, volumen de agua y si eran positivos para la presencia de inmaduros de *Aedes* (número de huevos, larvas por estadio y pupas), usando la clasificación de recipientes propuesta en estudios previos en el municipio de Tapachula (Arredondo-Jiménez y Valdez-Delgado 2006). Se realizó una búsqueda en peridomicilio y techo cuando esto era posible (cuando había acceso a esta área de la casa).

6.4.1.2 Vigilancia aérea por medio de drones.

Se utilizó un Drone Phantom 4 Pro de la marca DJI® con una cámara con sensor CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles con obturador mecánico (espectro visible), con una distancia focal de 35 mm y una resolución teórica de 1 cm. Este modelo de drone posee un sistema Flight Autonomy, posicionamiento por satélite de doble banda (GPS y GLONASS), con control remoto y sistema de transmisión de video HD Lightbridge, un alcance máximo de transmisión de 7 km y tiempo de vuelo máximo de 30 minutos (Figura 8). Las imágenes se tomaron de forma simultáneas a las inspecciones entomológicas, socioeconómicas y demográficas.



Figura 8. Drone Phantom 4 Pro DJI ® utilizado en el presente objetivo.

La logística de vuelo siguió la normativa nacional, definida en la Circular CO AV 23/10 R3 reglamento de la Dirección General de Aeronáutica Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Gobierno Mexicano (DGAC/SCT 2017) y la guía del usuario de recomendaciones del fabricante (DJI 2016).

Se utilizó la aplicación DJI GO 4® para vuelo en modo manual. Se tomaron fotografías de cada una de las 216 casas a 30 m de altura del suelo y alrededor de las 12.00 horas, para minimizar el efecto de sombra que dificulta la identificación de los objetos. Cada batería fue suficiente para 12-15 minutos de vuelo, que cubrieron 15-20 casas por día. Estas fotos fueron tomadas en la misma semana y en los mismos sitios de las encuestas, cubriendo los techos y patios traseros de los hogares encuestados. Los habitantes permitieron la toma de fotografías sobre sus viviendas mediante la firma previa de un consentimiento informado (Ver Anexo 1).

Una vez obtenidas las fotografías aéreas se procedió a verificar los límites de cada predio mediante la cartografía de colonias con el software ArcGIS 10.3. Las imágenes se guardaron en formato JPEG y se procesaron en el programa gratuito GNU Image Manipulation Program (GIMP® 2.8) [GIMP 2019; Requena-Méndez *et al.* 2015 y Antunes *et al.* 2020]. Los recipientes se buscaron y contaron manualmente en el software GIMP siguiendo la clasificación previamente mencionada (Arredondo-Jiménez y Valdez-Delgado 2006). Se construyó una base de datos usando la misma clasificación de los contenedores que se utilizó en la encuesta tradicional (VT).

6.4.1.3 Determinación de la efectividad y prueba estadística.

La efectividad del muestreo de vigilancia terrestre o tradicional (VT), se definió como la capacidad para localizar recipientes o contenedores domésticos en interiores y exteriores con y sin agua que pudieran servir como criaderos de *Ae. aegypti*. La efectividad de las imágenes de drones (VA) se definió como la capacidad de identificar y registrar posibles criaderos de *Ae. aegypti*, específicamente cubriendo el peridomicilio y los techos de las viviendas. Los datos se expresaron como número de contenedores detectados en techos, peridomicilio y total. Cabe mencionar que de la base correspondiente a la vigilancia terrestre se excluyeron los contenedores localizados en intradomicilio y no se

incluyeron en el análisis de efectividad. Para fines de comparación se tomaron en cuenta los recipientes o contenedores de las 10 categorías registradas o identificadas en ambas metodologías: Recipientes de plástico, balde o cubeta, tinaco, tanque, llanta, W.C., maceta, tina metálica, botellas y otros.

En un primer análisis, se evaluó la concordancia entre la identificación de los diferentes tipos de contenedores o recipientes mediante imágenes de drones (VA) versus la metodología tradicional de vigilancia terrestre (VT) utilizando un Índice Kappa-Cohen con el software IBM SPSS Statistics 25 (IBM 2017). Para interpretar los resultados de este coeficiente, se utilizó la medida del acuerdo del observador para datos categóricos: 0.01 – 0.20 concordancia pobre o insignificante, 0.21 – 0.40 concordancia media, 0.41 – 0.60 concordancia moderada, 0.61 – 0.80 concordancia sustancial y 0.81 – 1.00 casi perfecta a concordancia perfecta. Kappa siempre es menor o igual a 1, un valor de 1 implica un acuerdo perfecto y valores menores a 1 implican un acuerdo menos que perfecto (Landis y Koch 1977). En la interpretación del índice kappa (k) el índice depende del acuerdo observado, de la prevalencia del carácter estudiado y de la simetría de los totales marginales (Abraira 2001). Finalmente, realizamos un análisis T-Student para determinar si hay una diferencia entre la relación de la efectividad de los contenedores cuantificada por vigilancia terrestre versus las imágenes de drones.

Asimismo, en un segundo análisis, se evaluó la concordancia entre la identificación de los diferentes tipos de contenedores o recipientes mediante las imágenes de drones versus la metodología tradicional de vigilancia terrestre expresando en la proporción de contenedores identificados o registrados en cada una de las metodologías por separado y en ambas metodologías (coincidente), y por el total de viviendas con al menos un contenedor detectado por vigilancia aérea y/o vigilancia terrestre.

6.4.2 Análisis de costo-efectividad.

Se realizó un análisis de costo-efectividad comparando la estrategia de vigilancia utilizando fotografía aérea tomada por dron y la utilización de la estrategia operativa terrestre que actualmente utiliza el Programa Dengue utilizando las brigadas conformadas

por el personal de vectores y que se encuentra definida y normada para todo el país en las Guías Operativas del CENAPRECE (NOM Vectores 2014). Se determinaron todos los costos de las actividades realizadas tanto en la vigilancia terrestre como en la vigilancia aérea, desde la identificación de criaderos en fotografía aérea de forma manual vs la metodología tradicional de vigilancia terrestre *in situ* como método tradicional. Considerando: Gastos de trabajo de campo, sueldos, gasolina, papelería & tóner, software & hardware, servicios, cursos y licencias, como más importantes, durante el tiempo que se llevaron a cabo las actividades de campo (2-3 semanas) y de escritorio (1 semana). Se utilizó la metodología descrita por la Guía para el Análisis de Costo-Efectividad de la OMS (Phillips *et al.* 1996).

Conocer únicamente los costos o únicamente la efectividad de cada tipo de vigilancia no es suficiente para tomar decisiones. Para ello se puede hacer uso de las razones, que proveen la información en perspectiva. De esta forma, es posible evaluar la relación existente entre los costos de una intervención y su efectividad. Se definió la razón de costo-efectividad (RCA) para la vigilancia aérea y la vigilancia terrestre, con la ecuación (Aponte-González 2011):

$$\text{Razón de costo-efectividad} = \frac{\text{Costo de la intervención}}{\text{Medida de efectividad de la intervención}}$$

Adicionalmente, se comparó entre las dos metodologías de vigilancia a través de la razón de costo-efectividad incremental (RCEI) [Drummond *et al.* 2005]:

$$\text{RCEI} = \frac{\text{Costo de la intervención} - \text{Costo de la práctica actual}}{\text{Efectividad de la intervención} - \text{Efectividad de la práctica actual}}$$

Donde, se denominó intervención a la vigilancia aérea y como práctica actual a la vigilancia terrestre. De esta forma, es posible observar el costo adicional, o inclusive el menor costo, en que se debe incurrir por cada unidad de efectividad que se gane, en este caso, la identificación o registro de contenedores o recipientes como potenciales criaderos de *Ae. aegypti*.

7 RESULTADOS

7.1 Objetivo específico 1.

7.1.1 Vuelos del dron.

Se elaboró un plan de vuelo con las características óptimas para las condiciones de una zona semiurbana-urbana, mediante el establecimiento de protocolos de vuelo, teniendo en cuenta los lineamientos federales, en conjunto con investigadores del Centro Nacional de Prevención y Desastres y del Instituto Nacional de Salud Pública (Figura 4 y 5). Se realizaron 8 vuelos en total, 4 vuelos diarios (12 y 13 noviembre 2019) para cubrir un área de 85 Ha de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas; tomaron en cuenta 5 vuelos o polígonos realizados para el procesamiento de imágenes (Figura 8). La temperatura promedio del dron durante el vuelo corresponde a 36.2°C, mientras que el porcentaje de humedad promedio corresponde a 44.5% (Tabla 5).

Tabla 5. Vuelos realizados con el dron Matrice 600 DJI ® en El Vergel, Tapachula, Chiapas.

<i>Fecha</i>	<i>Hora*</i>	<i>Temperatura °C</i>	<i>Porcentaje de Humedad (%)</i>
<i>12/11/2019</i>	<i>11:27</i>	<i>36.8</i>	<i>43.00</i>
<i>12/11/2019</i>	<i>12:35</i>	<i>34.3</i>	<i>48.00</i>
<i>12/11/2019</i>	<i>12:54</i>	<i>35.8</i>	<i>45.00</i>
<i>12/11/2019</i>	<i>13:32</i>	<i>34.8</i>	<i>45.00</i>
<i>13/11/2019</i>	<i>11:13</i>	<i>36.6</i>	<i>44.00</i>
<i>13/11/2019</i>	<i>12:16</i>	<i>38.0</i>	<i>38.00</i>
<i>13/11/2019</i>	<i>12:44</i>	<i>38.6</i>	<i>49.00</i>
<i>13/11/2019</i>	<i>13:23</i>	<i>34.5</i>	<i>44.00</i>

*Formato 24 hrs

Los intervalos entre vuelos dependieron de la capacidad de las baterías, calibración de las cámaras y procedimientos de seguridad. Los vuelos de dron tuvieron una duración de 15 a 20 minutos y se obtuvieron fotografías de 12 a 15 hectáreas c/u, a 100 metros de altura con una resolución de 2.59 cm/píxel. Asimismo, el vuelo se diseñó para cubrir cada polígono de estudio (Figura 9), con la superposición y calidad de imagen necesarias (software PIX4D), utilizando un ángulo de las cámaras de 90° con un traslape frontal y lateral de 75%.



Figura 9. Ruta y proyecto de vuelo del dron utilizando la aplicación Pix4D®.

La posición y orientación de las cámaras se muestra en la Tabla 6 y los parámetros de la hoja de datos de ambas cámaras del dron se muestran en la Tabla 7. Como se mencionó anteriormente, los vuelos fueron realizados alrededor de mediodía (ver Tabla 5) para que la sombra de los objetos no afectara la ubicación de elementos del paisaje.

Tabla 6. Posición y orientación de las cámaras empleadas Zemmuse X5® en espectro visible o RGB y MicaSense® Red Edge MX o multiespectral.

		$X(m)$	$Y(m)$	$Z(m)$	$\Omega(\text{grados})$	$\Phi(\text{grados})$	$\kappa(\text{grados})$
X5	Mean	0.046	0.053	0.096	0.027	0.028	0.007
	Sigma	0.017	0.020	0.043	0.012	0.012	0.003
MX	Mean	0.173	0.149	0.214	0.096	0.094	0.067
	Sigma	0.168	0.169	0.246	0.353	0.200	0.910

7.1.2 Fotogrametría y cartografía.

Se tomaron 7,550 fotografías correspondientes a las bandas de borde azul, verde, rojo, NIR y rojo con la cámara MicaSense y 1,122 fotografías del espectro visible con la cámara Zemmuse X5. El promedio de las bandas en el MicaSense corresponde a blue (9836), Green (9957), Red (9732), NIR (9806), y red Edge (9823) [Tabla 7].

Tabla 7. Parámetros de las cámaras utilizadas durante los vuelos del dron.

	<i>Zemmuse X5</i>	<i>MicaSense RedEdge MX</i>
<i>Proyecto</i>	VergelX5new	VergelMEnew
<i>Procesado</i>	2020-01-15 17:13:52	2020-01-20 16:14:53
<i>Cámara</i>	FC550_DJIMFT15mmF1.7AS PH_15.0_4608x3456 (RGB)	RedEdge_5.5_1280x960(Blue), RedEdge_5.5_1280x960(Green), RedEdge_5.5_1280x960(Red), RedEdge_5.5_1280x960(NIR), RedEdge_5.5_1280x960(Red edge) «MicaSense 5 band»
<i>Distancia de la muestra del suelo (DMS)</i>	2.59 cm / 1.02 in	7.40 cm / 2.91 in
<i>Resolución</i>	2.59 cm/píxel	7.40 cm/píxel
<i>Área de Cobertura</i>	0.783 km ² / 78.2856 ha / 0.30 sq. mi. / 193.5481 acres	0.859 km ² / 85.8504 ha / 0.33 sq. mi. / 212.2508 acres

Con el software Pix4Dmapper vs. 4.3.31 se construyó un ortomosaico con una resolución de 2,59 cm/píxel y de 7,4 cm/píxel para el espectro visible y multiespectral, respectivamente (Figuras 10 y 11). Se utilizaron 6 puntos de control con un error RMS de 2.4 m para la cámara X5 RGB y de 2.5 para la cámara MicaSense de 5 bandas.

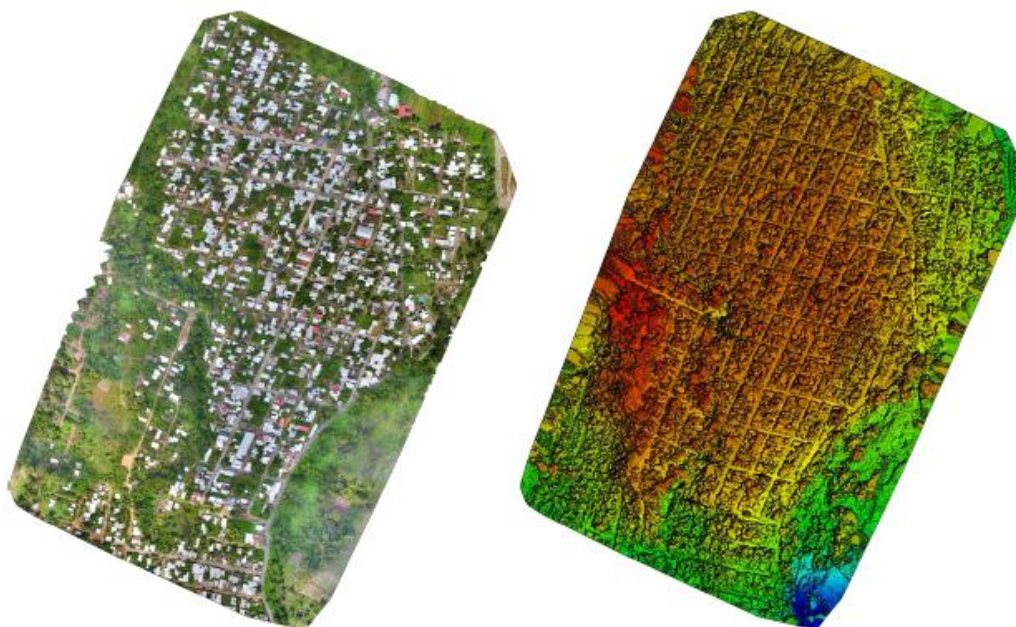


Figura 10. Ortomosaico y el modelo de superficie digital disperso correspondiente antes de la densificación. Cámara X5 de espectro visible. Tomado del reporte generado con Pix4Dmapper vs 4.3.31.

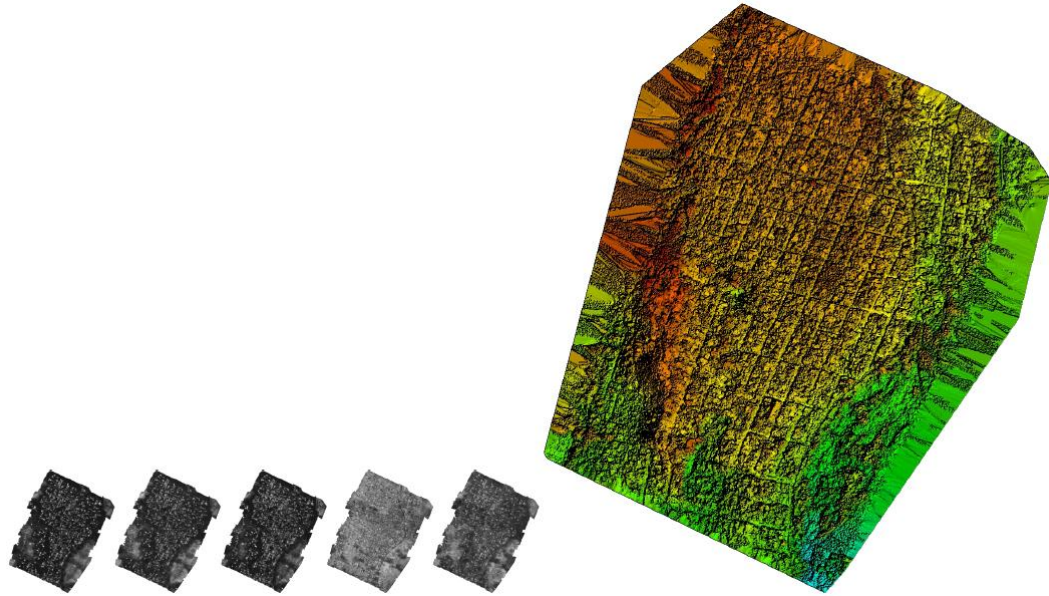


Figura 11. Ortomosaico y el modelo de superficie digital disperso correspondiente, antes de la densificación (Tomado del reporte generado con Pix4Dmapper vs 4.3.31). Cámara MicaSense® RedEdge multiespectral.

En el ortomosaico de la colonia El Vergel realizado con las imágenes de espectro visible, se pueden apreciar con gran detalle en las casas, los caminos, las carreteras, los ríos y senderos. Además de los tipos de vegetación existente, pasto, matorrales o arbustos y árboles de diferentes dimensiones (Figuras 12).



Figura 12. Detalles del ortomosaico RGB realizado de la Colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Según el censo de INEGI de 2010, El Vergel contaba con 592 casas, por medio del ortomosaico realizado, se localizaron 826 viviendas (Figura 13). El ortomosaico compuesto RGB se realizó para resaltar la cobertura de vegetación presente en el área de estudio y en cada una de las 216 viviendas encuestadas (Figura 14).



Figura 13. Mosaico georreferenciado en espectro visible de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas con 2.5 mm de resolución espacial.

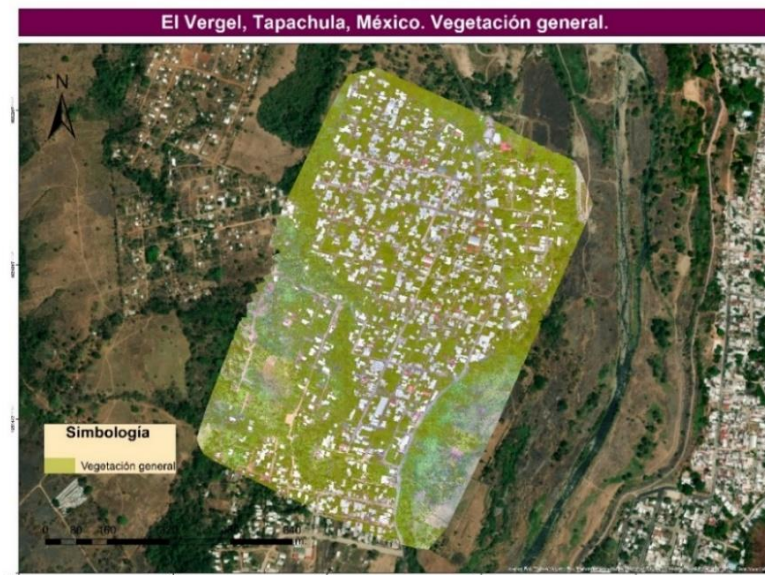


Figura 14. Ortomosaico con clasificación supervisada de la vegetación presente en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Se pueden observar áreas con alta influencia de vegetación, detallando la ubicación de los techos de las casas o infraestructura (Figura 15). Cabe señalar que todas las capas correspondientes a las Figuras 13, 14 y 15, se puede visualizar en el programa ArcGIS® para su interpretación.

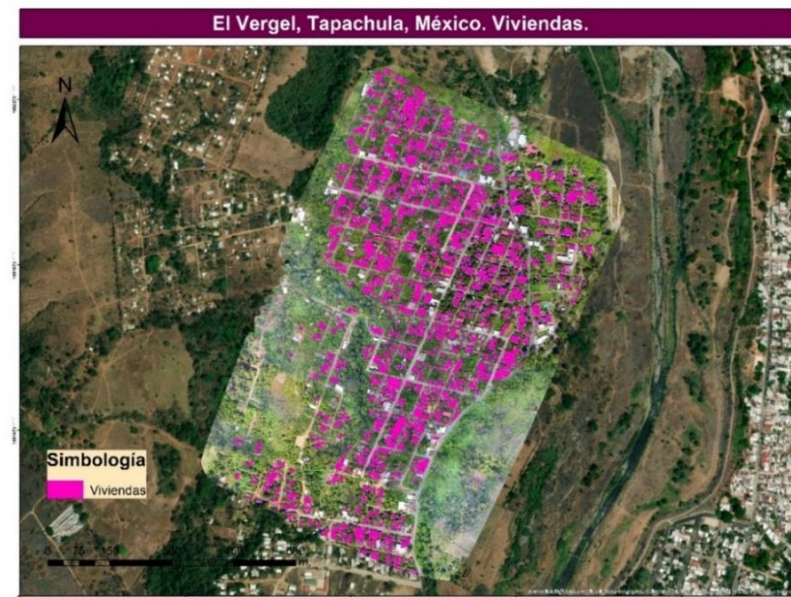


Figura 15. Mosaico georreferenciado en espectro visible con identificación de las viviendas de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

El ortomosaico MDT se distribuyó en un terreno de 175 m hasta 257 m snm, con el promedio de las viviendas en un rango de 230 m. La mayoría de las casas se encontraron en un rango de 210-240 m (Figura 16). El ortomosaico MDS se distribuyó en un terreno de 214 m hasta 246 m snm, con el promedio de las viviendas de 233 m. La mayoría de las casas se encontraron en un rango de 230-241 m (Figura 17). En ambos, la altitud es menor en la periferia de la colonia.

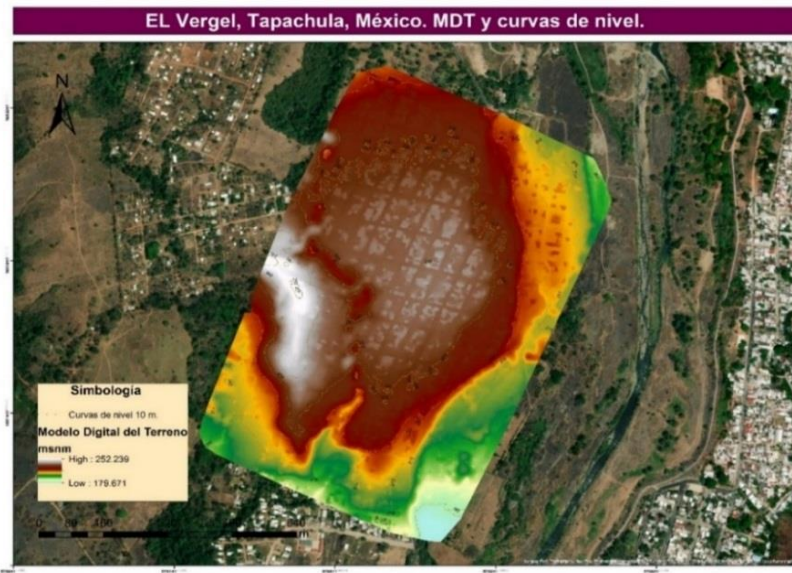


Figura 16. Modelo Digital de Terreno y Curvas de Nivel (10 m) de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

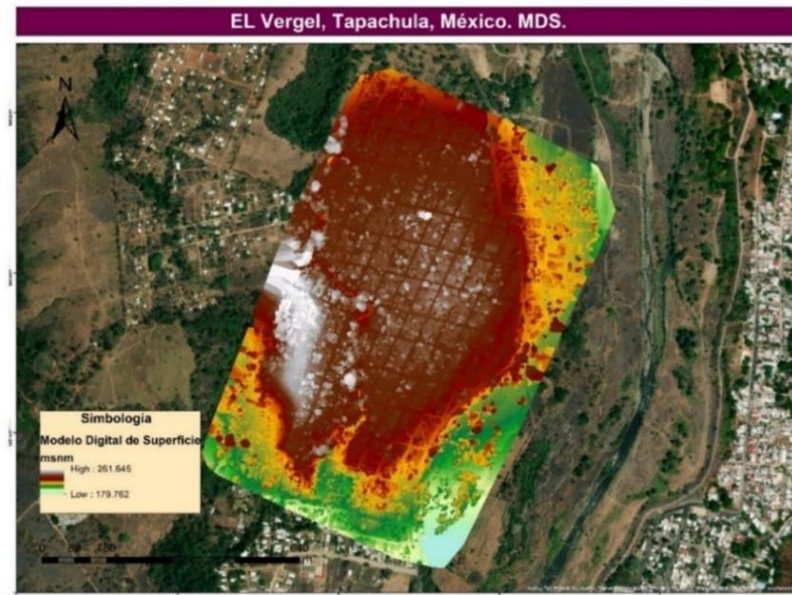


Figura 17. Modelo Digital de Superficie de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

De la misma manera, se registraron un total de 1,748 árboles, se puede apreciar la distribución de árboles con radio de copa de 4.81-5.6 m en la periferia de la colonia, mientras que, dentro de la colonia, aunque existen árboles, la copa de los árboles oscila

entre 2.00-4.80 m. Con una altura promedio de 8.55m ($\pm 4.38m$) y una copa del árbol de 2.71m ($\pm 0.83m$) (Figura 18).

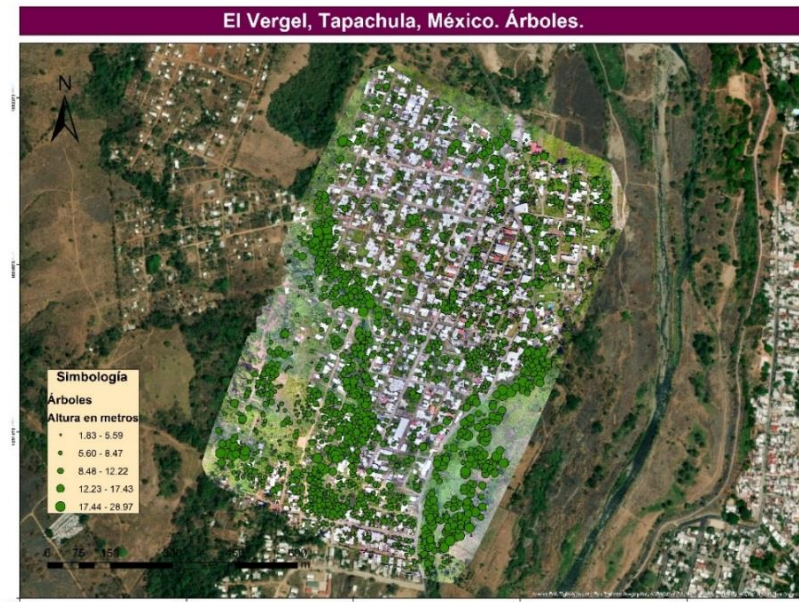


Figura 18. Ortomosaico con clasificación de la vegetación para definir altura y radio aproximado de los árboles en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Los índices NDVI, GNDVI y NDVIRE de la cartografía multiespectral varían de -1 a +1. Para el NDVI determinamos 53 viviendas en el nivel bajo (-1.00 al 0.160), 101 viviendas en el nivel medio (0.161 al 0.458) y 51 viviendas en el nivel alto (0.459 al 1.000) [Figura 19]. Se puede observar que, en la periferia de la colonia de estudio, oscilan los valores más altos de NDVI, mientras que dentro y hacia el centro de la colonia los valores bajan, éstos van de 0.1 a 1.0 en algunas regiones, con un promedio de 0.26 (Figura 20). Para el índice GNDVI se determinaron 52 viviendas en el nivel bajo (-1.00 al 0.152), 105 viviendas en el nivel medio (0.153 al 0.403) y 48 viviendas en el nivel alto (0.404 al 1.000) [Figura 20].

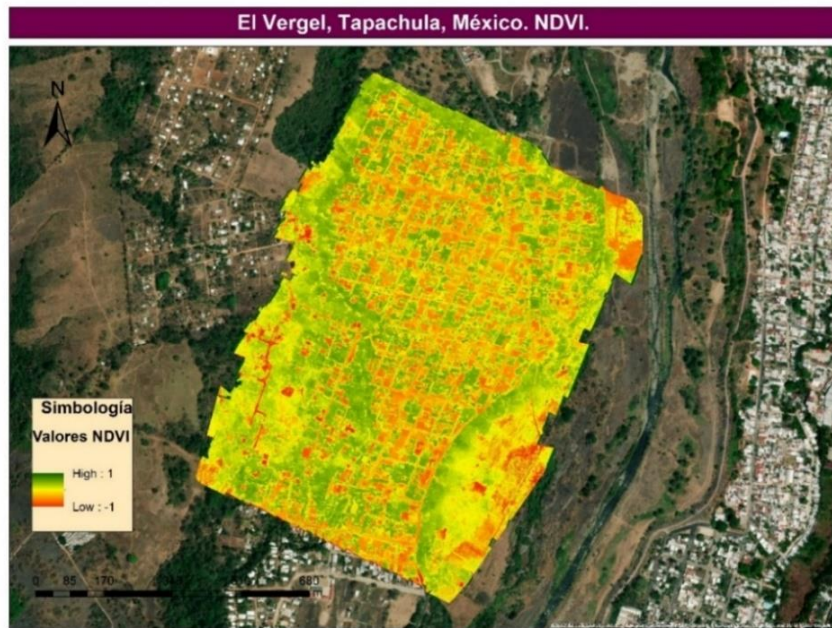


Figura 19. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

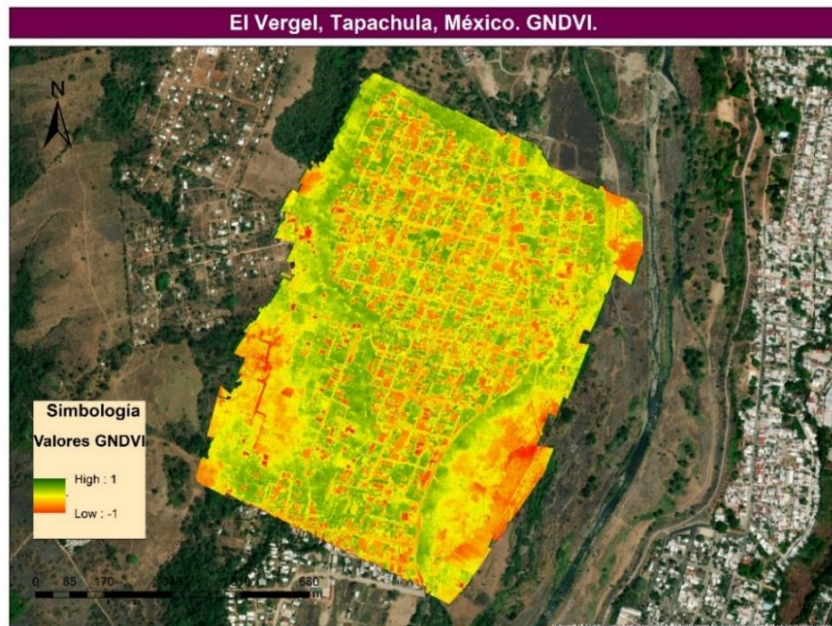


Figura 20. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Mientras que para el NDVI Red Edge se determinaron 52 viviendas en el nivel bajo (-1.00 al -0.474), 102 viviendas en el nivel medio (-0.473 al 0.184) y 51 viviendas en el nivel alto (0.185 al 1.000) [Figura 21]. Para el ortomosaico de GNDVI (Figure 20) y para el NDVI Red Edge (Figura 21), se obtuvo un índice promedio de 0.26; los cuales oscilan de la misma manera que NDVI (Figura 19), presentándose la misma distribución de los valores más altos en la periferia de El Vergel.

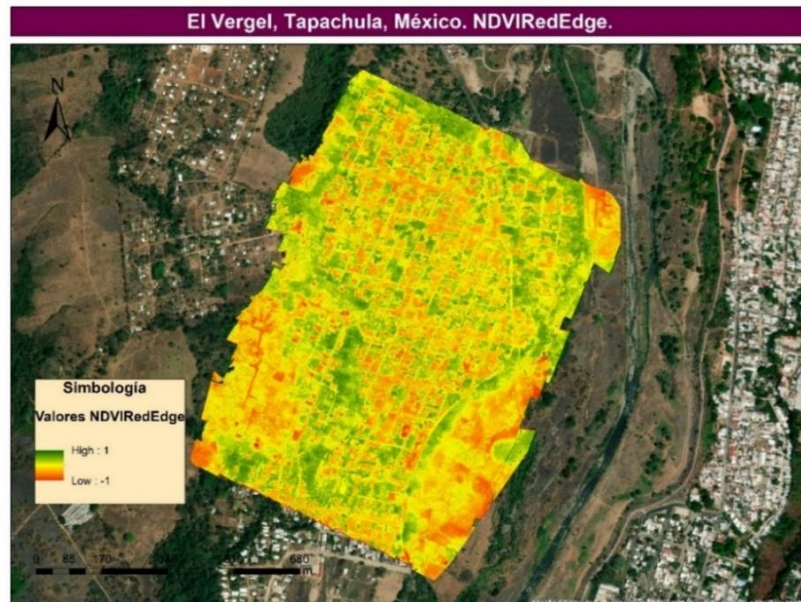


Figura 21. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada RedEdge (NDVIRe) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Finalmente, los valores del índice de clorofila CIGREEN abarcan del -1.00 hasta el 7.00. Obtuvimos que, 60 viviendas se encontraron en el nivel bajo (-1.00 al -0.0274), 113 viviendas en el nivel medio (-0.0275 al 0.977) y 32 viviendas en el nivel alto (0.998 al 7.000). Encontrando los valores más altos en el norte de El Vergel, y un mayor valor en el oeste con un promedio de 0.55 (Figure 22).

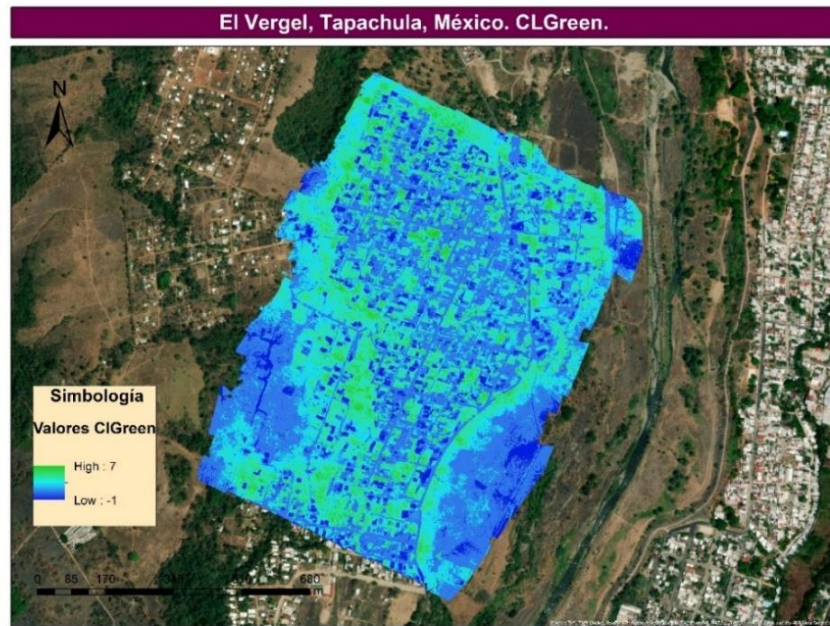


Figura 22. Índice de Clorofila (CIGreen) en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

7.1.3 Entomología.

En total, se encuestaron 216 (36.48%) viviendas de un total de 592 viviendas disponibles en la Colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Cada encuesta requirió de 20 a 30 minutos para una pareja de técnicos (12-14 casas/pareja/día) (Figura 23). En once viviendas ya no fue posible volver a aplicar las encuestas, por lo que tuvieron que ser cambiadas en el segundo muestreo.



Figura 23. Encuestas domiciliarias en la Colonia El Vergel, municipio de Tapachula, Chiapas.

7.1.3.1 Primer muestreo del 13 al 30 de agosto de 2019.

Se registraron 113 viviendas positivas a huevos, larvas y pupas de *Ae. aegypti* (52.31%). Se localizaron 2,752 recipientes, siendo las macetas (31.58), recipientes de plástico (10.28%) y los baldes y cubetas (9.12%) las categorías más comunes en las viviendas de estudio. Se registraron 1,554 recipientes controlables (56.37%) y 1,198 desechables (43.53%), siendo las macetas las más frecuentes dentro de la categoría de controlables (19.91%) y desechables (11.63%). Para el tipo de sombra, se ubicaron 1,040 recipientes en cielo abierto (37.79%), 965 bajo techo de loza o lámina (35.07%) y 747 bajo vegetación (27.14%). A cielo abierto y bajo vegetación predominaron las macetas (19.33% y 11.45 respectivamente), bajo techo, los tanques (6.58%). Se registraron 418 recipientes en intradomicilio (15.19%) siendo el tanque (3.52%), el más común en esta ubicación; mientras que se registraron 2,334 recipientes en peridomicilio (84.81%), siendo las macetas (30.74%), los recipientes más comunes en el patio de las viviendas (Tabla 8).

Asimismo, 1,517 (55.12%) presentaron llenado pasivo (lluvia), 846 (30.74%) llenado activo (agua potable), mientras que 389 (14.14%) fueron recipientes que no contienen agua y/o no son usados como almacenamiento temporal de agua. Los recipientes más comunes con llenado pasivo y sin llenado fueron las macetas (16.56% y 7.63% respectivamente), mientras que, para los recipientes de llenado activo, los tanques (6.98%), fueron los más frecuentes. Al momento de la encuesta 1,167 recipientes (42.41%) se encontraron con agua, 329 (28.20%) en interiores y 838 (71.80) en exteriores, siendo los tanques (7.30%) los más frecuentes. El volumen de agua total y promedio registrado en todos los recipientes localizados fue de 508,692.61 l y 184.91 l respectivamente. Siendo las cisternas, los tanques y los tinacos, los que presentaron mayor volumen de agua promedio para uso doméstico (7,500.00 l, 1,697.45 l y 1,078.97 l) (Tabla 8).

Por otro lado, de los 1,167 recipientes con agua, 177 se registraron positivos a estados inmaduros de *Ae. aegypti* en 21 diferentes categorías (Figura 24). El tanque de cemento fue el tipo de criadero más positivo y productivo para estados inmaduros de *Ae aegypti* (44.63%), donde se registraron un total de 3043 larvas (60.91%) y 448 pupas

(67.17%). Cinco clasificaciones de contenedores/recipientes resultaron negativos a la presencia de larvas o pupas de *Ae aegypti*. En total se encontraron 354 huevos (1.638 ± 21.296), 4,996 larvas (23.129 ± 37.052), 720 (3.333 ± 9.007), 1,052 (4.870 ± 9.162), 1,421 (6.579 ± 11.972) y 1,803 (8.347 ± 16.552) de primero, segundo, tercero y cuarto estadio, respectivamente. Asimismo, se contabilizaron 667 pupas (3.088 ± 9.832) [Tabla 9].



Figura 24. Búsqueda y registro de criaderos larvarios de *Ae. aegypti* en peridomicilio.

Finalmente, se registraron un total de 494 mosquitos de *Ae. aegypti* (2.287 ± 4.447) en 126 casas (58.33%) de las cuales, 88 casas fueron positivas para mosquito hembra (34.72%) y 83 casas para mosquito macho (33.33%). Se encontraron 232 mosquitos hembra (1.074 ± 2.254) y 262 mosquitos macho (1.213 ± 2.933). Las viviendas presentaron un promedio de 2.29 mosquitos. Sólo cuatro viviendas presentaron más de 20 mosquitos hembra o mechos (Figura 25).

Tabla 8. Relación de criaderos de *Ae aegypti* localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas del 13 al 30 de agosto de 2019.

Categoría	Utilidad				Tipo de sombra		Ubicación	
	Frecuencia	Controlable	Desechable	Ninguna	Bajo Vegetación	Sombra	Intradomiciliar	Peridomiciliar
Balde o cubeta	251 (9.12)	187 (6.78)	64 (2.33)	95 (3.45)	30 (1.09)	126 (4.58)	60 (2.18)	191 (6.94)
Tina metálica	12 (0.44)	10 (0.36)	2 (0.07)	4 (0.15)	3 (0.11)	5 (0.18)	2 (0.07)	10 (0.36)
Tambo o tonel	86 (3.13)	65 (2.36)	21 (0.76)	30 (1.09)	11 (0.40)	45 (1.64)	31 (1.13)	55 (2.00)
Recipiente de plástico	283 (10.28)	159 (5.77)	124 (4.51)	99 (3.60)	65 (2.36)	119 (4.32)	51 (1.85)	232 (8.43)
Recipiente de vidrio	68 (2.47)	13 (0.47)	55 (2.00)	0 (0.00)	2 (0.07)	66 (2.40)	17 (0.62)	51 (1.85)
Recipiente de peltre	4 (0.15)	2 (0.07)	2 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	2 (0.07)	1 (0.04)	3 (0.11)
Recipiente de barro	3 (0.11)	2 (0.07)	1 (0.04)	0 (0.00)	1 (0.04)	2 (0.07)	1 (0.04)	2 (0.07)
Tanque	205 (7.45)	190 (6.89)	15 (0.55)	15 (0.55)	9 (0.33)	181 (6.58)	97 (3.52)	108 (3.92)
Pileta	8 (0.29)	8 (0.29)	0 (0.00)	2 (0.07)	2 (0.07)	4 (0.15)	2 (0.07)	6 (0.22)
Tinaco	38 (1.38)	33 (1.20)	5 (0.18)	20 (0.73)	10 (0.36)	8 (0.29)	2 (0.07)	36 (1.31)
Cisterna	2 (0.07)	2 (0.07)	0 (0.00)	1 (0.04)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.07)
Maceta	869 (31.58)	549 (19.91)	320 (11.63)	532 (19.33)	315 (11.45)	22 (0.80)	23 (0.84)	846 (30.74)
Bebedero de animal fijo	29 (1.05)	22 (0.80)	7 (0.25)	5 (0.18)	10 (0.36)	14 (0.51)	5 (0.18)	24 (0.87)
Comedero de animal fijo	4 (0.15)	2 (0.07)	2 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	2 (0.07)	0 (0.00)	4 (0.15)
Botella	40 (1.45)	14 (0.51)	26 (0.94)	7 (0.25)	18 (0.65)	15 (0.55)	1 (0.04)	39 (1.42)
Bote o lata	151 (5.49)	3 (0.11)	148 (5.38)	108 (3.92)	9 (0.33)	34 (1.24)	0 (0.00)	151 (5.49)
Bebedero de animal móvil	142 (5.16)	126 (4.57)	16 (0.58)	12 (0.44)	19 (0.69)	111 (4.03)	1 (0.04)	141 (5.12)
Comedero de animal móvil	2 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	1 (0.04)	1 (0.04)	0 (0.00)	2 (0.07)
Recipiente plástico desechable	225 (8.18)	10 (0.36)	215 (7.81)	74 (2.69)	137 (4.98)	14 (0.51)	7 (0.25)	218 (7.92)
Recipiente vidrio desechable	13 (0.47)	1 (0.04)	12 (0.44)	1 (0.04)	9 (0.33)	3 (0.11)	2 (0.07)	11 (0.40)
Recipiente peltre desechable	3 (0.11)	2 (0.07)	1 (0.04)	2 (0.07)	0 (0.00)	1 (0.04)	0 (0.00)	3 (0.11)
Florero	18 (0.65)	9 (0.33)	9 (0.33)	1 (0.04)	2 (0.07)	15 (0.55)	14 (0.51)	4 (0.15)
Llanta	95 (3.45)	4 (0.15)	91 (3.31)	6 (0.22)	73 (2.65)	16 (0.58)	11 (0.40)	84 (3.05)
W.C.	148 (5.38)	98 (3.55)	50 (1.82)	9 (0.33)	9 (0.33)	130 (4.72)	82 (2.98)	66 (2.40)
Estufa en desuso	2 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	1 (0.04)	1 (0.04)	0 (0.00)	2 (0.07)
Otros (especifique).	51 (1.85)	43 (1.56)	8 (0.29)	17 (0.62)	6 (0.22)	28 (1.02)	8 (0.29)	43 (1.56)
Total	2752 (100.00)	1554 (56.37)	1198 (43.53)	1040 (37.79)	747 (27.14)	965 (35.07)	418 (15.19)	2334 (84.81)

Tabla 8. Relación de criaderos de *Ae aegypti* localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas del 13 al 30 de agosto de 2019 (Continuación).

Categoría	Tipo de llenado			Con agua		Volumen (l)	Características		
	Pasivo	Activo	No	Sí	No		Abierto	Moderadamente abierto	Acceso limitado
Balde o cubeta	119 (4.32)	87 (3.16)	45 (1.64)	118 (4.29)	133 (4.83)	6128.56 (24.42)	246 (8.94)	4 (0.15)	1 (0.04)
Tina metálica	9 (0.22)	6 (0.22)	1 (0.04)	7 (0.25)	5 (0.18)	840.00 (70.00)	12 (0.44)	0 (0.00)	0 (0.00)
Tambo o tonel	31 (0.77)	45 (1.64)	6 (0.22)	66 (2.40)	20 (0.73)	16312.70 (189.68)	74 (2.69)	5 (0.18)	7 (0.25)
Recipiente de plástico	580 (14.34)	147 (5.34)	5 (0.18)	177 (6.43)	106 (3.85)	34840.58 (123.11)	243 (8.83)	4 (0.15)	36 (1.31)
Recipiente de vidrio	52 (1.29)	25 (0.91)	1 (0.04)	20 (0.73)	48 (1.74)	1274.00 (19.01)	10 (0.36)	1 (0.04)	57 (2.07)
Recipiente de peltre	9 (0.22)	0 (0.00)	0 (0.00)	3 (0.11)	1 (0.04)	24.02 (6.01)	4 (0.15)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente de barro	3 (0.07)	1 (0.04)	0 (0.00)	2 (0.07)	1 (0.04)	0.51 (0.17)	2 (0.07)	1 (0.04)	0 (0.00)
Tanque	71 (1.75)	192 (6.98)	2 (0.07)	201 (7.30)	4 (0.15)	347976.80 (1697.45)	198 (7.19)	6 (0.22)	1 (0.04)
Pileta	2 (0.05)	5 (0.18)	1 (0.04)	6 (0.22)	2 (0.07)	523.00 (65.38)	7 (0.25)	0 (0.00)	1 (0.04)
Tinaco	27 (0.67)	30 (1.09)	1 (0.04)	36 (1.31)	2 (0.07)	41000.75 (1078.97)	15 (0.55)	3 (0.11)	20 (0.73)
Cisterna	1 (0.02)	1 (0.04)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	15000.00 (7500.00)	0 (0.00)	1 (0.04)	1 (0.04)
Maceta	670 (16.56)	125 (4.54)	210 (7.63)	57 (2.07)	812 (29.51)	11685.60 (13.45)	866 (31.47)	2 (0.07)	1 (0.04)
Bebedero de animal fijo	6 (0.15)	9 (0.33)	1 (0.04)	27 (0.98)	2 (0.07)	82.95 (2.86)	29 (1.05)	0 (0.00)	0 (0.00)
Comedero de animal fijo	1 (0.02)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	4 (0.15)	0.00 (0.00)	4 (0.15)	0 (0.00)	0 (0.00)
Botella	4 (0.10)	4 (0.15)	27 (0.98)	6 (0.22)	34 (1.24)	0.25 (0.01)	18 (0.65)	5 (0.18)	17 (0.62)
Bote o lata	55 (1.36)	2 (0.07)	58 (2.11)	5 (0.18)	146 (5.31)	52.10 (0.35)	11 (0.40)	1 (0.04)	139 (5.05)
Bebedero de animal móvil	39 (0.96)	19 (0.69)	0 (0.00)	141 (5.12)	1 (0.04)	2117.72 (14.91)	142 (5.16)	0 (0.00)	0 (0.00)
Comedero de animal móvil	3 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	0.00 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente plástico desechable	15 (0.37)	4 (0.15)	5 (0.18)	13 (0.47)	212 (7.70)	1290.59 (5.74)	19 (0.69)	2 (0.07)	204 (7.41)
Recipiente vidrio desechable	86 (2.13)	2 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	11 (0.40)	4.00 (0.31)	2 (0.07)	0 (0.00)	11 (0.40)
Recipiente peltre desechable	1 (0.02)	1 (0.04)	1 (0.04)	2 (0.07)	1 (0.04)	22.00 (7.33)	3 (0.11)	0 (0.00)	0 (0.00)
Florero	3 (0.07)	8 (0.29)	0 (0.00)	18 (0.65)	0 (0.00)	49.40 (2.74)	15 (0.55)	1 (0.04)	2 (0.07)
Llanta	30 (0.74)	4 (0.15)	5 (0.18)	77 (2.80)	18 (0.65)	756.94 (7.97)	90 (3.27)	3 (0.11)	2 (0.07)
W.C.	59 (1.46)	97 (3.52)	13 (0.47)	134 (4.87)	14 (0.51)	1520.50 (10.27)	133 (4.83)	3 (0.11)	12 (0.44)
Estufa en desuso	6 (0.15)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	2 (0.07)	0.00 (0.00)	1 (0.04)	1 (0.04)	0 (0.00)
Otros (especifique).	2169 (53.61)	32 (1.16)	1 (0.04)	47 (1.71)	4 (0.15)	27189.66 (533.13)	28 (1.02)	14 (0.51)	9 (0.33)
Total	1517 (55.12)	846 (30.74)	389 (14.14)	1167 (42.41)	1585 (57.59)	508692.61 (184.91)	2174 (79.00)	57 (2.07)	521 (18.93)

Tabla 9. Relación de estados inmaduros de *Ae aegypti* en criaderos localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 13 al 30 de agosto de 2019.

Categoría	Frecuencia	Positivo	Huevo	1er estadio larval	2o estadio larval	3er estadio larval	4o estadio larval	Suma de larvas	Pupas
Balde o cubeta	251 (9.12)	15 (0.55)	312 (88.14)	35 (4.86)	70 (6.65)	90 (6.33)	81 (4.49)	276(5.52)	63 (9.45)
Tina metálica	12 (0.44)	2 (0.07)	0 (0.00)	20 (2.78)	15 (1.43)	10 (0.70)	50 (2.77)	95 (1.90)	0 (0.00)
Tambo o tonel.	86 (3.13)	17 (0.62)	0 (0.00)	61 (8.47)	126 (11.98)	147 (10.34)	130 (7.21)	464 (9.29)	48 (7.20)
Recipiente de plástico	283 (10.28)	12 (0.44)	21 (5.93)	10 (1.39)	40 (3.80)	63 (4.43)	139 (7.71)	252 (5.04)	5 (0.75)
Recipiente de vidrio	68 (2.47)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	7 (0.49)	10 (0.55)	17 (0.34)	3 (0.45)
Recipiente de peltre	4 (0.15)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	45 (2.50)	45 (0.90)	0 (0.00)
Recipiente de barro	3 (0.11)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.10)	0 (0.00)	1 (0.06)	2 (0.04)	0 (0.00)
Tanque	205 (7.45)	79 (2.87)	13 (3.67)	466 (64.72)	651 (61.88)	897 (63.12)	1029 (57.07)	3043 (60.91)	448 (67.17)
Pileta	8 (0.29)	1 (0.04)	0 (0.00)	7 (0.97)	26 (2.47)	35 (2.46)	15 (0.83)	83 (1.66)	7 (1.05)
Tinaco	38 (1.38)	3 (0.11)	6 (1.69)	9 (1.25)	9 (0.86)	20 (1.41)	6 (0.33)	44 (0.88)	0 (0.00)
Cisterna	2 (0.07)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Maceta	869 (31.58)	6 (0.22)	0 (0.00)	40 (5.56)	6 (0.57)	12 (0.84)	86 (4.77)	144 (2.88)	3 (0.45)
Bebedero de animal fijo	29 (1.05)	1 (0.04)	2 (0.56)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Comedero de animal fijo	4 (0.15)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Botella	40 (1.45)	1 (0.04)	0 (0.00)	6 (0.83)	4 (0.38)	2 (0.14)	4 (0.22)	16 (0.32)	0 (0.00)
Bote o lata	151 (5.49)	3 (0.11)	0 (0.00)	0 (0.00)	3 (0.29)	0 (0.00)	3 (0.17)	6 (0.12)	8 (1.20)
Bebedero de animal móvil	142 (5.16)	5 (0.18)	0 (0.00)	8 (1.11)	7 (0.67)	8 (0.56)	21 (1.16)	44 (0.88)	11 (1.65)
Comedero de animal móvil	2 (0.07)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente plástico desechable	225 (8.18)	4 (0.15)	0 (0.00)	3 (0.42)	7 (0.67)	6 (0.42)	17 (0.94)	33 (0.66)	12 (1.80)
Recipiente vidrio desechable	13 (0.47)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente peltre desechable	3 (0.11)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	8 (0.76)	0 (0.00)	6 (0.33)	14 (0.28)	0 (0.00)
Florero	18 (0.65)	4 (0.15)	0 (0.00)	2 (0.28)	25 (2.38)	36 (2.53)	33 (1.83)	96 (1.92)	0 (0.00)
Llanta	95 (3.45)	7 (0.25)	0 (0.00)	50 (6.94)	43 (4.09)	41 (2.89)	18 (1.00)	152 (3.04)	13 (1.95)
W.C.	148 (5.38)	3 (0.11)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.14)	61 (3.38)	63 (1.26)	0 (0.00)
Estufa en desuso	2 (0.07)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Otros (especifique).	51 (1.85)	10 (0.36)	0 (0.00)	3 (0.42)	11 (1.05)	45 (3.17)	48 (2.66)	107 (2.14)	46 (6.90)
Total	2752 (100.00)	177 (6.43)	354 (100.00)	720 (100.00)	1052 (100.00)	1421 (100.00)	1803 (100.00)	4996 (100.00)	667 (100.00)

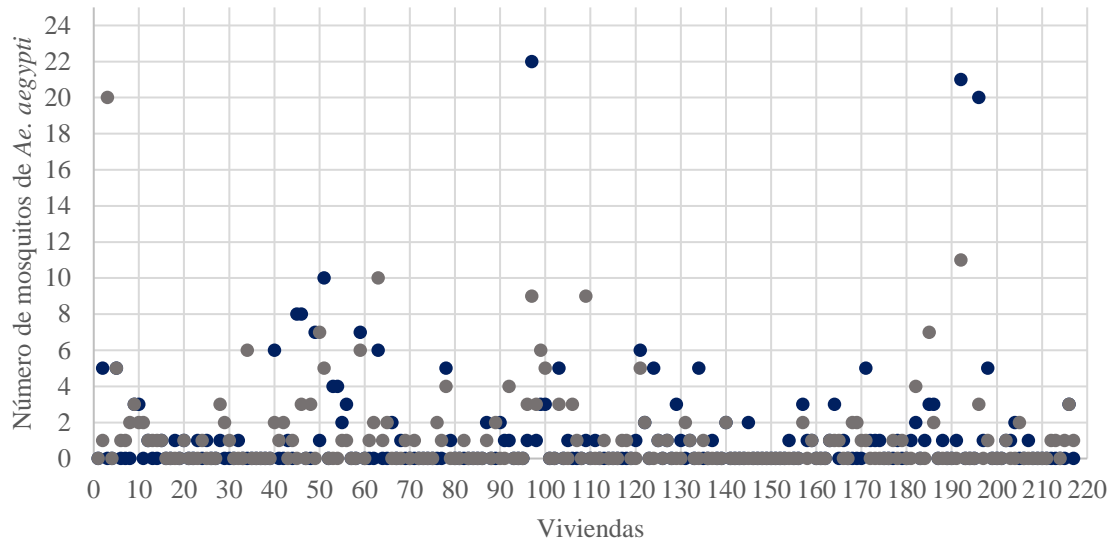


Figura 25. Mosquitos *Ae. aegypti* colectados durante el primer muestreo en El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 13 al 30 de agosto de 2019. En color azul se representan los mosquitos macho y en color gris los mosquitos hembra.

7.1.3.2 Segundo muestreo del 19 al 05 de diciembre de 2019.

Se registraron 72 viviendas positivas para larvas y pupas de *Ae. aegypti* (33,33%), coincidiendo 52 de ellas con la presencia de mosquitos adultos (72,22%). Se localizaron 4,046 recipientes, siendo las macetas (35,39), recipientes de plástico (15,37%) y los baldes y cubetas (4,71%) las categorías más comunes en las viviendas de estudio. Se registraron 2,330 recipientes controlables (57,59%) y 1,716 desechables (42,41%), siendo las macetas las más frecuentes dentro de la categoría de controlables (27,66%) y los recipientes de plástico, los recipientes desechables más frecuentes (13,2%). No se encontraron contenedores de la categoría de estufa en desuso. Para el tipo de sombra, se ubicaron 2,083 recipientes en cielo abierto (51,48%), 1,356 bajo techo de loza o lámina (33,51%) y 607 bajo vegetación (15,00%). A cielo abierto predominaron las macetas (23,16%) y los recipientes de plástico (13,27%), bajo techo, los baldes y cubetas (9,71%), los tanques (4,50%), bebedero animal móvil (3,56%) y macetas (2,94%). Se registraron 574 recipientes en intradomicilio (14,19%) siendo el balde y cubeta (4,70%), tanque (2,27%), y el recipiente de vidrio desechable (1,26%) las categorías más comunes en esta ubicación; mientras que se registraron 3,472 recipientes en peridomicilio (85,81%), siendo las

macetas (34.38%), los recipientes de plástico (14.51%) y el balde o cubeta (10.01%), los recipientes más comunes en el patio de las viviendas (Tabla 10).

Asimismo, 2,169 (53.61) fueron recipientes con llenado pasivo (lluvia) y 656 (16.21%) con llenado activo (agua potable), mientras que 1,221 (30.18%) fueron recipientes que no contienen agua y/o no son usados como almacenamiento temporal de agua. Dentro de los recipientes con llenado pasivo, las macetas (16.56%), los recipientes de plástico (14.34%) y los baldes y cubetas fueron las categorías más comunes, mientras que, para los recipientes de llenado activo, los tanques (3.19%), los baldes y cubetas (2.87%) y las macetas (2.08%) fueron los más frecuentes (Tabla 10). Al momento de la encuesta, sólo 1,115 (27.56%) recipientes se encontraron con agua, siendo la categoría de baldes y cubetas (7.69%), los tanques (4.89%) y bebedero animal móvil (4.28%), las más frecuentes. El volumen de agua total y promedio registrado en todos los recipientes localizados fue de 464,674.66 l y 114.85 l respectivamente, siendo los tanques los que presentaron mayor volumen (370,383.00 l, 1,824%) (Tabla 10).

Por otro lado, de los 1,115 recipientes con agua, 84 se registraron positivos a estados inmaduros de *Ae. aegypti* (Figura 26) en once diferentes categorías. El tanque de cemento fue el tipo de criadero más positivo y productivo para estados inmaduros de *Ae aegypti* (29.56%), donde se registraron un total de 3,711 larvas (73.67%) y 949 pupas (87.06%).



Figura 26. Criadero de larvas y pupas de *Ae. aegypti* con presencia de huevos y mosquitos adultos.

Tabla 10. Criaderos de *Ae aegypti* por categoría localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019.

Categoría	Frecuencia %	Utilidad			Tipo de sombra		Ubicación	
		Controlable %	Desechable %	Ninguna %	Bajo Vegetación %	Sombra %	Intradomiciliar %	Peridomiciliar %
Balde o cubeta	595 (14.71)	429 (10.60)	166 (4.10)	158 (3.91)	44 (1.09)	393 (9.71)	190 (4.70)	405 (10.01)
Tina metálica	18 (0.44)	11 (0.27)	7 (0.17)	7 (0.17)	3 (0.07)	8 (0.20)	2 (0.05)	16 (0.40)
Tambo o tonel	67 (1.66)	60 (1.48)	7 (0.17)	19 (0.47)	6 (0.15)	42 (1.04)	22 (0.54)	45 (1.11)
Recipiente de plástico	622 (15.37)	88 (2.17)	534 (13.20)	537 (13.27)	11 (0.27)	74 (1.83)	35 (0.87)	587 (14.51)
Recipiente de vidrio	56 (1.38)	21 (0.52)	35 (0.87)	15 (0.37)	0 (0.00)	41 (1.01)	21 (0.52)	35 (0.87)
Recipiente de peltre	12 (0.30)	2 (0.05)	10 (0.25)	4 (0.10)	3 (0.07)	5 (0.12)	1 (0.02)	11 (0.27)
Recipiente de barro	4 (0.10)	2 (0.05)	2 (0.05)	0 (0.00)	2 (0.05)	2 (0.05)	1 (0.02)	3 (0.07)
Tanque	203 (5.02)	185 (4.57)	18 (0.44)	14 (0.35)	7 (0.17)	182 (4.50)	92 (2.27)	111 (2.74)
Pileta	7 (0.17)	7 (0.17)	0 (0.00)	5 (0.12)	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)	7 (0.17)
Tinaco	50 (1.24)	47 (1.16)	3 (0.07)	40 (0.99)	6 (0.15)	4 (0.10)	0 (0.00)	50 (1.24)
Cisterna	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)
Maceta	1432 (35.39)	1119 (27.66)	313 (7.74)	937 (23.16)	376 (9.29)	119 (2.94)	41 (1.01)	1391 (34.38)
Bebedero de animal fijo	13 (0.32)	13 (0.32)	0 (0.00)	4 (0.10)	3 (0.07)	6 (0.15)	0 (0.00)	13 (0.32)
Comedero de animal fijo	2 (0.05)	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.05)	0 (0.00)	2 (0.05)
Botella	168 (4.15)	45 (1.11)	123 (3.04)	91 (2.25)	44 (1.09)	33 (0.82)	21 (0.52)	147 (3.63)
Bote o lata	252 (6.23)	0 (0.00)	252 (6.23)	176 (4.35)	50 (1.24)	26 (0.64)	0 (0.00)	252 (6.23)
Bebedero de animal móvil	180 (4.45)	157 (3.88)	23 (0.57)	29 (0.72)	7 (0.17)	144 (3.56)	20 (0.49)	160 (3.95)
Comedero de animal móvil	6 (0.15)	4 (0.10)	2 (0.05)	1 (0.02)	2 (0.05)	3 (0.07)	1 (0.02)	5 (0.12)
Recipiente plástico desechable	21 (0.52)	3 (0.07)	18 (0.44)	15 (0.37)	0 (0.00)	6 (0.15)	0 (0.00)	21 (0.52)
Recipiente vidrio desechable	86 (2.13)	12 (0.30)	74 (1.83)	0 (0.00)	24 (0.59)	62 (1.53)	51 (1.26)	35 (0.87)
Recipiente peltre desechable	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)
Florero	11 (0.27)	4 (0.10)	7 (0.17)	0 (0.00)	0 (0.00)	11 (0.27)	11 (0.27)	0 (0.00)
Llanta	111 (2.74)	24 (0.59)	87 (2.15)	17 (0.42)	14 (0.35)	80 (1.98)	6 (0.15)	105 (2.60)
W.C.	71 (1.75)	39 (0.96)	32 (0.79)	3 (0.07)	1 (0.02)	67 (1.66)	25 (0.05)	25 (0.40)
Estufa en desuso.	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Otros (especifique).	57 (1.41)	56 (1.38)	1 (0.02)	10 (0.25)	3 (0.07)	44 (1.09)	27 (0.05)	45 (0.40)
Total	4046 (100.00)	2330 (57.59)	1716 (42.41)	2083 (51.48)	607 (15.00)	1356 (33.51)	574 (14.19)	3472 (85.81)

Tabla 10. Criaderos de *Ae. aegypti* por categoría localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019

(Continuación).

Categoría	Llenado			Con agua		Volumen	Características del recipiente		
	Pasivo %	Activo %	No %	Sí %	No %	Total %	Abierto	Moderadamente abierto	Acceso limitado
Balde o cubeta	406 (10.03)	116 (2.87)	73 (1.80)	311 (7.69)	284 (7.02)	12280.00 (20.64)	591 (14.61)	3 (0.07)	1 (0.02)
Tina metálica	9 (0.22)	6 (0.15)	3 (0.07)	12 (0.30)	6 (0.15)	3005.00 (166.94)	17 (0.42)	0(0.00)	1 (0.02)
Tambo o tonel	31 (0.77)	33 (0.82)	3 (0.07)	55 (1.36)	12 (0.30)	11508.02 (171.76)	62 (1.53)	0(0.00)	5 (0.12)
Recipiente de plástico	580 (14.34)	26 (0.64)	16 (0.40)	73 (1.80)	549 (13.57)	7778.05 (12.50)	117 (2.89)	504 (12.46)	1 (0.02)
Recipiente de vidrio	52 (1.29)	0 (0.00)	4 (0.10)	17 (0.42)	39 (0.96)	1005.75 (17.96)	41 (1.01)	0(0.00)	15 (0.37)
Recipiente de peltre	9 (0.22)	1 (0.02)	2 (0.05)	10 (0.25)	2 (0.05)	580.20 (48.35)	12 (0.30)	0(0.00)	0 (0.00)
Recipiente de barro	3 (0.07)	0 (0.00)	1 (0.02)	2 (0.05)	2 (0.05)	0.45 (0.11)	4 (0.10)	0(0.00)	0 (0.00)
Tanque	71 (1.75)	129 (3.19)	3 (0.07)	196 (4.84)	7 (0.17)	370383.00 (1854.55)	201 (4.97)	1(0.02)	1 (0.02)
Pileta	2 (0.05)	4 (0.10)	1 (0.02)	4 (0.10)	3 (0.07)	271.00 (38.71)	7 (0.17)	0(0.00)	0 (0.00)
Tinaco	27 (0.67)	21 (0.52)	2 (0.05)	25 (0.62)	25 (0.62)	21550.00 (532.62)	36 (0.89)	0(0.00)	14 (0.35)
Cisterna	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	5000.00 (5000.00)	0 (0.00)	1(0.02)	0 (0.00)
Maceta	670 (16.56)	84 (2.08)	678 (16.76)	35 (0.87)	1397 (34.53)	144.00 (0.10)	1419 (35.07)	3(0.07)	10 (0.25)
Bebedero de animal fijo	6 (0.15)	7 (0.17)	0 (0.00)	13 (0.32)	0 (0.00)	143.55 (11.04)	13 (0.32)	0(0.00)	0 (0.00)
Comedero de animal fijo	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)	2 (0.05)	0 (0.00)	2.00 (1.00)	2 (0.05)	0(0.00)	0 (0.00)
Botella	4 (0.10)	24 (0.59)	140 (3.46)	24 (0.59)	144 (3.56)	6.00 (0.04)	144 (3.56)	10 (0.25)	14 (0.35)
Bote o lata	55 (1.36)	0 (0.00)	197 (4.87)	0 (0.00)	252 (6.23)	0.00 (0.00)	103 (2.55)	9 (0.22)	140 (3.46)
Bebedero de animal móvil	39 (0.96)	137 (3.39)	4 (0.10)	173 (4.28)	7 (0.17)	1239.95 (6.89)	180 (4.45)	0(0.00)	0 (0.00)
Comedero de animal móvil	3 (0.07)	2 (0.05)	1 (0.02)	4 (0.10)	2 (0.05)	8.20 (1.37)	6 (0.15)	0(0.00)	0 (0.00)
Recipiente plástico desechable	15 (0.37)	1 (0.02)	5 (0.12)	5 (0.12)	16 (0.40)	18.00 (0.86)	21 (0.52)	0(0.00)	0 (0.00)
Recipiente vidrio desechable	86 (2.13)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.05)	84 (2.08)	2.50 (0.03)	2 (0.05)	0(0.00)	84 (2.08)
Recipiente peltre desechable	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	0.00 (0.00)	1 (0.02)	0(0.00)	0 (0.00)
Florero	3 (0.07)	2 (0.05)	6 (0.15)	5 (0.12)	6 (0.15)	3.50 (0.32)	11 (0.27)	0(0.00)	0 (0.00)
Llanta	30 (0.74)	0 (0.00)	81 (2.00)	19 (0.47)	92 (2.27)	76.50 (0.69)	111 (2.74)	0(0.00)	0 (0.00)
W.C.	59 (1.46)	12 (0.30)	0 (0.00)	71 (1.75)	0 (0.00)	265.00 (3.73)	67 (1.66)	1(0.02)	3 (0.07)
Estufa en desuso.	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Otros (especifique).	6 (0.15)	50 (1.24)	1 (0.02)	56 (1.38)	1 (0.02)	29404.00 (515.86)	38 (0.94)	8 (0.20)	11 (0.27)
Total	2169 (53.61)	656 (16.21)	1221 (30.18)	1115 (27.56)	2931 (72.44)	464674.66 (114.85)	3206 (79.24)	540 (13.35)	300 (7.41)

Catorce clasificaciones de contenedores/recipientes resultaron negativos a la presencia de larvas o pupas de *Ae aegypti*. En total se encontraron 7,024 larvas (32.669 ± 92.111), 353 (1.642 ± 9.323), 1,634 (7.597 ± 22.105), 2,473 (11.502 ± 35.864) y 2.564 (11.926 ± 35.634) de primero, segundo, tercero y cuarto estadio, respectivamente. Asimismo, se contabilizaron 1,090 pupas (5.069 ± 15.074) [Tabla 11].



Figura 27. Búsqueda y colecta de mosquitos adultos de *Ae. aegypti* en el interior de las viviendas.

Finalmente, mediante la búsqueda y registro de mosquitos adultos en las 216 viviendas encuestadas (Figura 27), se registraron un total de 349 mosquitos de *Ae. aegypti* (1.615 ± 3.487). Se encontraron 175 mosquitos hembra (0.810 ± 2.001): 71 hembras grávidas (40.57 %), 61 hembras sin sangre (34.86%), 34 hembras con sangre negra (19.43 %), seis hembras con sangre roja y negra (3.43 %) y tres hembras con sangre roja (1.71 %). Además, se registraron 174 mosquitos macho (0.805 ± 1.865). 104 viviendas se encontraron positivas a mosquitos adultos de *Ae. aegypti* (48,15%); de las cuales, 75 casas fueron positivas para mosquito hembra (34.72%) y 72 casas para mosquito macho (33.33%). Las viviendas presentaron un promedio de 0.81 mosquitos hembra y 0.80 mosquitos macho del mencionado vector. Se registraron 42 viviendas con el 62.07% de mosquitos macho colectados (108 mosquitos), siendo 6 viviendas, las que presentaron 5 o más mosquitos macho. Mientras tanto, en 38 viviendas se colectaron el 50% de los mosquitos hembra (88 mosquitos), siendo en 7 viviendas, donde se registraron 5 o más mosquitos hembra. Coincidiendo 4 viviendas con la presencia de 5 o más mosquitos macho y 5 o más mosquitos hembra (Figura 28).

Tabla 11. Relación de estados inmaduros de *Ae aegypti* localizados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas, del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019.

Categoría	Frecuencia	Positivo	1er estadio larval	2o estadio larval	3er estadio larval	4o estadio larval	Suma de larvas	Pupas
Balde o cubeta	595 (14.71)	6 (1.01)	7 (198)	28 (1.71)	60 (2.43)	109 (4.25)	169 (3.36)	36 (3.30)
Tina metálica	18 (0.44)	1 (5.56)	20 (5.67)	18 (1.10)	15 (0.61)	20 (0.78)	35 (0.69)	20 (1.83)
Tambo o tonel.	67 (1.66)	6 (8.96)	28 (7.93)	141 (8.63)	193 (7.80)	203 (7.92)	396 (7.86)	59 (5.41)
Recipiente de plástico	622 (15.37)	5 (0.80)	0 (000)	41 (2.51)	77 (3.11)	48 (1.87)	125 (2.48)	6 (0.55)
Recipiente de vidrio	56 (1.38)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente de peltre	12 (0.30)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente de barro	4 (0.10)	1 (25.00)	0 (000)	11 (0.67)	0 (0.00)	11 (0.43)	11 (0.22)	0 (0.00)
Tanque	203 (5.02)	60 (29.56)	298 (84.42)	1365 (83.54)	1844 (74.57)	1867 (72.82)	3711 (73.67)	949 (87.06)
Pileta	7 (0.17)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Tinaco	50 (1.24)	1 (2.00)	0 (000)	10 (0.61)	15 (0.61)	31 (1.21)	46 (0.91)	10 (0.92)
Cisterna	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Maceta	1432 (35.39)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Bebedero de animal fijo	13 (0.32)	1 (7.69)	0 (000)	0 (0.00)	250 (10.11)	250 (9.75)	500 (9.93)	0 (0.00)
Comedero de animal fijo	2 (0.05)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Botella	168 (4.15)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Bote o lata	252 (6.23)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Bebedero de animal móvil	180 (4.45)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Comedero de animal móvil	6 (0.15)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente plástico desechable	21 (0.52)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Recipiente vidrio desechable	86 (2.13)	1 (1.16)	0 (000)	0 (0.00)	8 (0.32)	6 (0.23)	14 (0.28)	0 (0.00)
Recipiente peltre desechable	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Florero	11 (0.27)	1 (9.09)	0 (000)	8 (0.49)	3 (0.12)	16 (0.62)	19 (0.38)	4 (0.37)
Llanta	111 (2.74)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
W.C.	71 (1.75)	1 (1.41)	0 (000)	12 (0.73)	8 (0.32)	3 (0.12)	11 (0.22)	6 (0.55)
Otros (especifique).	57 (1.41)	0 (0.00)	0 (000)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Total	4046 (100.00)	84 (2.08)	353 (100.00)	1634 (100.00)	2473 (100.00)	2564 (100.00)	5037 (100.00)	1090 (100.00)

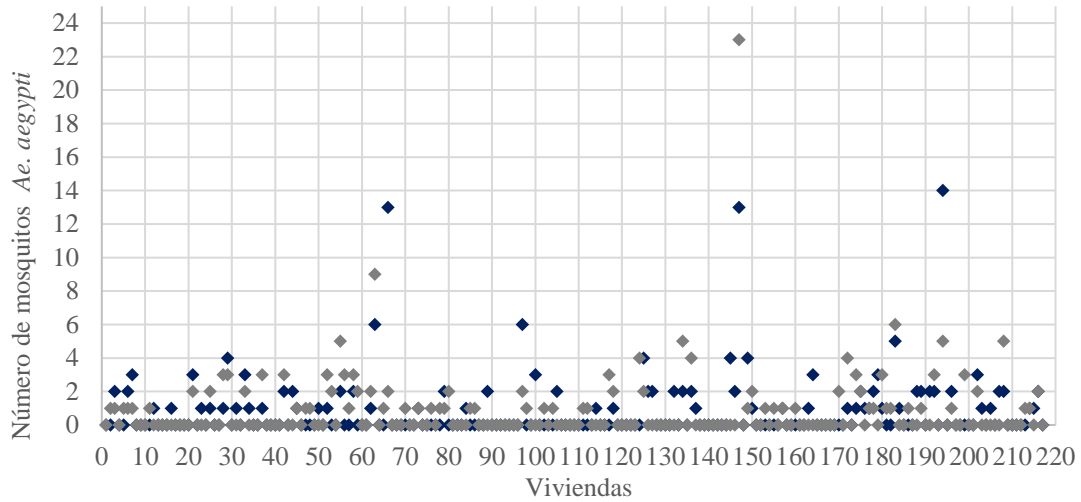


Figura 28. Mosquitos *Ae. aegypti* colectados en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. En color azul se representan los mosquitos macho y en color gris los mosquitos hembra.

Este estudio permitió explorar nuevos indicadores referentes al hábitat (paisaje) donde se desarrolla el vector *Ae. aegypti* durante su ciclo de vida, además de los indicadores que se registraron en las visitas domiciliarias. Por ejemplo, a través del ICV realizado por medio de visitas domiciliarias se registra la sombra en el patio, pero con las fotografías aéreas y cartografía especializada RGB (realizada con estas fotografías), se obtienen nuevos indicadores como la sombra (SomDrone), cobertura de edificación (CobEdi) y cobertura vegetal (CobVege) [Figura 29], los cuales se utilizaron en los análisis estadísticos y modelaje de riesgo posteriores (Objetivos 2 y 3 ver Tabla 3 y 4).



Figura 29. Ejemplo del contraste en la obtención de los indicadores Sombra del Patio (encuestas domiciliarias), Sombra Drone y Cobertura Vegetal (Foto aérea/cartografía especializada RGB): a) Sombra del Patio 1 (Menor a 25%) y Sombra Drone (Mayor a 50%) y b) Sombra del Patio 1 (Menor a 25%) y Cobertura Vegetal (Mayor a 50%).

7.2 Objetivo específico 2.

7.2.1 Asociación entre variables.

Para al primer muestreo, las correlaciones significativas ($p < 0.05$) fueron las que a continuación se enlistan: Se encontró una correlación positiva de 0.160 (muy baja), 0.516 (moderada), 0.562 (moderada) y 0.385 (baja) para el índice de criaderos con respecto a las variables dependientes de mosquitos adultos, suma de larvas, larvas de 3° y 4° estadio y pupas de *Ae. aegypti*. Asimismo, se encontró una correlación negativa de -0.177 (muy baja) entre el Índice de Condición de la Vivienda y de -0.268 (Baja) entre el Índice de Condición de la Vivienda Modificado y los mosquitos adultos. Siendo con los mosquitos adultos, se encontró una correlación positiva de 0.207 (Baja) para el tipo de llenado (criaderos), una negativa de -0.187 (Muy baja) para el techo (material), de -0.016 (Muy baja) para la apariencia del techo, de -0.155 (Muy baja) para la apariencia de las paredes y de -0.171 (Muy baja) para la apariencia del piso (viviendas) [Tabla 12].

Tabla 12. Coeficiente de correlación de Spearman entre los factores demográficos, socioeconómicos y ambientales con la abundancia de mosquitos *Ae. aegypti* (adultos, larvas y pupas) del primer muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Realizado del 13 al 30 de agosto de 2019.

	Mosquitos	Larvas ¹	Larvas ²	Pupas
<i>Indicadores de vivienda</i>				
ICV	-0.177*	-0.108	-0.107	-0.106
ICVm	-0.268*	-0.081	-0.085	-0.055
<i>Paisaje</i>				
CobEDI	-0.073	-0.041	-0.059	-0.048
CobVEGE	0.064	0.072	0.041	0.100
<i>Criaderos (entomológica)</i>				
Utilidad	0.085	0.0297	0.036	-0.083
Sombra	-0.083	-0.046	-0.062	-0.103
Ubicación	-0.006	-0.113	-0.058	-0.019
Tipollenado	0.207*	0.048	0.137	0.201*
Con agua	0.059	-0.262	-0.217	-0.058
Volumen	-0.077	0.241	0.162	-0.035
Características	0.022	0.012	0.064	-0.061
CATE_Criadero	0.160*	0.516*	0.562*	0.385*

* La correlación es significativa a un $p < 0,05$ (2-colas).

¹ Larvas de 1°, 2°, 3° y 4° estadio. ² Larvas de 3° y 4° estadio.

Tabla 12. Coeficiente de correlación de Spearman entre los factores demográficos, socioeconómicos y ambientales con la abundancia de mosquitos *Ae. aegypti* (adultos, larvas y pupas) del primer muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Realizado del 13 al 30 de agosto de 2019 (Continuación).

	Mosquitos	Larvas ¹	Larvas ²	Pupas
<i>Características de la vivienda (socioeconómica)</i>				
Techo	-0.187*	-0.010	-0.039	-0.099
Pared	-0.016	-0.009	-0.008	-0.072
Piso	0.113	0.019	-0.046	-0.022
Apte	-0.156*	0.108	0.096	-0.146*
Appa	-0.155*	0.076	0.043	-0.092
Appi	-0.171*	0.101	0.069	-0.111
Renta	0.012	-0.069	-0.137	-0.066
F_agua	0.075	0.216	0.269	0.076
Cisterna	-0.008	0.050	0.052	-0.033
Tiempo	-0.024	0.038	0.040	-0.046
Desechos	0.025	0.107	0.044	0.092
CATE_Ventana	0.048	-0.007	-0.015	-0.005
CATE_Hacina	0.094	0.022	0.054	-0.047
CATE_SocioE	-0.102	0.075	0.028	-0.103

* La correlación es significativa a un $p < 0,05$ (2-colas)

¹ Larvas de 1°, 2°, 3° y 4° estadio. ² Larvas de 3° y 4° estadio.

Asimismo, es importante mencionar que se obtuvo una correlación positiva de 0.866 (Alta) y 0.378 (Baja) para las larvas con respecto a larvas de 3° y 4° estadio y las pupas respectivamente; y de 0.420 (Moderada) para larvas de 3° y 4° estadio y pupas. Se obtuvo una correlación negativa de -0.510 (Moderada) entre la cobertura de la vegetación y la cobertura de edificación. Cabe puntualizar que se determinó una correlación positiva de 0.929 (Muy alta) entre la apariencia del techo y la apariencia del piso, de 0.930 (Muy alta) y de 0.961 (Muy alta) entre la apariencia de la pared, con la apariencia del techo y del piso, respectivamente. Finalmente, se determinaron correlaciones positivas de 0.644, 0.671 y 0.660 (moderadas) para el índice socioeconómico y la apariencia del techo, pared y piso, respectivamente. El resto de las correlaciones mostraron valores muy bajos y/o no fueron estadísticamente significativas.

En referencia al segundo muestreo, las correlaciones significativas ($p < 0.05$) fueron las siguientes: Se encontró una correlación positiva de 0.201 (Baja), 0.596 (moderada), 0.631 (moderada) y 0.542 (moderada) para el índice de criaderos con respecto a las variables dependientes de mosquitos adultos, suma de larvas, larvas de 3° y 4° estadio y pupas de *Ae. aegypti*. Asimismo, para los mosquitos adultos, se encontró una correlación negativa de -0.185 (Muy baja) con el Índice de Condición de la Vivienda, -0.191 (Muy baja) con el Índice de Hacinamiento y de -0.184 (Muy baja) con el Índice Socioeconómico (Tabla 13).

Tabla 13. Coeficiente de correlación de Spearman entre los factores demográficos, socioeconómicos y ambientales con la abundancia de mosquitos *Ae. aegypti* (adultos, larvas y pupas) del segundo muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Realizado del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019.

	Mosquitos	Larvas ¹	Larvas ²	Pupas
<i>Indicadores de vivienda</i>				
ICV	-0.185*	-0.074	-0.033	-0.019
ICVm	-0.108	0.005	0.032	0.020
<i>Paisaje</i>				
CIGreen	0.029	-0.090	-0.062	-0.091
NDVIRE	0.013	-0.129	-0.075	-0.108
GNDVI	0.035	-0.119	-0.073	-0.115
NDVI	0.034	-0.112	-0.058	-0.061
<i>Criaderos (entomológica)</i>				
Utilidad	-0.034	0.014	0.004	-0.030
Sombra	0.083	0.041	0.067	0.054
Ubicación	-0.076	-0.113	-0.093	-0.050
Tipollenado	0.034	0.015	0.039	0.023
Con agua	0.027	0.034	0.065	0.064
Volumen	0.021	-0.011	0.085	0.055
Características	0.053	-0.029	-0.016	0.054
CATE_Criadero	0.201*	0.596*	0.631*	0.542*
<i>Características de la vivienda (socioeconómica)</i>				
Techo	-0.152	-0.084	-0.063	-0.120
Pared	-0.131	-0.023	0.000	-0.085
Piso	-0.017	-0.031	0.004	-0.016

* La correlación es significativa a un $p < 0,05$ (2-colas)

¹ Larvas de 1°, 2°, 3° y 4° estadio. ² Larvas de 3° y 4° estadio.

Tabla 13. Coeficiente de correlación de Spearman entre los factores demográficos, socioeconómicos y ambientales con la abundancia de mosquitos *Ae. aegypti* (adultos, larvas y pupas) del segundo muestreo en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Realizado del 19 de noviembre al 05 de diciembre de 2019 (Continuación).

	Mosquitos	Larvas	Larvas2	Pupas
Características de la vivienda (socioeconómica)				
Apte	-0.051	0.030	0.031	0.080
Appa	-0.050	0.010	0.006	0.057
Appi	-0.038	0.016	0.014	0.063
Renta	0.088	-0.073	-0.069	0.025
F_agua	-0.129	0.072	0.085	0.070
Cisterna	0.044	0.045	0.045	0.034
Tiempo	-0.027	0.064	0.064	0.048
Desechos	0.070	0.122	0.122	0.091
CATE_Ventana	-0.066	-0.017	0.034	0.020
CATE_Hacina	-0.191*	0.009	0.045	-0.001
CATE_SocioE	-0.184*	-0.081	-0.026	-0.029

* La correlación es significativa a un $p < 0,05$ (2-colas)

¹ Larvas de 1°, 2°, 3° y 4° estadio. ² Larvas de 3° y 4° estadio.

Asimismo, es importante mencionar que se obtuvo una correlación positiva de 0.892 y 0.80 (Altas) entre el índice CIGreen y los índices GNDVI y NDVI respectivamente, de 0.758, 0.780 y 0.793 (Altas) entre el índice NDVIRE y los índices CIGreen, GNDVI y NDVI, respectivamente. Una correlación positiva de 0.854 (Alta) entre el GNDVI y el NDVI. Es importante mencionar que se obtuvo una correlación positiva de 0.925 y 0.70 (Altas) para las larvas con respecto a larvas de 3° y 4° estadio y las pupas respectivamente; y de 0.745 (Alta) para larvas de 3° y 4° estadio y pupas. Finalmente, se determinaron correlaciones positivas de 0.655, 0.654 y 0.659 (moderadas) para el índice socioeconómico y la apariencia del techo, pared y piso, respectivamente. El resto de las correlaciones mostraron valores muy bajos y/o no fueron estadísticamente significativas.

En cuanto al segundo análisis, para la densidad de Kernel en relación con los multispectrales de los indicadores de vegetación NDVI y NDVIRE, presentó franjas de alta densidad en la periferia de El Vergel y media densidad en la mayoría de la localidad (Figura 30).

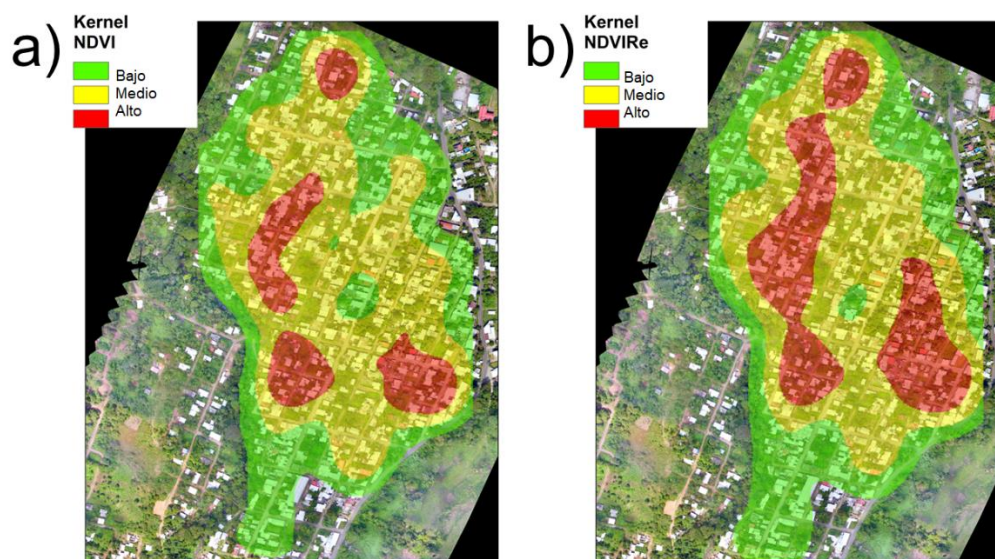


Figura 30. Análisis de Kernel de valores multispectrales de a) NDVI y b) NDVIRE en El Vergel, Tapachula, Chiapas

El modelo de regresión de Poisson, realizado específicamente para el segundo muestreo. Las variables biológicas como la densidad promedio de mosquitos; estadios inmaduros de *Ae. aegypti* y variables físicas como las bandas multispectrales (NDVIRE y NDVI) seleccionadas para el análisis de los modelos, mostraron una distribución normal en sus promedios y desviación estándar, colectados en las 216 viviendas incluidas en el estudio (Tabla 14).

Tabla 14. Variables empleadas en el modelo de regresión realizado.

Variable	Obs	Media	Desviación Estándar	Min	Max
Mosquitos	216	1.615741	3.48759	0	36
Larvas	216	32.51852	91.92302	0	690
NDVIRE	216	0.106139	0.124767	-.121	.47
NDVI	216	0.187083	0.225132	-.135	0.739

Un análisis de regresión de poisson (modelo univariado y bivariado) entre la densidad de adultos de *Ae. aegypti* y los indicadores de vegetación NDVIRE y NDVI con valores de P significativos <0.05 en los coeficientes de determinación, identificó que cada cambio en los niveles de los pixeles indica un aumento en la densidad de adultos de *Ae. aegypti* en las viviendas del área de estudio. El modelo (modelo univariado y bivariado) para los estadios inmaduros de la densidad de larvas de *Ae. aegypti*, no fue significativo $p > 0.05$ (Tabla 15). El primer modelo de análisis para la densidad de adultos fue $\text{Log}(\text{número de adultos}) = -0.38 + 2.63(\text{var1}) + 2.83(\text{var2}) - 1.85(\text{var1}) - 2.03(\text{var2})$. El primer modelo de análisis para la densidad de larvas $\text{Log}(\text{número de larvas}) = 4.25 + 0.71(\text{var1}) + 0.69(\text{var2}) - 1.57(\text{var1}) - 1.77(\text{var2})$.

Tabla 15. Regresión binomial negativa para mosquitos y larvas de *Ae. aegypti* con valores significativos de z o t-test (<0.05) con altos y significativos coeficientes de regresión para adultos.

Mosquitos adultos	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Intervalo de confianza]	
NDVIRE						
Medio	2.638655	.8260842	3.19	0.001	1.01956	4.257751
Alto	2.830434	.9865236	2.87	0.004	.8968835	4.763985
NDVI						
Medio	-1.855649	.7026859	-2.64	0.008	-3.232889	-.4784103
Alto	-2.038434	.8788256	-2.32	0.020	-3.7609	-.3159676
y-intersecto	-.3807607	.4966298	-0.77	0.443	-1.354137	.5926157
/lnalpha	.7890354	.1608009			0.4738714	1.104199
Larvas						
	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Intervalo de confianza]	
NDVIRE						
Medio	1.283587	2.296898	0.56	0.576	-3.21825	5.785424
Alto	1.348301	2.673607	0.50	0.614	-3.891873	6.588476
NDVI						
Medio	-2.054335	2.139535	-0.96	0.337	-6.247748	2.139077
Alto	-2.324562	2.527476	-0.92	0.358	-7.278325	2.6292
y-intersect	4.155949	0.9184475	4.52	0.000	2.355825	5.956073
/lnalpha	2.60127	0.1329232			2.340746	1.104199
alpha	13.48085	1.791918			10.38898	17.4929

Prueba de razón de verosimilitud de alfa=0: $\text{chibar2}(01) = 2.1e+04$ Prob>=chibar2 = 0.000

7.3 Objetivo específico 3.

7.3.1 Restricciones espaciales. Matriz de conectividad.

Se generó una configuración de clúster mediante el uso de clústeres jerárquicos aglomerativos con restricciones espaciales, el criterio para definir las conectividades se basó en $k = 3$ vecinos más cercanos (NN), y se incluyeron todas las variables independientes relacionadas con las casas de nuestro conjunto de datos (Tabla 4). Se utilizó PCA para resumir la información de 100 puntos o píxeles por casa. Se probaron 1 a 5 componentes principales, pero los resultados no fueron significativamente diferentes, por lo que solo se usó el primer componente principal como resumen de la información de píxeles por casa. En la Figura 31 se muestran las conectividades inducidas por C usando los centroides de los polígonos, definiendo las casas y la configuración del cluster de casas según 4 regiones. Se agregó un variable categórica a nuestro conjunto de datos que representa la región asignada a cada casa.

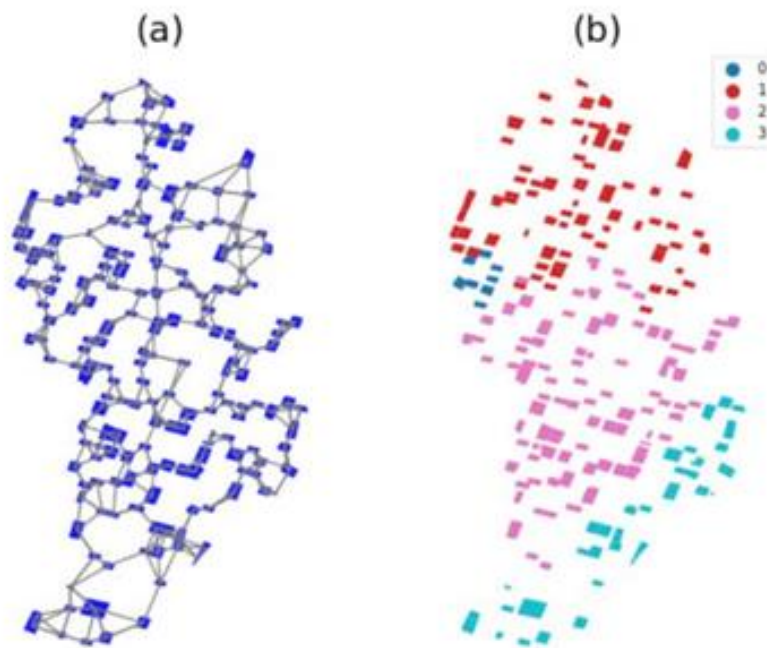


Figura 31. Agrupamiento jerárquico con restricciones de conectividad de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. (a) Distribución espacial de las casas y sus conectividades con $k = 3$ NN. (b) Estructura de conglomerados con 4 regiones o conglomerados.

7.3.2 Índice de riesgo de casa aédica y generación de mapas.

Para construir el índice univariado con PLS, se utilizaron diferentes variables dependientes Y . En todos los casos, nuestro índice se define como $\gamma = \tilde{X}a_1$, un vector de longitud n , y corresponde a la primera puntuación PLS. Se usaron Y univariada y multivariada como variable dependiente para PLS. Las variables dependientes univariadas fueron Y_{larvas} , Y_{pupas} y $Y_{mosquitos}$, mientras que las multivariadas incluyen todas las variables anteriores concatenadas por columnas, dando como resultado una matriz Y_{all} de tamaño $n \times 3$.

Nuestro índice propuesto es univariante y corresponde a la primera puntuación obtenida con PLS, que se escaló entre cero y uno. En la Figura 32 se muestra el índice de riesgo a nivel de casa basado en PLS para cada variable dependiente y definida *a priori*. Esta cifra confirma la similitud entre todos los índices.

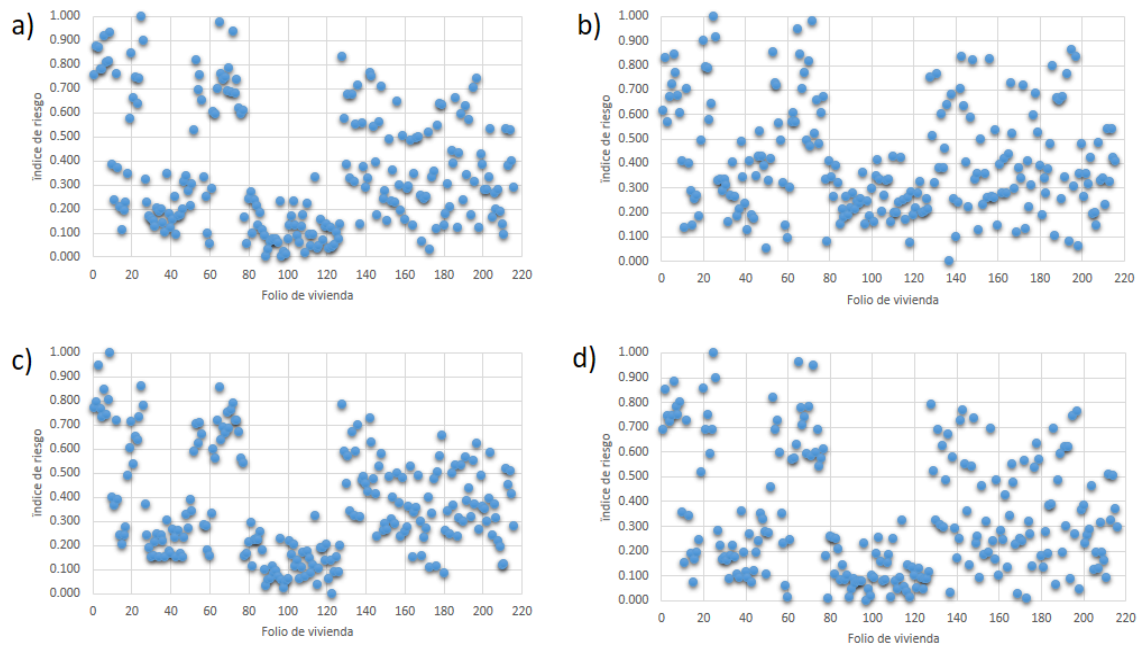


Figura 32. Índice de riesgo para *Ae. aegypti* “Casa aédica” para: a) Larvas, b) Pupas, c) Mosquitos y d) Todos los estados de *Ae. aegypti*. de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Es notorio que tanto para larvas, pupas, adultos y todos los estados de *Ae. aegypti*, el índice de riesgo es menor a 0.5 en las casas con folio 80 a 120, viviendas que se encuentran en el centro de la Colonia El Vergel (Figura 32); cuyas características son

diferentes al resto de las viviendas de la mencionada colonia en varios aspectos: Techos de loza y piso de cemento, disposición de servicios básicos eficiente, menor cobertura arbórea, mayor presencia de negocios, entre otros. Frente a las viviendas de la periferia, que se caracterizan por tener mayor vegetación cubierta, techos de lámina, deficiencia en la prestación de servicios y constante movimiento de población; lo que puede representar un mayor riesgo de transmisión del dengue en estas áreas en particular.

En la Figura 33, se muestra la distribución geográfica de las casas, representadas con polígonos y el índice de riesgo de cada vivienda para cada una de las variables dependientes (larvas, pupas y adultos de *Ae. aegypti*). Con respecto al índice de riesgo determinado para larvas de *Ae. aegypti*, 89 viviendas presentaron un índice de riesgo bajo (0.00- 0.22), 69 viviendas riesgo medio (0.23-0.50) y 58 viviendas riesgo alto (0.51-1.00). En cuanto al índice de riesgo determinado para pupas de *Ae. aegypti*, 89 viviendas presentaron un índice de riesgo bajo (0.00-0.30), 78 viviendas riesgo medio (0.31-0.54) y 54 viviendas riesgo alto (0.55-1.00). Con relación al índice de riesgo para mosquitos de *Ae. aegypti*, 84 viviendas presentaron un índice de riesgo bajo (0.00-0.26), 78 viviendas riesgo medio (0.27-0.52) y 54 viviendas riesgo alto (0.53-1.00).

Asimismo, un índice de riesgo bajo (menor al 0.5) para larvas, pupas, adultos y todos los estados de *Ae. aegypti*, se definió en el 69.4% (150 viviendas), 70.4% (152), 71.8% (155) y 70.4% (152) 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. Este patrón espacial de viviendas de alto riesgo corresponde a la región 3 en la Figura 31, y algunas casas de las regiones 0 y 1. Las casas con bajo riesgo se pueden encontrar en el centro de la región de estudio y corresponden a la región 2 de la Figura 31. El riesgo aumenta a medida que nos acercamos a la periferia de la colonia, como se puede observar en la Figura 33. El patrón es similar en todos los mapas realizados para cada uno de los estados de *Ae. aegypti*.

Por todo lo anterior, los mapas generados pueden sumarse a las capas de información geográfica que fortalecen la toma de decisiones sobre medidas de prevención

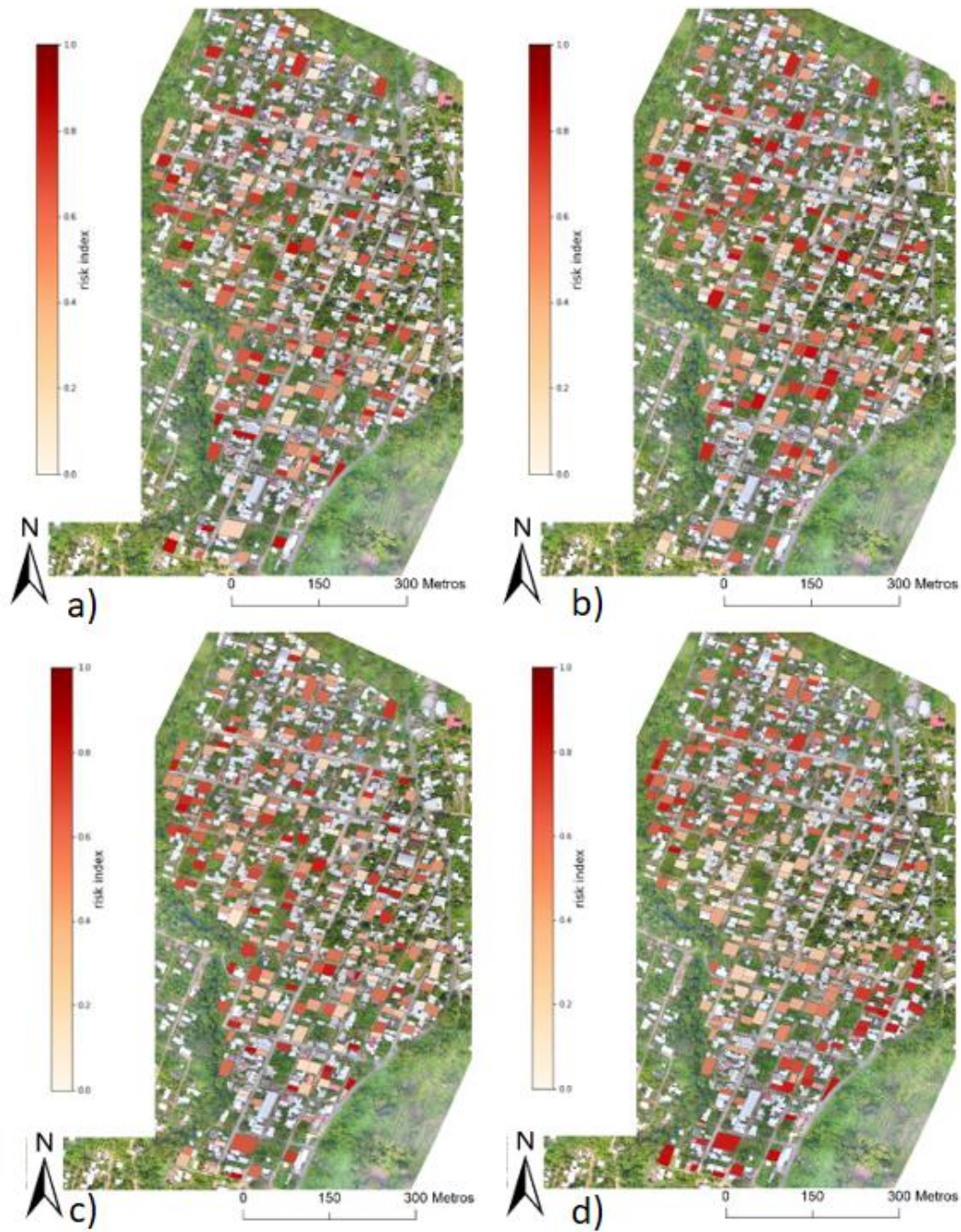


Figura 33. Mapa del Índice de Riesgo de “Casa aérea” para: a) Larvas, b) Pupas, c) Mosquitos y d) Todos los estados de *Ae. aegypti* en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

y control de mosquitos en la zona; pueden permitir actividades directas de control de mosquitos para aquellas casas con alto riesgo de *Ae. aegypti* en diferentes etapas del ciclo de vida con actividades adecuadas puede involucrar la participación de la comunidad.

Finalmente, es recomendable conformar un equipo multidisciplinario que pueda brindar al modelo, integralidad, consistencia, practicalidad y robustez.

Se realizaron, además, los mapas correspondientes al ICV (Tun Lin *et al.* 1995) e ICV₂ (Moloney *et al.* 1998) para el mismo muestreo, recordando que, es uno de los indicadores operativos utilizados en el programa nacional de vigilancia y control de vectores para definir zonas que son más propensas a alojar mosquitos *Ae. aegypti* (DOF 2014). Los mapas elaborados para el área de estudio (Figura 34), 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 ICV₂ se divide entre riesgo medio (47.7%) y alto (49.5%). Para ambos, el riesgo bajo es escaso (6.9% y 2.8%, respectivamente). Siendo el ICV₂, el indicador que permitiría focalizar actividades de control de *Ae. aegypti* en las viviendas, con representatividad en la colonia. La evaluación de la implementación del Índice de riesgo de “casa aérea” vs los índices ICV e ICV₂ es una asignatura pendiente.

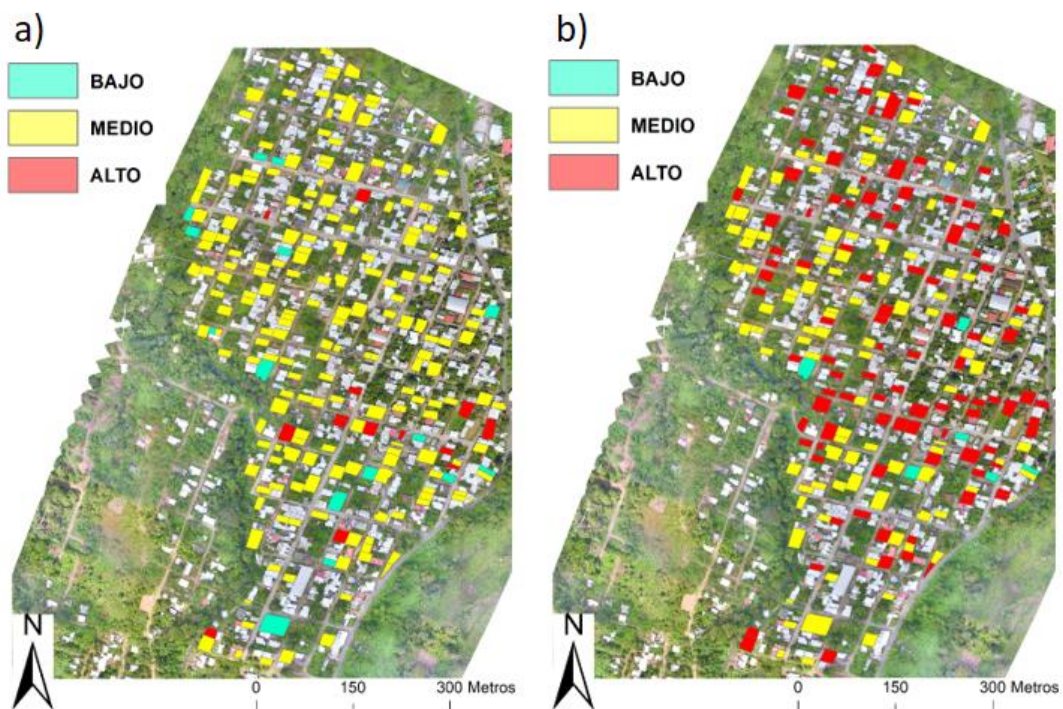


Figura 34. Mapa del Índice de Condición de la Vivienda ICV (a) e Índice de la Vivienda Modificado ICV₂ (b) para la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas segundo muestreo.

7.4 Objetivo específico 4.

7.4.1 Vigilancia terrestre.

Se encontraron 20 categorías de recipientes en el interior y 26 en el exterior. La mayor parte de los recipientes por categoría y por frecuencia se localiza en el exterior, a excepción del WC y floreros. El tanque de almacenamiento elevado fue el único tipo de contenedor de techo identificado por la vigilancia terrestre, debido a que el 78.70% (170) de las viviendas tenían techo de lámina y fue muy complicado inspeccionar estas áreas. Sobre la relación de 2334 contenedores a la intemperie, se identificaron 995 contenedores (42.63%) en área abierta (sin objetos ni techos), 734 contenedores (31.45%) bajo vegetación o árboles y 605 contenedores (25.92%) bajo sombra, tales como láminas de techo de metal, losas, tablas, lonas o láminas de plástico (Tabla 16).

Se registraron 177 recipientes positivos a estados inmaduros de *Ae. aegypti* (6.43%) en 21 diferentes categorías, 59 en intradomicilio (33.33%) y 118 en peridomicilio (66.67%). El 75.14% (133) de los recipientes positivos se encontraron en cinco categorías: 79 (44.63%) tanques, 17 (9.60%) tambo o tonel, 15 (8.47%) balde o cubeta, 12 (6.78%) recipiente de plástico no desechable y 10 en la categoría de otros (17.7%). El tanque de cemento fue la categoría con más recipientes positivos (79); donde se registraron un total de 3,043 larvas (60.91%) y 448 pupas (67.17%). Se encontraron 59 criaderos positivos de *Ae. aegypti* en intradomicilio en ocho categorías de contenedores, el 71.19 % (42) fueron tanques de cemento. Se registraron 118 criaderos en peridomicilio; el 60,17% (71) se distribuyeron en cuatro categorías: 37 (31.36%) tanques, 12 (10.17%) balde o cubeta, 12 (10.17%) tambo o tonel y 10 (8.47%) recipiente de plástico no desechable. Las cisternas, comedero animal fijo, comedero animal móvil, recipiente de vidrio desechable y estufa en desuso resultaron negativos a la presencia de larvas o pupas de *Ae aegypti* (Tabla 16). Cabe mencionar que para fines del presente objetivo y para comparar *versus* la vigilancia área por drones, se utilizaron los datos registrados en el peridomicilio de las viviendas.

Tabla 16. Criaderos positivos a larvas y pupas de *Ae. aegypti* por categoría de recipiente y por ubicación, en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Categoría	Ubicación				Total	
	Intradomicilio (%)	Positivos (%)	Peridomicilio (%)	Positivos (%)	Frecuencia (%)	Positividad (%)
Balde o cubeta	60 (14.35)	3 (1.20)	191 (8.18)	12 (4.78)	251 (9.12)	15 (5.98)
Tina metálica	2 (0.48)	1 (8.33)	10 (0.43)	1 (8.33)	12 (0.44)	2 (16.67)
Tambo o tonel	31 (7.42)	5 (5.81)	55 (2.36)	12 (13.95)	86 (3.13)	17 (19.77)
Recipiente de plástico	51 (12.20)	2 (0.71)	232 (9.94)	10 (3.53)	283 (10.28)	12 (4.24)
Recipiente de vidrio	17 (4.07)	0 (0.00)	51 (2.19)	1 (1.47)	68 (2.47)	1 (1.47)
Recipiente de peltre	1 (0.24)	0 (0.00)	3 (0.13)	1 (25.00)	4 (0.15)	1 (25.00)
Recipiente de barro	1 (0.24)	0 (0.00)	2 (0.09)	1 (33.33)	3 (0.11)	1 (33.33)
Tanque	97 (23.21)	42 (20.49)	108 (4.63)	37 (18.05)	205 (7.45)	79 (38.54)
Pileta	2 (0.48)	0 (0.00)	6 (0.26)	1 (12.50)	8 (0.29)	1 (12.50)
Tinaco	2 (0.48)	0 (0.00)	36 (1.54)	3 (7.89)	38 (1.38)	3 (7.89)
Cisterna	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.09)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)
Maceta	23 (5.50)	0 (0.00)	846 (36.25)	6 (0.69)	869 (31.58)	6 (0.69)
Bebedero de animal fijo	5 (1.20)	0 (0.00)	24 (1.03)	1 (3.45)	29 (1.05)	1 (3.45)
Comedero de animal fijo	0 (0.00)	0 (0.00)	4 (0.17)	0 (0.00)	4 (0.15)	0 (0.00)
Botella	1 (0.24)	0 (0.00)	39 (1.67)	1 (2.50)	40 (1.45)	1 (2.50)
Bote o lata	0 (0.00)	0 (0.00)	151 (6.47)	3 (1.99)	151 (5.49)	3 (1.99)
Bebedero de animal móvil	1 (0.24)	0 (0.00)	141 (6.04)	5 (3.52)	142 (5.16)	5 (3.52)
Comedero de animal móvil	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.09)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)
Recipiente plástico desechable	7 (1.67)	0 (0.00)	218 (9.34)	4 (1.78)	225 (8.18)	4 (1.78)
Recipiente vidrio desechable	2 (0.48)	0 (0.00)	11 (0.47)	0 (0.00)	13 (0.47)	0 (0.00)
Recipiente peltre desechable	0 (0.00)	0 (0.00)	3 (0.13)	1 (33.33)	3 (0.11)	1 (33.33)
Florero	14 (3.35)	3 (16.67)	4 (0.17)	1 (5.56)	18 (0.65)	4 (22.22)
Llanta	11 (2.63)	0 (0.00)	84 (3.60)	7 (7.37)	95 (3.45)	7 (7.37)
W.C.	82 (19.62)	1 (0.68)	66 (2.83)	2 (1.35)	148 (5.38)	3 (2.03)
Estufa en desuso	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.09)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)
Otros (especifique).	8 (1.91)	2 (3.92)	43 (1.84)	8 (15.69)	51 (1.85)	10 (19.61)
Total (n)	418 (100.00)	59 (2.14)	2334 (100.00)	118 (4.29)	2752	177 (6.43)

7.4.2 Vigilancia aérea con drones.

Mediante imágenes de drones identificamos 983 contenedores, 147 en techos (14.95%) y 836 en peridomicilio (85.05%) de las viviendas. Lo anterior, corresponde al 35.82% de los recipientes totales en el peridomicilio (VT=2.334) y el 30.38% del total de contenedores identificados en todas las áreas de la vivienda por vigilancia terrestre (VT=2.752). Sobre el tipo o categoría del contenedor, con imágenes de drones, identificamos 10 tipos diferentes (Tabla 17). El 84.03% del total de contenedores (techado y traspatio) se concentró en tres tipos diferentes: Balde o cubeta (40.49%), recipiente de plástico desechable (27.77%) y maceta (15.77%). Los contenedores identificados en techo fueron identificados en 54 viviendas (25%), la mayoría de los contenedores identificados en el techo de las viviendas, fueron el recipiente de plástico desechable (37.41%) y "otros" (30.61%), que en su mayor cantidad fueron los charcos (N = 43). En el peridomicilio, la categoría más frecuente fue el balde o cubeta (45.22%) [Tabla 17, Figura 35].

Tabla 17. Relación de criaderos identificados por fotografía aérea en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Tipo de contenedor	Techos		Peridomicilio		Total	
	Frecuencia	+- presencia de larvas (%)	Frecuencia	+- presencia de larvas (%)	Frecuencia	Porcentaje
Recipientes de plástico desechable	55 (37.41%)	ND	218 (26.08)	0 (0.00)	273 (27.77)	0 (0.00)
Balde o cubetas	20 (13.61)	ND	378 (45.22)	5 (1.32)	398 (40.49)	5 (1.32)
Tinaco	12 (8.16)	ND	8 (0.96)	1 (12.50)	20 (2.03)	1 (12.50)
Tanque	0 (0.00)	ND	8 (0.96)	2 (25.00)	8 (0.81)	2 (25.00)
Llanta	10 (6.80)	ND	15 (1.79)	1 (6.67)	25 (2.54)	1 (6.67)
W.C.	0 (0.00)	ND	9 (1.08)	0 (0.00)	9 (0.92)	0 (0.00)
Maceta	3 (2.04)	ND	152 (18.18)	2 (1.32)	155 (15.77)	2 (1.32)
Tina metálica	2 (1.36)	ND	20 (2.39)	0 (0.00)	22 (2.24)	0 (0.00)
Botella	0 (0.00)	ND	9 (1.08)	1 (11.11)	9 (0.92)	1 (11.11)
Otros	45 (30.61)	ND	19 (2.27)	4 (21.05)	64 (6.51)	4 (21.05)
Total (n)	147 (100.00)	ND	836 (100.00)	16 (1.91)	983 (100.00)	16 (1.91)

Es importante mencionar que los contenedores en interiores o bajo techos, árboles o vegetación, fueron imposibles de identificar en imágenes de drones. Además, los recipientes identificados en techo, a excepción de los tinacos, no pudieron ser registrados por la vigilancia terrestre, debido a que no eran accesibles; lo que agrega un valor importante a la vigilancia aérea, al poder registrar o conocer posibles sitios o criaderos de mosquitos en áreas inaccesibles. De manera general, los criaderos identificados por

vigilancia aérea (drone), los registrados por vigilancia terrestre (encuesta) y por ambas metodologías se pueden observar en la Figura 35. Las barras café representan aquellos contenedores donde la identificación y cuantificación es más efectiva usando el método tradicional. Las barras negras representan aquellos contenedores donde la identificación y cuantificación es la misma usando ambos métodos. Las barras azules representan aquellos contenedores donde la identificación y cuantificación es más efectiva mediante el análisis de fotografías aéreas con drones.

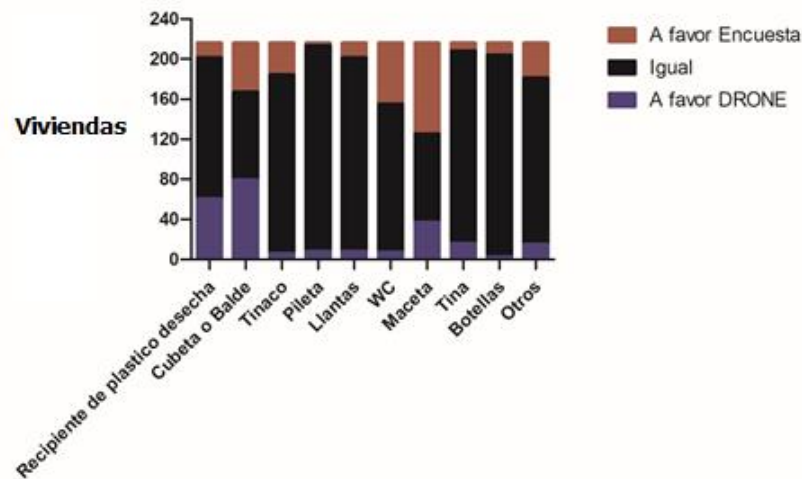


Figura 35. Gráfica de barras del número de criaderos larvarios de *Ae. aegypti* utilizando vigilancia terrestre y vigilancia aérea en viviendas de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Debido a que la toma de imágenes aéreas fue simultánea a la vigilancia terrestre (misma semana), fue posible el identificar cuáles recipientes en peridomicilio identificados en las fotografías, estaban positivos a estados inmaduros de *Ae. aegypti*. Se encontraron 16 criaderos positivos para estados inmaduros *Ae. aegypti*, los cuales estuvieron distribuidos en siete de las diez categorías; éstos representan el 1.91% de los contenedores identificados en el peridomicilio por imágenes de drones y el 13.56% de los contenedores positivos en la misma ubicación por vigilancia terrestre (Tabla 17). La detección de larvas o pupas de las imágenes recopiladas por drones no es posible debido a la resolución de estas fotografías (Figura 36). Para tal detalle, es necesario que el drone sobrevuele a pocos metros de la vivienda, hecho que es más práctico con una cámara común o en un teléfono inteligente.



Figura 36. Identificación de recipientes, criaderos potenciales de *Ae. aegypti*, en las viviendas de la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas. Peridomicilio (Izquierda) y Techos (Derecha): a) Recipientes de plástico desechable, b) Balde o cubeta, c) Tanque, d) Maceta, 2. Techo: e) Tinaco, f) Llanta y g) Otros.

7.4.3 Efectividad de la vigilancia aérea.

Para conocer la efectividad en la identificación de recipientes como posibles criaderos de *Ae. aegypti* en las imágenes con drones y/o por medio de la vigilancia aérea, utilizamos ambas metodologías: Drone= Vigilancia aérea y Vigilancia terrestre tradicional. En un primer análisis, se incluyeron 1,641 contenedores y/o recipientes ubicados por vigilancia terrestre versus 836 contenedores identificados por imágenes de

drones en 10 tipos de categorías en peridomicilio (216 casas), estos 10 tipos o categorías fueron los que se encontraron tanto en vigilancia terrestre como en vigilancia aérea. Se obtuvieron diferentes coeficientes Kappa de Cohen: 0.737, 0.683 y 0.614 concordancia sustancial (0.61 – 0.80) para tina metálica, llanta y otros, 0.521, 0.463 y 0.459 concordancia moderada (0.41 – 0.60) para balde o cubeta, recipiente de plástico desechable y maceta, 0.338, 0.324 concordancia aceptable (0.21 – 0.40) para tinaco y botella de vidrio y 0.155 y 0.038 concordancia leve (0.01 – 0.20) para W.C. y tanque, respectivamente (Tabla 18). Finalmente, no se encontraron diferencias entre el número de envases de estos 10 tipos de envases por ambos métodos, evaluados mediante la prueba T-Student ($p= 0.2952$; $T=1,11$; $DF=9$).

Tabla 18. Concordancia entre la vigilancia aérea y la vigilancia terrestre para identificar criaderos de *Ae. aegypti* en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Categoría	Vigilancia Terrestre ^a	Vigilancia aérea ^b	Kappa ^c	P	Concordancia ^d
Tina metálica	10 (2,24)	20 (2,24)	0.737	0.001	Sustancial (0.61 – 0.80)
Llanta	84 (2,23)	15 (2,23)	0.683	0.001	Sustancial (0.61 – 0.80)
Otros	43 (3,53)	19 (3,53)	0.614	0.001	Sustancial (0.61 – 0.80)
Balde o cubeta	191 (42,138)	378 (42,138)	0.521	0.001	Moderada (0.41 – 0.60)
Recipientes de plástico desechable	218 (3,75)	218 (3,75)	0.463	0.001	Moderada (0.41 – 0.60)
Maceta	846 (22,128)	152 (22,128)	0.459	0.001	Moderada (0.41 – 0.60)
Tinaco	36 (2,40)	8 (2,40)	0.338	0.001	Aceptable (0.21 – 0.40)
Botella	39 (0,14)	9 (0,14)	0.324	0.001	Aceptable (0.21 – 0.40)
W.C.	66 (3,69)	9 (3,69)	0.155	0.001	Leve (≤ 0.20)
Tanque	108 (5,108)	8 (5,108)	0.038	0.001	Leve (≤ 0.20)
Total	1641	836	---	---	---

^a Número de recipientes identificados por vigilancia terrestre (Entre paréntesis los casas donde coincide el registro de la categoría de criadero por ambas metodologías y total de casas con presencia de esta categoría de criaderos).

^b Número de recipientes identificados por vigilancia terrestre (Entre paréntesis los casas donde coincide el registro de la categoría de criadero por ambas metodologías y total de casas con presencia de esta categoría de criaderos).

^c Los valores de Kappa para evaluar los grados de concordancia de ambas metodologías.

^d Grado de Concordancia mediante la interpretación de Landis y Koch (1977).

En un segundo análisis considerando la proporción de contenedores identificados o registrados en VA y/o VT, obtuvimos que la proporción de todos los contenedores detectados por ambas metodologías fue de 1:2.8, es decir, un contenedor identificado por vigilancia aérea (VA) por aproximadamente cada 3 contenedores por vigilancia terrestre (VT). Los tipos de envases con mayor proporción VA: VT, lo que significa que VA detectó más envases que VT, fueron para el envase de plástico desechable (1.25:1), balde y cubeta

(2.08:1), tina metálica (2.20:1) y otros. (1.49:1), mientras que las menores proporciones VA: VT fueron los tanques (1:13.5), W.C. (1:7.3), macetas (1:5.5) y botellas (1:4.3). El único tipo de contenedor que el dronero pudo identificar en los techos casi en la misma cantidad que VT fue "otros" con una proporción de 1.05:1; en esta categoría se agruparon los charcos y lonas de plástico, principalmente. Por otro lado, los envases de plástico desechables (1:1), baldes y cubetas (1.98:1) y tina metálica (2:1) fueron más identificados más en peridomicilio mediante VA que por VT (Tabla 19).

Tabla 19. Contenedores/recipientes detectados por dronero (VA) y vigilancia terrestre (VT) como posibles criaderos de *Ae. aegypti* en la colonia El Vergel, Tapachula, México.

Categoría*	Vigilancia aérea (VA)			Vigilancia terrestre (VT)	Proporción de contenedores VA en techo: VT	Proporción de contenedores VA en peridomicilio: VT	Proporción total de contenedores VA: VT
	Techos (%)	Peridomicilio (%)	Total (%)				
Recipientes de plástico desechable	55 (37.4)	218 (26.1)	273 (27.8)	218	1: 4.0	1: 1	1.25: 1
Balde o cubeta	20 (13.6)	378 (45.2)	398 (40.5)	191	1: 10.0	1.98: 1	2.08: 1
Tinaco	12 (8.2)	8 (1.0)	20 (2.0)	36	1: 3	1: 4.5	1: 1.8
Tanque	0 (0.0)	8 (1.0)	8 (0.8)	108	0: 1	1: 13.5	1: 13.5
Llantas	10 (6.8)	15 (1.8)	25 (2.5)	84	1: 8.4	1: 5.6	1: 3.4
W.C.	0 (0.0)	9 (1.1)	9 (0.9)	66	0: 1	1: 7.3	1: 7.3
Maceta	3 (2.0)	152 (18.2)	155 (15.8)	846	1: 282	1: 5.6	1: 5.5
Tina metálica	2 (1.4)	20 (2.4)	22 (2.2)	10	1: 5	2: 1	2.20: 1
Botellas	0 (0.0)	9 (1.1)	9 (0.9)	39	0: 1	1: 4.3	1: 4.3
Otros	45 (30.6)	19 (2.3)	64 (6.5)	43	1.1: 1	1: 2.3	1.49: 1
Total (n)	147 (15.0)	836 (85.0)	983 (100)	2752*	1: 18.7*	1: 3.3*	1: 2.8*

* Solo 10 de 26 tipos de contenedores fueron detectados por vigilancia con drones, por lo tanto, sólo los datos de vigilancia terrestre de estas categorías de contenedores se consideraron en esta tabla para propuestas de comparación 1,641 contenedores en las 10 categorías por vigilancia terrestre).

Además, por medio de VA se identificó al menos un contenedor en 146 de 216 hogares (67.6 %), mientras que por VT en 197 (91.2 %). Ambos métodos juntos pudieron detectar al menos un contenedor en 208 hogares (96.3%), sin embargo, solo en 135 (64.9%) fueron concordantes tanto en VA como en VT. El balde y cubeta (46.8%), los contenedores de plástico desechables (28.7%) y las macetas (22.2%), fueron los únicos tipos que el dronero pudo observar al menos en una ocasión con más frecuencias versus la VT en entornos domésticos. Por su parte, el dronero no pudo ser tan eficiente como el VT para el resto de las categorías, observándose menores porcentajes de viviendas positivas con al menos un contenedor (Tabla 20).

Tabla 20. Número de viviendas con al menos un recipiente o contenedor como posible criadero de *Ae. aegypti* detectado por el drone (VA) y vigilancia terrestre (VT) en 216 viviendas de la localidad de El Vergel, Tapachula, México.

Categoría	Casas positivas VA (%)	Casas negativas VA (%)	Casas positivas VT (%)	Casas negativas VT (%)	Casas Positivas VA + VT (%) *	Casas Negativas VA + VT (%) *	Concordancia VA – VT (%) **
Recipientes de plástico desechable	62 (28.7)	154 (71.3)	18 (8.3)	198 (91.7)	77 (35.6)	139 (64.3)	3 (3.9)
Balde o cubeta	101 (46.8)	115 (53.2)	84 (38.9)	132 (61.1)	142 (65.7)	74 (34.3)	43 (30.3)
Tinaco	8 (3.7)	208 (96.3)	34 (15.7)	182 (84.3)	40 (18.5)	176 (81.5)	2 (5.0)
Tanque	7 (3.2)	209 (96.8)	106 (49.1)	110 (50.9)	108 (50.0)	108 (50.0)	5 (4.6)
Llantas	9 (4.2)	207 (95.8)	16 (7.4)	200 (92.6)	23 (10.6)	193 (89.4)	2 (8.7)
W.C.	8 (3.7)	208 (96.3)	64 (29.6)	152 (70.4)	69 (31.9)	147 (68.1)	3 (4.35)
Maceta	48 (22.2)	168 (77.8)	101 (46.8)	115 (53.2)	127 (58.8)	89 (41.2)	22 (17.32)
Tina metálica	16 (7.4)	200 (92.6)	10 (4.6)	206 (95.4)	24 (11.1)	192 (88.9)	2 (8.33)
Botellas	3 (1.4)	213 (98.6)	12 (5.6)	204 (94.4)	15 (6.9)	201 (93.1)	0 (0.0)
Otros	19 (8.8)	197 (91.2)	39 (18.1)	177 (81.9)	55 (25.5)	161 (84.5)	3 (5.5)
Total (n)	146 (67.6)	70 (32.4)	197 (91.2)	19 (8.8)	208 (96.3)	8 (3.7)	135 (64.9)

* Solo 10 de 26 tipos de contenedores fueron detectados por vigilancia con drones, por lo tanto, sólo los datos de vigilancia terrestre de estas categorías de contenedores se consideraron en esta tabla para propuestas de comparación (1,641 contenedores en las 10 categorías por vigilancia terrestre).

7.4.4 Análisis de Costo-Efectividad de la vigilancia aérea.

7.4.4.1 Costos vigilancia terrestre.

Se solicitaron los costos de gasto corriente y gasto de inversión de las actividades de vigilancia entomológica tradicional del Programa Nacional de Enfermedades Transmitidas por Vector, mismos que fueron facilitados por el personal del Distrito Sanitario VII de los Servicios de Salud de Chiapas (costos locales) y se detallan en la Tabla 21. Se tomó en cuenta el número de personas necesario para encuestar 216 viviendas, más un supervisor, sueldos, el material y equipo requerido y el tiempo que involucra. Además, se realizó una estimación para los primeros dos años para así contar con un comparativo con el segundo año, donde no se requiere volver a adquirir el equipo de cómputo. En total, el costo durante el primer año fue de \$132,815.00 y para el segundo año \$131,778.00, con un decremento del 0.78% (Tabla 21). Ambos costeos son muy similares porque, aunque no se hayan incluido los equipos durante el segundo año, se considera un aumento en sueldo y consumibles de un año a otro.

Tabla 21. Relación de costos en la vigilancia operativa tradicional del programa de vigilancia y control de vectores Distrito Sanitario VII, en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Item	Cantidad	Costo por ítem*	Total 1er año	Total 2º año
<u>Personal*</u>				
Técnico/Entomólogo/Coordinador/ que funge como supervisor.	1	\$ 13,834.00	\$ 13,834.00	\$ 16,600.80
Personal Eventual (encuestadores).	4	\$ 12,840.00	\$ 51,360.00	\$ 61,632.00
Viáticos/gastos de trabajo de campo (A razón de 5 personas/14 días trabajados/\$310.00 por día trabajado) ¹ .	5	\$ 4,340.00	\$ 21,700.00	\$ 26,040.00
Capturistas.	1	\$ 12,840.00	\$ 12,840.00	\$ 15,408.00
<u>Gasolina</u> (litros)*	300	\$ 21.27	\$ 6,381.00	\$ 7,657.20
<u>Consumibles*</u>				
Papelería/tóner.	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00	\$ 3,000.00
<u>Equipo y servicios oficina</u>				
Computadoras Intel Core I5 o I7				
Windows 10, 1TB disco duro, 8GB de memoria RAM.	1	\$ 23,000.00	\$ 23,000.00	\$ 0.00
Servicios básicos (luz, agua, teléfono, internet).	1	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00	\$ 1,440.00
Total		\$70,575.27	\$ 132,815.00	\$ 131,778.00

* Costos considerando 216 viviendas, 8 viviendas visitadas/2 técnicos/día, 4 técnicos encuestando (2 equipos) y 14 días trabajados.

¹ Incluye el trabajo de campo (vigilancia terrestre), el llenado de formatos de información y su entrega.
Costos aproximados en Tapachula, Chiapas.

Se realizó además la razón de costo-efectividad para los primeros dos años, obteniendo un costo de \$48.26 por cada criadero potencial identificado (contenedores o recipientes encontrados en la encuesta en terreno) durante el primer año y de \$47.88 por cada criadero potencial identificado durante el segundo año. Aunque no existe la necesidad de adquirir otro equipo de cómputo, los costos se compensan con respecto al año anterior, por el aumento en sueldos, consumibles, gasolina y servicios básicos (Tabla 22).

Tabla 22. Razón de costo-efectividad de la vigilancia terrestre tradicional.

Concepto	Primer año		Segundo año	
	Cantidad	RCE	Cantidad	RCE
Costo de la intervención*	132,815.00	48.26	131,778.00	47.88
Medida de la efectividad de la intervención ¹	2,752 ¹		2,752 ¹	

* Costos de la vigilancia terrestre detallados en la Tabla 21.

¹ Criaderos registrados por medio de la vigilancia terrestre, para el segundo año se utilizó el mismo número de criaderos.

7.4.4.2 Costos vigilancia aérea.

Se incluyeron los costos de gasto corriente y gasto de inversión necesarios para realizar la vigilancia aérea. Se tomó en cuenta el gasto de inversión para la compra del dron y los accesorios para su correcta operación, así como el equipo necesario en oficina. Asimismo, se incluyeron software que se utilizan para el manejo de los mapas e imágenes tomadas por el dron, software de acceso abierto que hacen más asequible el trabajo. Se consideró el gasto correspondiente a un equipo de dos personas, el cual es el mínimo necesario para operar el dron, analizar las imágenes correspondientes en oficina y el tiempo que involucra. Se incluye el curso de capacitación, examen y trámite de licencia de piloto de dron. Al igual que la vigilancia terrestre, se realizó una estimación para los primeros dos años.

El costo total calculado para el primer año fue de \$208,040.60 y para el segundo año de \$96,264.72, con una disminución del 53.73% con respecto al primer año, ya que no se requieren más gastos para adquirir equipos; únicamente sueldos, consumibles, gasolina y servicios básicos (Tabla 23). Manteniéndose tanto los costos como las necesidades durante por lo menos los primeros tres años (sumando únicamente un incremento aproximado del 20% respecto al año inmediato anterior). Además, durante el tercer año se recomienda tener en cuenta los gastos de mantenimiento correctivo de equipos o renovación de los mismos como medida opcional, tomando en cuenta los costos que ello implica. Después de los 5 años, la renovación de equipos es obligatoria.

Se realizó el cálculo de costos de la elaboración de cartografía especializada, realizada por medio de imágenes de drones, como la correspondiente a los Modelos de Terreno y Superficie, el ortomosaico RGB y los índices de vegetación (ortomosaicos multiespectales) para la colonia El Vergel, como principales. El costo total fue de \$ 807,884 para el primer año y \$ 498,071.00 para el segundo. Durante el segundo año, ya no se toman en cuenta los costos de inversión de equipos, pero si se incluyó el pago de licencias de softwares. Se recomienda trabajar con software abiertos/gratuitos para hacer más asequible esta tecnología.

Tabla 23. Relación de costos de la vigilancia aérea realizada por medio de drones, en la colonia El Vergel, Tapachula, Chiapas.

Item	Cantidad	Costo Unitario*	Total 1er año	Total 2º año
<u>Drone</u>				
Drone DJI Phantom 4®	1	\$ 52,800.00	\$ 52,800.00	\$0.00
Baterías para drone Phantom 4®	2	\$ 4,508.90	\$ 9017.80	\$10,821.36
Ipad Mini	1	\$ 17,600.00	\$ 17,600.00	\$0.00
GPS eTrex Legend® de Garmin	1	\$ 3,520.00	\$ 3,520.00	\$0.00
Computadora	1	\$ 27,500.00	\$ 27,500.00	\$0.00
Accesorios Estación de Trabajo	1	\$ 4,331.80	\$ 4,331.80	\$5,198.16
Impresora Multifuncional Color LaserJet	1	\$ 9,350.00	\$ 9,350.00	\$0.00
Backpack Drone	1	\$ 6,600.00	\$ 6,600.00	\$0.00
Centro de carga de Baterías para Phantom 4®	1	\$ 1,650.00	\$ 1,650.00	\$0.00
Protector Solar Ipad	1	\$ 660.00	\$ 660.00	\$0.00
Otros accesorios	1	\$ 1,650.00	\$ 1,650.00	\$1,980.00
Subtotal equipo drone		\$130,170.70	\$ 134,679.60	\$17,999.52
<u>Software¹</u>				
QGIS®	1	\$ 0.00	\$ 0.00	\$0.00
Image J®	1	\$ 0.00	\$ 0.00	\$0.00
SubTotal		\$ 0.00	\$ 0.00	\$0.00
<u>Trabajo de campo y escritorio²</u>				
Sueldo	2	\$ 19,800.00	\$ 39,600.00	\$47,520.00
Viáticos/gastos de trabajo de campo (A razón de 2 personas/14 días trabajados/\$310.00 por día trabajado).	2	\$ 4,340.00	\$ 8,680.00	\$10,416.00
Gasolina (litros empleados)	300	\$ 21.27	\$ 6,381.00	\$7,657.20
SubTotal		\$24,161.27	\$54,661.00	\$65,593.20
<u>Consumibles/servicios de Oficina</u>				
Tóner	1	\$ 7,040.00	\$ 7,040.00	\$8,448.00
Papelería	1	\$ 2,200.00	\$ 2,200.00	\$2,640.00
Servicios básicos (luz, agua, teléfono, internet)	1	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$1,584.00
SubTotal		\$10,560.00	\$10,560.00	\$12,672.00
<u>Otros</u>				
Curso de capacitación	1	\$ 4,950.00	\$ 4,950.00	\$0.00
Trámite Licencia piloto	1	\$ 1,870.00	\$ 1,870.00	\$0.00
Exámenes para certificaciones	1	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$0.00
SubTotal		\$ 8,140.00	\$ 8,140.00	\$0.00
Total		\$173,031.97	\$208,040.60	\$96,264.72

*Costos considerando la toma de imágenes en 216 viviendas. Costos aproximados en el municipio de Tapachula, Chiapas.

¹ Se contemplaron software de plataforma abierta o sin costo.

² Incluye el trabajo de toma de imágenes aéreas, simultáneo a la vigilancia terrestre y la identificación de criaderos en las imágenes obtenidas.

Cabe mencionar que la ventaja de contar con cartografía especializada es que esta herramienta también se puede utilizar para analizar el paisaje en el abordaje de otras ETVs u otro tipo de enfermedades relacionadas con el entorno domiciliario para desarrollar estrategias integrales de prevención y control.

7.4.4.3 Razón de Costo-Efectividad de la vigilancia aérea.

Referente a la razón de costo-efectividad se obtuvo un costo de \$211.64 por cada criadero potencial identificado (contenedores o recipientes identificados en la vigilancia aérea) durante el primer año y \$97.93 por cada criadero potencial identificado durante el segundo año (Tabla 24).

Tabla 24. Razón de costo-efectividad de la vigilancia aérea por medio de drones.

Concepto	Primer año		Segundo año	
	Cantidad	RCE	Cantidad	RCE
Costo de la intervención*	208,040.60	211.64	96,264.72	97.93
Medida de la efectividad de la intervención ¹	983 ¹		983 ¹	

* Costos de la vigilancia aérea detallados en la Tabla 23.

¹ Número de criaderos identificados por medio de la vigilancia aérea, para el segundo año se utilizó el mismo número de criaderos.

Aunque la razón de costo-efectividad de la vigilancia aérea es 4.38 veces mayor a la de la vigilancia terrestre durante el primer año y la duplica durante el segundo año; tiene ventajas o beneficios que la vigilancia tradicional no brinda, como es la localización de criaderos en áreas no accesibles de las viviendas como en los techos, o en lotes baldíos. Además, puede ser utilizada en áreas endémicas a dengue posterior a un desastre. Lo que confiere seguridad al personal operativo e información que, por medio de la vigilancia terrestre es más difícil registrar. El tiempo invertido es menor y la cobertura de vigilancia puede ser más amplia versus la vigilancia tradicional. Finalmente, otra de las ventajas es que las fotografías aéreas se pueden utilizar en estudios de elementos del paisaje, entrenamiento de máquina, herramientas de etiquetado de objetos e interpretación de imágenes para la vigilancia, prevención y control de vectores.

Adicionalmente, la razón de costo-efectividad incremental de la vigilancia aérea (intervención nueva) versus la vigilancia terrestre (Práctica actual, estándar o control), fue

de -42.52 durante el primer año y de 20.08 durante el segundo (Tabla 25). Aunque se toma con reserva este resultado, debido a que se utilizaron el mismo número de criaderos en los dos años calculados para cada una de las vigilancias; es un indicador de que la vigilancia aérea durante el primer año es más costosa y menos efectiva que la vigilancia terrestre, pero durante el segundo año, aunque sigue siendo menos efectiva que la vigilancia terrestre, fue menos costosa, lo que la hace más elegible en una toma de decisión (Figura 7). Aquí la interrogante es: ¿El ahorro logrado justifica la pérdida de efectividad? y/o ¿Qué otros beneficios inherentes, justifican la inversión?

Cabe señalar que el trabajo de la vigilancia aérea, toma 84 horas hombre en total, mientras que la vigilancia terrestre toma 448 horas hombre; es decir, la VA representa el 18.75% de las horas hombre de la VT. Lo que permite realizar la VA en 4 colonias (dimensiones similares) más, (200 viviendas cada una). El resto de las ventajas o beneficios de la vigilancia aérea ya fueron explicadas en este mismo apartado.

Tabla 25. Razón de costo-efectividad incremental de la vigilancia aérea (intervención nueva) versus la vigilancia terrestre (práctica actual, estándar o control).

Concepto	Primer año	RCEI	Segundo año	RCEI
Costo de alternativa 1	208,040.60*		96,264.72*	
Efectividad de la intervención 1	983 ¹	-42.52	983 ¹	20.08
Costo de alternativa 2	132,815.00 [‡]		131,778.00 [‡]	
Efectividad de la intervención 2	2,752 ²		2,752 ²	

* Costos de la vigilancia aérea detallados en la Tabla 21.

‡ Costos de la vigilancia terrestre detallados en la Tabla 23.

¹ Número de criaderos identificados por VA para el segundo año se utilizó el mismo número de criaderos.

² Número de criaderos identificados por VT para el segundo año se utilizó el mismo número de criaderos.

8 DISCUSIONES

8.1 Objetivo específico 1.

La planificación del vuelo es una de las partes más críticas de toda la metodología, ya que de ella depende la calidad imágenes y, por ende, de los resultados. Es necesario considerar las condiciones meteorológicas para el mejor desempeño de los RPAS, las características del terreno, evitar interferencias electromagnéticas que puedan poner en riesgo el vuelo y la seguridad en general, entre otras consideraciones. Es importante mencionar que, si se requiere replicar esta metodología en un futuro y no se llegara a contar con drones, incluso la licencia o permiso para un vuelo, existen instituciones como CENAPRED, que cuenta con la tecnología disponible, licencias, permisos y la experiencia requerida para llevarlo a cabo, o bien se puede solicitar un servicio particular que siga todas las recomendaciones de la normatividad actual. Asimismo, el sector agrícola puede coadyuvar, ya que estas tecnologías se utilizan en la agricultura de precisión. Este estudio muestra que los procesos se pueden seguir sin importar cuántos equipos estén involucrados. El objetivo es que, a futuro, este proceso sea más accesible para los grupos académicos, de investigación y operativos dentro del sector de salud pública en México y en Latinoamérica.

Recomendamos considerar la hora de los vuelos, preferentemente al mediodía (considerando la ubicación de las áreas de estudio), para minimizar el efecto de la sombra por la inclinación de la luz solar, que pudiera interferir en la identificación de objetos y/o elementos del paisaje (Suduwella *et al.* 2017; Valencia *et al.* 2021). Además, siempre se debe supervisar las condiciones climáticas al principio, durante y al final de la misión de vuelo para prevenir accidentes y colocar señales preventivas en los lugares de salida y aterrizaje del dron. Es fundamental mencionar que se debe monitorear la temperatura para que no alcance el límite mencionado por el consejo del fabricante (-10° C a 40° C) (ver Tabla 1). Se sugiere, como protocolo antes de los vuelos, que los equipos de campo visiten a las autoridades de salud y los líderes comunitarios presentes en las comunidades de estudio, los cuales son cruciales en la implementación de estas nuevas tecnologías (Hardy *et al.* 2022b).

Ahora bien, la duración de un vuelo de dron de 15 a 20 minutos, durante el cual, se puede tomar fotos de 12 a 15 hectáreas a 100 metros de altura con una resolución de 2,54 cm/píxel. Nótese que el área de estudio requirió ser dividida en áreas que no extiendan el tiempo de la batería, limitando la cobertura y el tiempo operativo. En estudios futuros se requiere involucrar a más drones colaborando para lograr la misma tarea y cubrir áreas más extensas. Un equipo de drones trabajando en cooperación suele ser más efectivo que un solo UAV en aplicaciones como vigilancia, mapeo, búsqueda y rescate, reconocimiento, así como en misiones de defensa. La formación de múltiples drones tiene un impacto significativo en términos de consumo de tiempo y tasa de finalización de tareas; además, no sólo el tiempo de vuelo es suficiente ventaja del uso de múltiples vehículos, sino que la adaptación de la formación de múltiples drones es importante, lo que se conoce como coordinación y como formación dinámica. Este tipo de aplicaciones y tareas de drones son fundamentales en estos tiempos, ya que explotan al máximo las capacidades de los drones (Gutiérrez-Martínez *et al.* 2022; Jiménez-Lizárraga *et al.* 2018; Muñoz *et al.* 2017; Ollervides-Vazquez *et al.* 2020; Rojo-Rodríguez *et al.* 2018a; Rojo-Rodríguez *et al.* 2018b, Rojo-Rodríguez *et al.* 2019).

Además, debido a la limitación de las normas de seguridad para los operadores de drones en una línea visual de 500 m, es necesario desarrollar, mejorar y analizar otras formas eficientes para los vuelos de drones y la calidad de imagen (Cabreira *et al.* 2019). Un estudio reciente analiza unidades de muestreo hexagonales para caracterizar los hábitats acuáticos de larvas de *Anopheles funestus* (Byrne *et al.* 2021). Se promovieron métodos similares para la liberación aérea de insectos para maximizar la cobertura cuando se utilizan drones micro o pequeños (Angulo Kladt 2021). Finalmente, se sugiere realizar estudios donde se evalúe el uso de drones a diferentes alturas para determinar si los diferentes tipos de resoluciones obtenidas en las imágenes aéreas y en el ortomosaico pudieran modificar la identificación o reconocimiento de elementos u objetos del paisaje (Estrada-Zúñiga y Ñaupari-Vázquez 2021)

El uso de drones ayuda a superar las limitantes de las imágenes satelitales entre las que destacan, la baja resolución espacial y temporal, la nubosidad presente en el territorio nacional y en mayor medida en el sureste del país, que interfiere en la identificación de objetos de interés. Actualmente existen herramientas como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten mejorar la precisión en la generación de cartografía, además de la incorporación de RPAS que, junto a los anteriores, ofrece la posibilidad para adquirir información georreferenciada obtenida en campo para su posterior procesamiento en oficina. Al contar con sensores del infrarrojo cercano (NIR) y visible (RGB), se puede obtener más información sobre los elementos del terreno para un análisis posterior que permita identificar las relaciones que tienen estos elementos con la abundancia del mosquito *Ae. aegypti* y el desarrollo de su ciclo de vida, en su entorno geográfico y social.

Para mejorar el proceso de imágenes, fotogrametría y cartografía, se recomienda incluir tarjetas SD de alta calidad, una estación de trabajo con memoria RAM de 64 GB y al menos un disco duro de 16 Tera de capacidad. Mediante el software PIX4D, se puede obtener un modelo digital de superficie, un ortomosaico georreferenciado, puntos 3D de cada imagen de entrada y los parámetros de la cámara, está completamente automatizado y no requiere interacción manual. Se pueden agregar puntos de control terrestre para una georreferenciación más precisa (Kung *et al.* 2011; Strecha *et al.* 2008a, Strecha *et al.* 2012). Pix4D realiza los siguientes pasos: 1) Calcula los puntos clave para todas las imágenes utilizando una versión mejorada de los descriptores binarios propuestos en (Strecha *et al.* 2011), 2) Los puntos clave se comparan entre imágenes para encontrar los que coinciden, 3) Los puntos coincidentes, así como los valores aproximados de la posición y orientación de la imagen, se utilizan en un ajuste de bloque de paquete (Andrew 2001) para volver a calcular la posición y orientación exactas de la cámara para cada imagen, 4) Se verifican los puntos coincidentes y se calculan sus coordenadas 3D. El sistema georreferenciado que se utilizó fue el World Geodetic System (WGS84), basado en mediciones GPS, 5) Los puntos 3D se interpolan para formar una red irregular triangulada para obtener modelos digitales de elevación. A continuación, se construye un modelo 3D denso para aumentar la resolución espacial de la estructura del triángulo

(Strecha *et al.* 2008b), 6) El DEM se utiliza para proyectar cada píxel de la imagen y calcular el ortomosaico georreferenciado utilizando un enfoque bayesiano y definir un modelo generativo de las imágenes de entrada (Strecha *et al.* 2008a). Existen otras alternativas, como el software Agisoft® con soluciones cartográficas similares. Es necesario evaluar el uso de software abiertos (sin costo) para hacer más asequible esta tecnología.

La vigilancia entomológica terrestre necesita ser simultánea a la toma de imágenes aéreas (vigilancia aérea) para registrar las mismas escenas. Recomendamos registrar todos los contenedores en las casas muestreadas y contar todos los huevos, larvas, pupas por especie por contenedor y registrar la presencia de mosquitos adultos, en interiores, exteriores y techos para obtener la máxima información entomológica posible. También se pueden recolectar especímenes para crianza en laboratorio y pruebas de laboratorio como análisis molecular, vigilancia entomoviológica o para pruebas de eficacia y/o resistencia a insecticidas. Estas actividades consumen más tiempo operativo, pero mientras se llevan a cabo, el equipo encargado de los vuelos y toma de fotografías puede verificar la calibración de los instrumentos empleados, realizar más de un vuelo, cargar baterías, hablar con los dueños de casa y tomar precauciones para la realización de los vuelos.

Los hábitats acuáticos creados por la modificación antropogénica del uso del suelo se correlacionaron positivamente con la abundancia de *Ae. aegypti* (Wilke *et al.* 2021). En el contexto urbano, muchas de los criaderos de *Ae. aegypti* ubicados debajo de árboles o techos, toldos, porches y otras cubiertas, cerca de paredes u otros elementos son difíciles de identificar (Case *et al.* 2020); incluso los criaderos más productivos. En este estudio, el 51.48% de los contenedores registrados por vigilancia terrestre se encontraban a cielo abierto, el 33.51% se encontraban bajo techos o cubiertas y el 15.00% se encontraban debajo de árboles y diferentes plantas vegetales. De igual manera, en otros estudios realizados en la misma ciudad (Arredondo-Jiménez y Valdez-Delgado 2006), el contenedor más productivo fue el tanque. El 89.65% de los tanques registrados se encontraron intradomicilio, totalmente cubiertos bajo techo, lo que dificulta la

implementación de vigilancia aérea para identificar los contenedores más productivos en el contexto urbano. Si bien la tecnología de drones se ha vuelto robusta, recomendamos explorar otras tecnologías novedosas para fortalecer los registros de información y vigilancia terrestre.

El desarrollo de hardware informático y métodos basados en el aprendizaje profundo puede mejorar la precisión y realizar técnicas de detección de objetos en tiempo real, como redes neuronales profundas, visión artificial y detección de objetos (Liu *et al.* 2020; Minakshi 2020). Se ha utilizado un algoritmo basado en redes neuronales entrenadas con imágenes multiespectrales para detectar criaderos de larvas de *Ae. albopictus* en áreas suburbanas de Nueva York. Las imágenes de los drones y el análisis de redes neuronales pueden aumentar drásticamente la capacidad de vigilancia, aumentando el alcance y reduciendo el tiempo requerido para los métodos convencionales de vigilancia terrestre (Case *et al.* 2020). Otra técnica utilizada, el análisis de imágenes de levantamientos aéreos basados en objetos geográficos (GEOBIA), identificó con precisión las características ambientales asociadas con el hábitat larvario de *An. gambiae* sensu lato y *An. coustani*, *An. pretoriensis* y *An. funestus*, lo que la convierte en una herramienta con un gran potencial (Staton *et al.* 2021). Otras tecnologías pueden identificar, además, la vegetación en entornos urbanos, como Google Street View®. Berland y cols. (2017) documentaron que al menos el 93% de los 597 árboles registrados en un estudio de campo, también se observaron en el análisis virtual usando esta herramienta. Los estudios futuros pueden combinar fotos aéreas de drones con herramientas de Google como Google Street View® (Haddawy *et al.* 2019; Prachyabrued *et al.* 2020; Su Yin *et al.* 2021; Liu *et al.* 2021) y Google Engine® (Youssefi *et al.* 2020; Frake *et al.* 2020), para mejorar la vigilancia de los criaderos y la clasificación del paisaje. Las técnicas de aprendizaje automático agregan precisión y eficiencia para identificar los criaderos de mosquitos y las características urbanas antropogénicas modificables que permiten el desarrollo de los mosquitos (Wilke *et al.* 2019), fortaleciendo el análisis de áreas de riesgo y el análisis del poder de los índices de vegetación (Agarwal *et al.* 2019).

8.2 Objetivo específico 2.

Como elementos que se han asociado a cada una de las etapas del ciclo de vida de *Ae. aegypti*, podemos mencionar lo siguiente: a) Se determinó que las viviendas con mayor abundancia de mosquitos *Ae. aegypti*, están asociadas a las determinantes conductuales y sociodemográficas, como áreas de bajos ingresos, menos protección de puertas y ventanas, más contenedores expuestos a la lluvia, jardines con poco mantenimiento (Donnelly *et al.* 2020), número de ocupantes del hogar, presencia de sitios de entrada de mosquitos en el hogar y de vegetación decorativa (Talbot *et al.* 2021), b) Como variables socioecológicas asociadas con la presencia en el hogar de hembras de *Ae. aegypti*, se determinó a las interrupciones en el servicio de agua (Causa *et al.* 2019; Martin *et al.* 2021 y Lippi *et al.* 2021), recolección de basura semanal (Lippi *et al.* 2021) y la presencia de unidades de aire acondicionado montadas en las ventanas (Juárez *et al.* 2021), c) En cuanto a la presencia de criaderos, estudios recientes han encontrado una mayor abundancia de criaderos de *Ae. aegypti* en áreas con altas temperaturas de superficie y vulnerabilidad social (De Azevedo *et al.* 2018), y casas con jefas de familia de baja educación (sin educación primaria completa) (Danis-Lozano *et al.* 2002), d) Mientras que para la abundancia de larvas fueron viviendas de una planta, el almacenamiento de agua para uso doméstico, patio trasero desorganizado y la proporción de sombra superior al 50% del patio trasero (Vásquez-Trujillo *et al.* 2021) y e) La abundancia pupal se relacionó con el volumen de agua por contenedor (Ha *et al.* 2021), siendo los tanques, los criaderos más productivos en esta región (Arredondo-Jiménez y Valdez-Delgado 2006).

El análisis de correlación realizado en este estudio para ambos muestreos demostró que una variable independiente, no es suficiente para explicar el comportamiento de otra, y que, de demostrarse una correlación, no necesariamente será una causalidad (Roy-García *et al.* 2019). Se sugiere que, en futuros estudios, se exploren más a fondo variables compuestas por diversos elementos de cada una de las encuestas, como una variable que englobe todos los elementos de la naturaleza y tipos de criaderos y una variable socioeconómica en la que confluyan los aspectos de la vivienda, servicios, entre otros.

Por otro lado, se han documentado sensores remotos y sistemas de información geográfica para analizar los factores asociados con la transmisión de la malaria (Pope *et al.* 1994; Beck *et al.* 1994; Beck *et al.* 1997; Rogers *et al.* 2002). La vegetación se ha asociado con los criaderos de diferentes especies de mosquitos vectores de la malaria, como *Anopheles albimanus* (Savage *et al.* 1990; Rejmankova *et al.* 1992; Rodríguez *et al.* 1996) y *An. pseudopunctipennis* (Fernández-Salas *et al.* 1994). Asimismo, la sombra de la vegetación crea condiciones para el desarrollo del mosquito *Ae. aegypti* (Vezzani y Albicócco 2009, de Jesús Crespo *et al.* 2022).

En agricultura de precisión, las plataformas de detección de los drones equipadas con diferentes sensores se han convertido recientemente en una herramienta para el fenotipado rápido y no destructivo de alto rendimiento en cultivos (Guijun *et al.* 2017). La propuesta de este estudio fue evaluar la misma tecnología para caracterizar los ecosistemas de mosquitos aedinos. Debido a que el ecosistema del mosquito *Ae. aegypti* es más complejo, requiere la mejor tecnología de punta y la máxima precisión. Imágenes de mayor resolución, tecnologías multiespectrales y de microondas también se recomiendan para identificar los componentes del índice de condición de la vivienda (Moloney *et al.* 1998), que facilitan la presencia de mosquitos antropofílicos y antropofágicos. Este estudio es el inicio de una serie de investigaciones para demostrar que los índices de vegetación utilizados en otros sectores como el agrícola, pueden utilizarse en salud pública.

Existen pocos estudios sobre el uso de drones e imágenes multiespectrales para la vigilancia de factores asociados a la abundancia de mosquitos. Uno de los primeros estudios de drones implica un vuelo de dron a una altitud de 100 m y una resolución de 0,07 m/píxel en el espectro visible para mapear los hábitats del vector de la malaria (Hardy *et al.* 2017). Posteriormente, algunos estudios demostraron que la tecnología de drones y la cartografía especializada son una herramienta efectiva para la identificación de áreas asociadas a la abundancia de mosquitos (Carrasco *et al.* 2019; Sarira *et al.* 2020; Staton *et al.* 2021).

En Perú, se utilizó mapeo multiespectral junto con el análisis Random Forests para identificar criaderos de larvas de *Anopheles darlingi* en poblados rurales de la Amazonía peruana, con imágenes de alta resolución (0.02 m/píxel), su perfil multiespectral pudo determinar los sitios de agua donde *Ny. darlingi* tiene más probabilidades de reproducirse (Precisión general 86.73 % a 96.98 %) con una diferenciación moderada de las bandas espectrales. Descubrieron, además, que se observaron valores más altos de NDVI en cuerpos de agua negativos. Esta investigación proporcionó evidencia adicional del uso de imágenes de alta resolución para detectar criaderos de mosquitos anofelinos. Los autores exploraron el uso de vehículos aéreos no tripulados para mapear cuerpos de agua, donde se realizó simultáneamente un mapeo basado en RGB e imágenes multiespectrales, obteniendo una resolución de 0.02 m para bandas multiespectrales utilizando una cámara con sensor Parrot Sequoia en un vuelo sobre un dron 3DR Solo a 50 m de altura (Carrasco *et al.* 2019). La resolución obtenida para la cámara micasense® utilizada en nuestro estudio fue de 0.07 m/píxel para el vuelo del dron a una altitud de 100 m, la metodología desarrollada por Carrasco *et al.* 2019, puede arrojar mejor resolución de imágenes para ecosistemas urbanos de mosquitos *Aedes*, pero para la planificación operativa, recomendamos hacer un vuelo del dron a más de 80 m para realizar un vuelo seguro en las zonas urbanas.

Asimismo, se ha documentado el uso del infrarrojo cercano (NIR) para identificar cuerpos de agua como hábitats potenciales de larvas de mosquitos, el NDVI resultó tener una alta precisión de mapeo de especies de mosquitos de marismas (Sarira *et al.* 2020). Sin embargo, con el uso del NIR no se obtuvo una mejora notable para los criaderos de larvas de anofelinos en comparación con la cartografía RGB con clasificación GeoBIA (Stanton *et al.* 2021). Los autores utilizaron un DJI Phantom 4 Pro con un sensor NIR Sentera adicional y un dron e-Bee S.Q con cámara multiespectral Parrot Sequoia a 120 m snm, obteniendo una resolución de 0.03 m/píxel. Debido a que los índices de vegetación en nuestro estudio mostraron potencial para determinar qué áreas pueden tener las características que permiten la presencia de mosquitos *Ae. aegypti*, en futuros estudios será necesario analizar qué bandas multiespectrales se pueden agregar y evaluar diferentes

calidades y características de las cámaras. Además de diseñar cámaras con bandas de los diferentes espectros de luz que se conoce son útiles para estos fines.

Un estudio reciente evaluó el uso de cartografía con imágenes de drones, el índice de vegetación verde-roja (GRVI), encuestas entomológicas, vigilancia activa de casos febriles de dengue, vigilancia socioeconómica y ubicación de espacios públicos para determinar los factores de riesgo del dengue durante una epidemia en Ecuador. Los autores encontraron que una vegetación más densa y la proximidad a la cancha de fútbol de la ciudad, eran predictores más sólidos de dengue sintomático y determinaron que el índice de vegetación verde y roja estaba asociado con el riesgo de dengue (Lee *et al.* 2021). Es fundamental analizar más índices de vegetación para identificar áreas de transmisión de riesgo en las zonas endémicas de las ciudades del sur de México.

El segundo análisis que se ha empleado en este estudio, referente a los índices de vegetación, ha arrojado hallazgos clave; se observan asociaciones pequeñas pero significativas entre el conteo, el número de etapas adultas y la densidad del kernel entre las capas multiespectrales de NDVIRE, ajustando por NDVI. Se esperaba que la asociación entre las etapas adultas y la densidad de kernel de NDVIRE alta y media observada probablemente se deba a que la escala espacial de los valores de píxeles es demasiado grande para detectar un posible aumento en la densidad de mosquitos adultos en una escala espacial más fina. La capa multiespectral NDVIRE se incluyó como un indicador potencial de la circulación de mosquitos adultos y de una mayor probabilidad de aumento de la abundancia del vector a través de casas con densidades de grano altas y medias, por lo que se esperaba una asociación positiva con las densidades de mosquitos adultos.

Estos hallazgos muestran que la capa multiespectral NDVIRE afectó positivamente la abundancia de mosquitos *Ae. aegypti* adultos. Una limitación en la estimación de la densidad kernel sería el número de muestras tomadas dentro de los polígonos de cada vivienda (100 píxeles de muestra), así como el tamaño del sitio de estudio en sí (aproximadamente 80 Ha.) fue pequeño; por lo tanto, los mapas pueden no representar

fuertemente el paisaje más grande. Es conveniente explorar más técnicas y/o métodos de extracción de datos o atributos de la cartografía multispectral realizada por fotogrametría para futuros análisis más robustos. Por todo lo anterior, fue necesario tomar en cuenta más variables que en su conjunto modifiquen las variables explicativas, y puedan indicar aquellas viviendas que cuentan con las características que faciliten el ciclo de vida de *Ae. aegypti*, como el modelo propuesto de “casa aérea” en el objetivo 3.

8.3 Objetivo específico 3.

El contar con imágenes de alta resolución, en tiempo real y más accesibles tomadas por drones, dictan la necesidad de evaluar su uso con poder predictivo dentro de la prevención y control de ETVs. El conocimiento previo es una buena base, pero la tecnología actual nos permite analizar la dinámica de diferentes cambios, como la sobrepoblación, la urbanización y el cambio climático, a diferentes escalas espaciales.

Si bien, la evidencia científica disponible y en términos de los objetivos de cada estudio, analiza la información entomológica y epidemiológica disponible, en áreas de estudio definidas y toma en cuenta diferentes tipos de variables, también ha sido limitada a la tecnología, resolución y frecuencia de imágenes disponible. En estudios recientes de modelos de distribución espaciotemporal de vectores *Aedes*, destaca la disponibilidad limitada de datos de alta resolución para variables físicas, como parte de las inconsistencias en términos de número y tipo de factores influyentes (Sallam *et al.* 2017).

El determinar un modelo que determine el poder y la asociación de diferente naturaleza de variables es un reto necesario, ya que el mosquito *Ae. aegypti* se presenta en entornos complejos bajo una dinámica también compleja (Monaghan *et al.* 2019; Mudele *et al.* 2020; Ong *et al.* 2019; Ong *et al.* 2021), donde intervienen numerosos factores en distintas dimensiones y donde cada uno puede tener un rol distinto en menor o mayor importancia, pero no dejan de incidir en la respuesta del vector a las diferencias del paisaje. Sin embargo, existen pocos estudios que adoptan un enfoque integral que destaca la interacción entre los sistemas ambientales, socioeconómicos, meteorológicos y topográficos (Sallam *et al.* 2017). Se han utilizado modelos de distribución de especies de máxima entropía, siendo la densidad de población humana, distancia a la vegetación, canales de agua (Estallo *et al.* 2018), densidad de población y pobreza (Obenauer *et al.* 2017) las principales variables predictores de la idoneidad vectorial de un área determinada.

Tal como James (1919) propusiera los conceptos de “casa palúdica” como aquella que ofrezca: 1) Lugares apropiados para el reposo de los mosquitos transmisores de

malaria durante el día, tales como rincones oscuros, poco ventilados, húmedos y con poca variación de temperatura, y/o 2) Proporcione fácil acceso a los mosquitos para entrar en busca de alimento, tal como proximidad a los criaderos (sin fuentes de alimentación intermedia), viviendas con paredes discontinuas y/o con amplias aberturas. También se pueden definir las variables para determinar una vivienda “aélica”, esta vez tomando en cuenta diferentes tipos de variables relacionadas no solo a la vivienda, sino también a sus moradores (poblacionales-socioeconómicas) y otras características relacionadas al paisaje, como la cobertura y tipo de vegetación presente y la topografía; que, en años anteriores, debido a las imágenes disponibles, no se contaba con la certeza de obtener las imágenes con los datos entomológicos simultáneamente.

El modelo aquí planteado, consideró diferentes tipos y naturaleza de variables relacionadas al paisaje inmediato de cada vivienda visitada, como la vegetación presente, a través de la cobertura y altura de árboles e índices de vegetación que consideran tanto el verdor como la densidad vegetal de las especies presentes. Asimismo, se incluyó la cobertura de sombra, proyectada por techos de loza (21% de las viviendas) o lámina (79% de las viviendas), y se incluyeron valores del modelo digital de superficie que representa todas las elevaciones presentes en la superficie, terreno, infraestructura y vegetación. Siendo todas las variables anteriormente enumeradas, realizadas por medio de cartografía especializada hecha por imágenes aéreas realizadas por drones. Finalmente, se incluyó el índice de condición de la vivienda (Tun Lin *et al.* 1995a), el índice de condición de la vivienda modificado (Moloney *et al.* 1990) y el número de criaderos positivos a *Ae. aegypti*, como una medida indirecta de las características de las viviendas que les permiten ofrecer condiciones que facilitan el ciclo de vida de los mosquitos y la oviposición (Powell y Tabachnick 2013; Ibáñez-Bernal y Gómez-Dantés 1995; Cheong 1967, Christophers 1960) y el índice de hacinamiento, como una medida de la densidad poblacional de los moradores en cada vivienda y que puede actuar entre otros factores, como parte de los condiciones para que las hembras se desplacen en búsqueda de fuentes de alimentación.

Como variables dependientes se incluyeron todos los estados inmaduros, mosquitos hembra y mosquitos macho de *Ae. aegypti* que pudiesen explicar el modelo. La especie

vegetal presente, su altura y su follaje, van a incidir en la temperatura local y en la velocidad del viento, debido al efecto de sombra proyectada sobre las diversas superficies, pero sobre todo al fenómeno de la evapotranspiración, que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas, otra pequeña contribución se debe a la humedad del suelo (Ochoa de La Torre 1999). También influye en la cantidad de materia orgánica y detritus que está presente en los criaderos larvarios que se encuentran debajo de vegetación (de Jesús Crespo y Rogers 2022; Tsuda *et al.* 2006).

México, en su frontera sur, posee una amplia diversidad de ecotonos, niveles socioeconómicos, climas y movimiento constante de grupos migratorios. Los modelos desarrollados se deben adaptar a las condiciones particulares de la región endémica en estudio. No hay una fórmula ideal, sino una serie de pasos para determinar que variables ofrecen mayor poder predictivo para una zona determinada.

Por otro lado, el área de trabajo por índice de riesgo dentro del Programa Nacional de Dengue y que opera para todo el país, es aquella que se genera semanalmente en el módulo de Vigilancia Entomológica y Control Integral del Vector del Sistema Integral de Monitoreo de Vectores, con la información de casos probables y la lectura de ovitrampas (número de huevos) por manzana, y se presenta en cuatro categorías; Alto Riesgo (AR), Moderado Alto Riesgo (MAR), Moderado Bajo Riesgo (MBR) y Bajo Riesgo (BR). El área por programar para una atención integral es de 9 manzanas como mínimo (DOF 2015). Método que se ha implementado desde hace una década y requiere ser fortalecido con evidencia científica en las zonas endémicas a dengue.

Asimismo, el programa nacional de dengue utiliza algunos índices para determinar áreas de riesgo donde el vector se desarrolla, como el Índice de Condición de la Vivienda, un índice que toma en cuenta la apariencia de la vivienda, la sombra y el desorden en el patio de las viviendas, con el objetivo de determinar el grado de riesgo en la vivienda ante la presencia o ausencia del vector (Tun Lin 1995a). En nuestro estudio, la colonia El Vergel presentó condiciones que determinaron para la mayor parte de las casas encuestadas, un índice de condición de la vivienda con un nivel de riesgo medio, lo que

no permite dirigir o focalizar acciones de prevención y control de vectores a nivel vivienda y a nivel manzana en la zona. Lo anterior podría ser un reflejo de otras colonias en áreas semiurbanas del municipio de Tapachula. Lo que, aumenta la relevancia de evaluar otros índices de riesgo.

Los mapas generados con nuestro modelo de riesgo marcan zonas de riesgo en la periferia de la colonia, la cual se caracteriza por presentar mayores coberturas de vegetación, deficiencia en el suministro de servicios y movimiento poblacional constante (migrantes), lo que puede representar un riesgo mayor para la transmisión del dengue en estas áreas en particular. Por todo lo anterior, los mapas generados se pueden sumar a las capas de información geográfica que fortalezcan la toma de decisiones sobre las medidas de prevención y control de mosquitos en la zona. Debido a que las nuevas herramientas de análisis espacial y los modelos matemáticos son métodos muy importantes en las actividades de control de vectores (Baak-Baak *et al.* 2022), es de vital importancia que las tecnologías y metodologías de mapeo y modelado espacial sean cada vez más asequibles para su uso en salud pública (Eisen y Lozano-Fuentes 2009), sobre todo en zonas endémicas que requieren certeza, cobertura y oportunidad. Además, ya que existe evidencia de la superposición de enfermedades transmitidas por *Aedes* (dengue, chikungunya y zika) dentro de puntos críticos geográficos (Bisanzio *et al.* 2019; Dzul *et al.* 2021), los modelos predictivos podrán utilizarse para la toma de decisiones en la prevención de diversas arbovirosis transmitidas por *Aedes* en zonas endémicas urbanas y semiurbanas.

La presente metodología posee la flexibilidad para adaptar el modelo a las diferentes regiones de nuestro país y esta misma flexibilidad la permite en buena medida, la disponibilidad de información en tiempo real que proporcionan los drones, siendo, uno de sus más importantes aportes. Nuestro modelo tiene limitantes, ya es recomendable contar con información en diferentes épocas del año para robustecerlo. Cabe mencionar que, aunque este estudio cuente con datos de dos temporadas/muestreos, no contó con la cartografía especializada en el primer muestreo. Tapachula es una zona donde la época de seca y lluvia está fuertemente marcada y determina un contraste en por lo menos, la

disponibilidad y tipo de criaderos donde el vector se desarrolla. Asimismo, se requiere validar el modelo en diferentes colonias del municipio de Tapachula, donde las condiciones de las viviendas varían en función de su nivel socioeconómico, principalmente.

Recomendamos que, en futuros estudios, se tomen en cuenta variables relacionadas a la vulnerabilidad de la población, ya que han sido asociadas a una serie de factores de carácter social, económico, de conocimientos y prácticas que favorecen la proliferación del vector *Ae. aegypti* y evaluar las llamadas “islas de calor”, ya que se ha determinado su asociación con la abundancia de este mosquito vector (De Azevedo *et al.* 2018; Reinhold *et al.* 2018; Lorenz *et al.* 2020), donde se debe explorar las imágenes con drones en la generación de esta cartografía, para mejorar la resolución y los datos disponibles. Asimismo, recomendamos explorar la incorporación de otros métodos de muestreo entomológico ya realizados por el programa nacional de dengue y con el que se cuenta información de por lo menos diez años atrás como el uso de ovitrampas.

Finalmente, se recomienda explorar el uso de IA como redes neuronales (Redmon *et al.* 2016; Redmon y Farhadi 2017; Redmon y Farhadi 2018; Bochkovskiy *et al.* 2020 y Case *et al.* 2020), entrenamiento de máquina (Joshi y Miller 2021) y explorar métodos basados en el análisis de imágenes basadas en objetos geográficos GEOBIA (Kucharczyk *et al.* 2020; Stanton *et al.* 2021), además de métodos innovadores de vigilancia (Markwardt 2021; Sorosjinda-Nunthawarasilp 2021; Piovezan *et al.* 2022) para fortalecer la información el modelo en tiempo real, entre otros métodos de involucramiento de las comunidades como *citizen science* (Vohland *et al.* 2021; Pataki *et al.* 2021) percepción de la comunidad ante nuevas tecnologías (Annan *et al.* 2022; Bartonemus *et al.* 2019) e investigación de la implementación (Peters *et al.* 2013) que fortalecerán la oportunidad y la fidelidad de la información entomológica y epidemiológica, sociodemográfica y ambiental, de la que se puede tener disponible para ésta y otras regiones del país.

8.4 Objetivo específico 4.

Hace dos décadas, se evaluó la fotografía satelital como herramienta de vigilancia en la identificación de viviendas con alto riesgo de presencia de *Ae. aegypti* mediante el uso de del índice de condición de la vivienda modificado (PCI₂). Se obtuvo que la capacidad de la fotografía aérea de baja resolución para mejorar la vigilancia de los criaderos de *Ae. aegypti* fue limitada y que la vigilancia terrestre fue la herramienta más confiable para identificar la probabilidad de que *Ae. aegypti* se reproduzca en entornos residenciales (Moloney *et al.*, 1998). Aunque no contaban con más tecnología, este estudio abrió el camino para evaluar nuevas herramientas tecnológicas y el uso de imágenes de alta resolución para mejorar los resultados. La evidencia científica sólida de la eficacia de los drones para identificar los criaderos de mosquitos es escasa y se basa en mosquitos *Anopheles* principalmente, en áreas rurales o semirurales, en áreas más extensas y en diferentes paisajes o usos de suelo (Días *et al.* 2018; Carrasco *et al.* 2019; Sarira *et al.* 2020; Staton *et al.*, 2021).

Mediante la vigilancia aérea por medio del dron, se identificaron el 30.38% del total de recipientes incluyendo el intradomicilio y el 35.82% de los recipientes registrados en peridomicilio por vigilancia terrestre. Localizando el 84% de los recipientes registrados en área abierta (sin techos o árboles) en peridomicilio por vigilancia terrestre. Se obtuvieron las mismas limitaciones de visibilidad reportadas en otros estudios similares realizados en zona urbana (Moloney *et al.* 1998; Case *et al.* 2020). La visibilidad de los recipientes depende de muchos factores y condiciones locales, los techos y los árboles son los factores más importantes para las variaciones de visibilidad, seguidos de las paredes cercanas y las láminas de plástico (Case *et al.* 2020). Condiciones del paisaje que se repiten no sólo en Tapachula, sino en todo el estado. Para mejorar la vigilancia aérea de los componentes del peridomicilio, realizamos la toma de imágenes alrededor del mediodía, para reducir las sombras (Moloney *et al.* 1998). La limitante de los vuelos a esta hora del día es la temperatura, ya que el fabricante aconseja un rango de temperatura de funcionamiento de 0° a 40° C.

En general, mediante imágenes de drones, identificamos 10 de 26 tipos/categorías de recipientes/contenedores, donde la mayoría de los recipientes en peridomicilio eran cubetas y tinacos de plástico, contenedores de plástico desechables y macetas. Los contenedores y recipientes en el techo de las viviendas, identificados por imágenes de drones, corresponde a evidencia científica con muy pocos antecedentes hasta ahora. Los contenedores y recipientes en los techos dependen de muchos factores, por ejemplo, los materiales de los que están hechos los techos y los suministros de agua potable. Los techos de losa facilitan la ubicación de contenedores de gran tamaño y un deficiente suministro de agua potable, la presencia de tinacos u otros recipientes controlables. En nuestro estudio, el 78.70% de las viviendas tenían techo compuesto por láminas metálicas y únicamente el 21.30% techos de losa. Además, 153 viviendas contaban con agua potable entubada (70.83%) y 38 viviendas contaban con tanque elevado o tinaco (17.59%).

En los techos de las viviendas se identificaron recipientes de plástico desechables principalmente; además, se identificaron contenedores más grandes en techos de losa, como tinacos y cubetas. El único tipo de contenedor que pudo ser identificado por ambos tipos de vigilancia, terrestre y aérea, fueron los tinacos. Para aumentar la evidencia científica sobre la eficacia de los drones para identificar contenedores o recipientes, posibles criaderos de *Ae. aegypti*, se propone extender este estudio a diferentes ciudades de México, debido a que las condiciones socioeconómicas y conductas de la población son muy variadas y las condiciones de almacenamiento de agua también brindan escenarios diferentes.

De acuerdo con otros estudios (Case *et al.* 2020), las imágenes de espectro visible utilizadas no identificaron de manera confiable y consistente la presencia de agua en recipientes pequeños. Por lo que, se propone explorar otras técnicas de obtención de imágenes fuera del espectro visible, como la tecnología multiespectral, para identificar las áreas de retención de agua, e identificar los posibles criaderos de mosquitos *Ae. aegypti* (Moloney *et al.* 1998; Suduwella *et al.* 2017).

La presencia de larvas o pupas de *Aedes* spp. depende de muchos factores físicos y biológicos (Vezzani y Albicocco 2009; de Jesús Crespo *et al.* 2022) pero una de las más importantes es la cantidad de agua en el recipiente, necesaria para que todos los estados inmaduros del mosquito se desarrollen. En nuestro estudio, la cisterna, el tanque de cemento y el tinaco, fueron los contenedores con mayor capacidad de almacenamiento de agua.

Es importante tener en cuenta cuáles de estos contenedores pueden ser recipientes que faciliten la productividad pupal, porque el focalizar las acciones en los recipientes con mayor productividad pupal, puede servir como base para una estrategia de intervención específica (Tun-Lin *et al.* 2009). Un estudio de campo en Tapachula, Chiapas encontró al tanque de cemento como el contenedor con mayor productividad de pupas (Arredondo-Jiménez y Valdez-Delgado 2006). En la presente tesis, se encontró el 6.43% de contenedores positivos, y de la misma manera el tanque, fue el contenedor con mayor productividad de pupas (66.17% de las pupas registradas). Por otro lado, en relación con los patrones de oviposición y el desplazamiento de las hembras grávidas, en un ensayo de campo de elección de oviposición, las hembras de *Aedes* spp. prefirieron contenedores grandes y medianos. Sin embargo, el número total de huevos ovipuestos no cambió cuando se retiró el contenedor grande, por lo que, mientras los contenedores grandes pueden producir una gran cantidad de mosquitos adultos a la vez, los hábitats más pequeños pueden permitir que las poblaciones de mosquitos permanezcan en las viviendas, incluso después de la eliminación de los recipientes más productivos, demostrando que la eliminación incompleta de los hábitats larvarios puede tener consecuencias impredecibles para la distribución de inmaduros y sus etapas entre los hábitats restantes (Parker *et al.* 2020). El uso de drones puede complementar estudios de la dinámica de criaderos en una zona determinada.

El índice Kappa de Cohen pudo determinar la concordancia entre la efectividad del drone versus la vigilancia terrestre tradicional. El acuerdo sustancial fue alcanzado por las categorías de balde o cubeta y llantas, acuerdo moderado por las tinas metálicas, recipientes de plástico desechable y maceta. El balde o cubeta, la tina metálica y las

macetas están catalogados como recipientes no desechables y su presencia es continua en muchas casas. Mientras tanto, los tinacos y los tanques tuvieron coeficientes kappa en acuerdo débil y pobre, respectivamente. Si bien, mediante la vigilancia terrestre registró un tanque de cemento por vivienda, catalogado como el de mayor productividad pupal para *Ae aegypti*; acorde a las costumbres de los moradores de las viviendas, este tipo de contenedores es utilizado en diferentes labores del hogar (lavar ropa, trastes de cocina, bañarse) y muchas veces estaban cubiertos por diferentes tipos de techos, lo que imposibilitaba su identificación en imágenes de drones. Sin embargo, la vigilancia con drones puede aplicarse en casas deshabitadas por la importancia de estos grandes contenedores durante la temporada de lluvias. El tinaco es otro contenedor grande que puede tener una gran cantidad de larvas y pupas de *Ae. aegypti* si está descubierto y, a menudo, no está cubierto por techos o materiales que facilitan la identificación de los drones. En este estudio, los tinacos se registraron únicamente en 38 de las 216 viviendas, ya que la mayoría de las viviendas tenían techos de lámina (79%). El resto de los envases como maceta, botella de vidrio o inodoro, no tuvieron importancia entomológica en éste y otros estudios en la zona (Arredondo-Jiménez y Valdez-Delgado 2006) independientemente de su coeficiente Kappa.

Además, se identificó al menos un contenedor en 146 de los 216 hogares encuestados (67.6 %), mientras que los métodos tradicionales en 197 (91.2 %). Además, la concordancia entre la vigilancia aérea y la vigilancia terrestre fue del 64.9%, encontrando al menos un contenedor en 135 viviendas por ambos métodos. Sin embargo, las proporciones de contenedores fueron claramente superiores en la vigilancia terrestre, obteniendo 1 contenedor detectado en VA por 2.8 por VT. Además, se identificaron 10 tipos de contenedores por VA de los 26 por VT, donde los más frecuentes en los peridomicilios identificados por VA fueron los baldes y cubetas (378, 45.2%), contenedores de plástico desechables (218, 26.1%) y macetas (152, 15.4%); mientras que, en el techo de las viviendas, se identificaron más contenedores de plástico desechables (55, 37.4%) y otros (45, 4.6%) donde se agrupan los charcos y lonas plásticas.

Desde el aspecto operativo, en 20 minutos de vuelo automático, con un dron se pueden tomar fotografías en un área de 25 Ha, lo cual es más eficiente que dos técnicos que emplean una semana de trabajo para cubrir la misma área (vigilancia terrestre). Sin embargo, es necesario realizar más estudios en otros lugares del país con estudios de costo-efectividad para identificar la utilidad de los drones en diferentes escenarios. Para los mapas de riesgo de presencia de dengue, un dron puede proporcionar fotos de alta resolución para realizar cartografía especializada que se puede utilizar para el análisis espacial y temporal, cuya información puede ser devuelta a los servicios de salud para la toma de decisiones. Estos mismos mapas pueden utilizarse para prevención de otras ETV y/o diferentes abordajes en salud pública.

Debido a los resultados obtenidos, podemos mencionar que la vigilancia aérea es propuesta como un complemento a la vigilancia terrestre, dado a que complementa la información obtenida en encuestas realizadas casa por casa. Con la tecnología actual, aún no se sugiere sustituir por completo a la vigilancia terrestre por la vigilancia aérea. Los drones pueden ser una herramienta de vigilancia para identificar criaderos en áreas inaccesibles del hogar como techos, casas cerradas y lotes baldíos, debido a la importancia de estas áreas sin monitoreo sobre las poblaciones de mosquitos (Barrera *et al.* 2021). De manera tal que, si se cuenta con domicilios cerrados o renuentes, se pueda contar con información no sólo para conocer mejor el área de estudio, también para utilizar esta información en el involucramiento o empoderamiento de la comunidad en acciones en pro de entornos saludables.

El uso de drones puede complementar los estudios de economía del comportamiento, o comunicación para el impacto del comportamiento (COMBI), cuyo enfoque prioriza la promoción de cambios de comportamiento encaminados a la prevención de enfermedades y sus acciones están dirigidas a fomentar los comportamientos identificados en la investigación formativa en las comunidades (WHO 2012). Así como los cambios producto de la estrategia denominada “Patio Limpio” para ordenar, limpiar y reducir los factores de riesgo en las viviendas (Tapia-Conyer *et al.*

2012). Especialmente, en áreas de COVID 19 donde el personal de salud disminuye el contacto con los habitantes (PAHO 2020, Gómez-Dantés *et al.* 2020).

En un estudio reciente sobre *Ae. albopictus*, los científicos que utilizaron imágenes de drones y redes neuronales pudieron identificar el 67 % de los contenedores (hábitat de reproducción potencial) en un estudio sobre el terreno. *Ae. albopictus* es una especie de mosquito que habita en contenedores y en áreas urbanas, se puede encontrar tanto en áreas públicas como privadas con vegetación. Las especies de *Aedes* tienen tipos de contenedores similares para la reproducción (Estrada-Franco *et al.* 1995). Recomendamos para estudios futuros, extender la identificación de criaderos a redes neuronales para la vigilancia integrada de mosquitos (Amarasinghe *et al.* 2017; Case *et al.* 2020; Passos *et al.* 2020; Cuhna *et al.* 2021). Sin embargo, para explorar estas tecnologías, se necesitan numerosas imágenes de muchos escenarios diferentes para fortalecer la herramienta con una gran inversión de tiempo. El punto es cómo se pueden equilibrar estas herramientas para hacer que las tecnologías sean más asequibles para los programas locales de salud pública. Además, es necesario desarrollar las capacidades de los drones, ya que aún tienen límites en tiempo, distancia, costo, energía y cobertura óptima (Rojas-Viloria *et al.* 2020; Thibbotuwawa *et al.* 2020).

El surgimiento de los drones desafía las nociones tradicionales de seguridad, protección, privacidad, propiedad, responsabilidad y regulación con su capacidad para recopilar datos y transportar cargas. Los drones están cambiando la forma en que pensamos y sentimos sobre nuestro entorno físico. Al mismo tiempo, por una cuestión ética, los drones han sido legitimados por reglamentos y licencias de agencias federales. Esta tensión presenta desafíos únicos para su integración en la infraestructura pública, gubernamental y privada actualmente existente (Rao *et al.* 2016; Luppicini *et al.* 2016, Custers 2016), y se ha propuesto que los países implementen acuerdos regulatorios existentes y, en su caso, modificarlos y ampliarlos (Clarke 2016). Sin embargo, los drones se ajustan de manera consistente con los regímenes legales existentes, en particular, el derecho penal internacional y el derecho internacional humanitario de acuerdo con los principios generales del derecho internacional (Alberstadt 2014). Es necesario realizar

estudios e investigaciones sustantivas sobre la percepción pública y la aceptación de drones (Birtchnell y Gibson 2015; Clothier *et al.* 2015), en diferentes regiones del país.

La vigilancia de mosquitos terrestres no puede ser reemplazada (Hardy *et al.* 2022a). Es necesario involucrar a la comunidad en tecnologías novedosas de control de vectores (Hardy *et al.* 2022b), incluida la vigilancia de mosquitos (Bartonemus *et al.* 2019). La investigación de implementación (Peters *et al.* 2013) es un paso más hacia nuevas estrategias.

Existen pocos estudios formales sobre análisis de costo efectividad en los programas de vigilancia y control de *Ae. aegypti* (Baly *et al.* 2007; Suaya *et al.* 2007; Salinas *et al.* 2020). Además, no existe otro estudio que hable de los costos del uso de drones para la vigilancia de criaderos de mosquitos en México. No obstante, Stanton y cols (2021) estimaron los costos requeridos para la captura y procesamiento de imágenes de criaderos de mosquitos anofelinos en África; determinando costos de \$78,246 y \$165,531.6 para los drones Phantom 4® Pro y eBeeSQ® que incluyeron hardware and software para cartografía RGB únicamente.

En la presente tesis, se realizó el cálculo de costos de la elaboración de cartografía especializada, como los Modelos de Terreno y Superficie, el ortomosaico RGB y ortomosaicos multiespectrales (los índices de vegetación). El costo total fue de \$ 807,884 para el primer año. Se consideraron no sólo los gastos de software y hardware, sino el gasto corriente correspondiente a sueldos y viáticos del personal, gasolina, consumibles, etc. Se recomienda trabajar con software abiertos/gratuitos para hacer más asequible esta tecnología, lo que podría significar alrededor del 30% de ahorro al costo total de la intervención.

9 CONCLUSIONES

1. El uso de imágenes de alta resolución proporciona una mejor comprensión de los factores que condicionan la presencia de mosquitos en entornos residenciales. Existe una fuerte composición microambiental diferencial de la disponibilidad de sitios de reproducción y sitios de reposo dentro de las viviendas que pueden evaluarse a través de imágenes RGB y multiespectrales.
2. El uso de nuevas variables como los índices de vegetación como el NDVI, NDVIRE y GNDVI, comúnmente utilizados en agricultura para determinar el estado general de los cultivos, tienen el potencial de ser predictores precisos de la circulación de mosquitos adultos de *Aedes aegypti* en ambientes urbanos y junto con otras variables como la cobertura de sombra y la cobertura de vegetación pueden ser utilizados como elementos del paisaje dentro de un análisis más robusto para definir áreas de riesgo para la presencia del vector *Ae. aegypti*.
3. Para el índice de riesgo de casa aérea, se desarrolló una metodología que toma en cuenta los diferentes tipos y naturaleza de las variables involucradas y la distribución geográfica de las viviendas. El modelo predictivo de riesgo desarrollado a través de ortomosaicos realizados por fotografía aérea de alta resolución, puede ayudar a los tomadores de decisiones a planificar las acciones de vigilancia y control de mosquitos.
4. Además, los drones pueden ser útiles en programas de vigilancia y control de mosquitos, como complemento. Por el momento y con la tecnología disponible actualmente, no es recomendable que reemplacen completamente a la vigilancia operativa tradicional. Sin embargo, con base a los resultados obtenidos, se puede utilizar en áreas de difícil acceso, casas cerradas o abandonadas, techos de las viviendas, lotes baldíos, escuelas y edificios públicos para involucrar a las familias, comunidades, autoridades y diferentes actores en la obtención de entornos saludables.

5. El presente es el primer estudio en México sobre el uso de drones en la identificación de criaderos del mosquito *Ae. aegypti* y en la identificación de factores riesgo asociados a su ciclo de vida. Igualmente, ante la escasa evidencia científica sobre el uso de cartografía basada en fotografías realizadas por drones en la identificación de factores que se asocian a la abundancia de mosquitos, este estudio es el primero realizado en el país en la elaboración de cartografía mediante imágenes por drones en el área y en la determinación de costos del uso de drones de manera operativa en el país.

6. En base a los resultados obtenidos, el uso de drones no es más costo-efectivo que la vigilancia operativa tradicional *per se*. Pero confiere muchos otros beneficios por lo que la utilidad de los drones merece ser más explorada, por lo que se deben realizar más estudios de costo-efectividad y costo-beneficio en diferentes escenarios y regiones del país. Además, es necesario realizar estudios comunitarios de aceptación y con evidencia científica, formular políticas públicas para aplicar estas tecnologías dentro de los programas de salud pública en México.

10 VALORES Y PRODUCTOS AGREGADOS

1. Los protocolos de planeación y vuelo utilizados en este estudio pueden ser utilizados en zona rurales, semiurbanas y urbanas para la obtención de fotografía aérea de alta definición, útil en la elaboración de cartografía especializada para el abordaje y análisis del hábitat de *Ae. aegypti* y extrapolarse a otros insectos vectores de enfermedades. Además de utilizarse en otras áreas de la entomología médica y salud pública. Cabe mencionar que la mayoría de los estudios realizados para evaluar el uso de drones son simulaciones, el hecho de llevarlo a la operación, es un aporte más.
2. El uso de algoritmos, modelos matemáticos y minería de datos para una mejor comprensión y análisis de datos entomológicos, epidemiológicos, socioeconómicos y demográficos, siendo las ETVs multifactoriales que se presentan en diferentes escenarios y son dinámicas en respuesta a cambios y fragmentación del hábitat, uso de suelo, impacto ambiental y migración constante.
3. El empoderamiento e incorporación de diferentes instituciones gubernamentales como el CENAPRED en esta vigilancia. Los drones pueden ser utilizados después de desastres naturales y previo a la aparición de brotes de dengue para fortalecer la vigilancia entomológica en zonas de desastre y/o durante una emergencia sanitaria, como parte del equipo de toma de decisiones en salud pública en los Comités Intersectoriales de Emergencias y Desastres. Además, la tecnología de drones se puede aplicar especialmente en viviendas con casos confirmados de COVID-19, donde los trabajadores de la salud limitan sus actividades dentro de estas viviendas.

11 PERSPECTIVAS

La presente tesis representó un gran reto, ya que cuando comenzamos y desarrollamos el estudio, existía escasa información en el tema de tesis, el tema era completamente nuevo y existían muy pocos grupos de investigación en el tema a nivel mundial. Había muchas barreras que derribar y tocar muchas puertas, además de una búsqueda diaria de información multidisciplinaria, por lo que fue y sigue siendo un aprendizaje constante. Otro reto más fue el fortalecer la vinculación con diferentes grupos de trabajo, intra e intersectoriales, en diferentes disciplinas, investigadores y operativos, sin los cuales no hubiese sido posible. Hemos crecido a lo largo de cuatro años como grupo de investigación; cuatro años que no son suficientes, el tema es una agenda ya repleta en el futuro inmediato. Los aportes presentados aquí son la puerta de entrada para muchos otros.

Es necesario señalar que, actualmente, existen nuevas herramientas que deben evaluarse para fortalecer el conocimiento aquí vertido, se abre un camino enriquecedor hacia el uso de nuevas tecnologías como el aprendizaje de máquina, redes neuronales e identificación automática de elementos y/o objetos del paisaje que merecen ser explorados a cabalidad para su incorporación en diferentes áreas de la Entomología Médica. La visión no termina ahí, este mismo conocimiento aplicado a las fotografías de drones y/o la cartografía especializada RGB y/o multispectral obtenida, podrá ser aplicado a otras áreas de la salud pública, zoonosis, salud ambiental y planetaria, una salud, antropología médica entre otras. Está encaminado a fortalecer la promoción y participación comunitaria, ciencia ciudadana y ciudades inteligentes, por mencionar algunas. Es necesario, además, evaluar la aceptación de la comunidad al uso de nuevas tecnologías y el uso de drones en sus comunidades, a través de estudios de ciencia de la implementación, para asegurar su incorporación en comunidad.

Asimismo, la evidencia científica y operativa aquí presentada, servirá de parteaguas para promover políticas públicas para la inclusión de nuevas tecnologías, en los lineamientos operativos y normatividad vigente de los programas de salud

involucrados y protección civil, como un componente esencial de su incorporación a futuro y promoverá los financiamientos necesarios para continuar los estudios futuros.

Finalmente, es importante cerrar con lo siguiente: Todo cambio de paradigma, involucra una revolución de ideas dentro del conocimiento existente hacia el nuevo paradigma en nacimiento. Será necesario romper los paradigmas establecidos en el esquema anterior de vigilancia y control de mosquitos vectores, dentro de todos los niveles, sectores y en el personal operativo/tomador de decisiones involucrado. El nuevo paradigma no comienza con el uso de un dron, si no en el aceptar que un reto que cambia de escenario eventualmente, tornándose más complejo, requiere de la aceptación de que, para renovarse, hay que demostrar que necesita fortalecerse. Con evidencia, promover las políticas públicas para su operación y toda la normatividad requerida para su correcta operación, asimismo, conocer todos los mecanismos para trabajar en las comunidades.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Abraira V. 2001. El índice Kappa. *Semergen-Medicina de Familia* 27:245-249.
- Agarwal A, Kumar S, Singh DP. 2019. Development of Machine Learning Based Approach for Computing Optimal Vegetation Index with The Use of Sentinel-2 And Drone Data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japon*, pp. 5832-5835.
- Alberstadt R. 2014. Drones under International Law. *Open Journal of Political Science* 04:221–232.
- Alexis K, Papachristos C, Siegart R, Tzes A. 2015. Uniform coverage structural inspection path-planning for micro aerial vehicles. In *IEEE International Symposium on Intelligent Control, ISIC 2015 – Proceedings Vol. 2015-October* (pp. 59-64). Sydney NSW, November 26-28.
- Amarasinghe A, Suduwella C, Elvitigala C, Niroshan L, Amaraweera RJ, Gunawardana K, Keppetiyagama CA. 2017. A Machine Learning Approach for Identifying Mosquito Breeding Sites via Drone Images. In *Proceedings of the 15th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems – SenSys*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 68: 1–2.
- Andrew AM. 2001. *Multiple view geometry in computer vision*, by Richard Hartley and Andrew Zisserman, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, xvi+ 607. *Robotica* pp. 19:233-236.
- Angulo Kladt R. 2021. Use of unmanned aerial vehicles and related methods for the release of sterile male fruit fly adults and related applications. *IAEA news*. ©Fruit Fly News 2021. FFN#42 JULY 2021. 9p.
- Annan E, Guo J, Angulo-Molina A, Yaacob WFW, Aghamohammadi N, Yavaşoglu Sİ, Haque U. 2022. Community acceptability of dengue fever surveillance using unmanned aerial vehicles: A cross-sectional study in Malaysia, Mexico, and Turkey. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 49:102360-102360.

- Antunes N, Schiefenhovel W, d'Errico F, Banks WE, Vanhaeren M. 2020. Quantitative methods demonstrate that environment alone is an insufficient predictor of present-day language distributions in New Guinea. PLoS ONE 15: e0239359.
- Aponte-González J, Eslava-Schmalbach J, Díaz-Rojas JA, Gaitán-Duarte H. 2011. Interpretación de estudios de costo-efectividad en ginecología. Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología, 62: 177-187.
- Aragão FV, Cavicchioli Zola F, Nogueira Marinho LH, de Genaro Chiroli DM, Braghini Junior A, Colmenero JC. 2020. Choice of unmanned aerial vehicles for identification of mosquito breeding sites. Geospatial Health 15:810.
- ArcGIS Desktop. 2020. Herramientas de calculadora ráster [Online]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/raster-calculator.htm> (Accesado en octubre 22 de 2020).
- ArcGIS Pro. 2020. [Online]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/arcpy/image-analyst/gnvti.htm> (Accesado en octubre 22 de 2020).
- Arredondo-García JL, Aguilar-López ECG, Lugo-Gerez AJJ, Osnaya-Romero N, Pérez-Guillé G, Medina-Cortina H. 2020. Panorama epidemiológico de dengue en México 2000-2019. Revista Latinoamericana de Infectología Pediátrica 33: 78-83.
- Arredondo-Jiménez JI, Valdez-Delgado KM. 2006. *Aedes aegypti* pupal/demographic surveys in southern Mexico: consistency and practicality. Annals of Tropical Medical and Parasitology 100:17-32.
- Ashmore P, Lindahl JF, Colón-González FJ, Sinh Nam V, Quang Tan D, Medley GF. 2020. Spatiotemporal and Socioeconomic Risk Factors for Dengue at the Province Level in Vietnam, Clustering Analysis and Regression Model. Tropical Medicine and Infectious Disease 5:81.
- Aycaguer S, L.C. 1993. Muestreo para la Investigación en Ciencias de la Salud. Ediciones Díaz de Santos S. A. Madrid, España. pp. 159.
- Baak-Baak CM, Cigarroa-Toledo N, Pinto-Castillo JF, Cetina-Trejo RC, Torres-Chable O, Blitvich BJ, García-Rejon, JE. 2022. Clúster Analysis of Dengue Morbidity and

- Mortality in México from 2007 to 2020: Implications for the Probable Case Definition. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 106:1515–21
- Bailly S, Machault V, Beneteau S, Palany P, Girod R, Lacaux JP, Quenel P, Flamand C. 2021. Modeling spatiotemporal *Aedes aegypti* risk in French Guiana using meteorological and remote sensing data. medRxiv 2021.08.02.21261373.
- Baly A, Toledo ME, Boelaert M, Reyes A, Vanlerberghe V, Ceballos E, Carbajal M, Maso R, La Rosa M, Denis O, Van Der Stuyft P. 2007. Cost effectiveness of *Aedes aegypti* control programmes: participatory versus vertical. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 101: 578-586.
- Barrera R, Acevedo V, Amador M. 2021. Role of Abandoned and Vacant Houses on *Aedes aegypti* Productivity. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 104:145-150.
- Bartumeus F, Costa GB, Eritja R, Kelly AH, Finda M, Lezaun J, Okumo F, Quinlan MM, Thizy DC, Toé LP, Vaughan M. 2019. Sustainable innovation in vector control requires strong partnerships with communities. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 13: e0007204.
- Beck LR, Rodriguez MH, Dister SW, Rodriguez AD, Rejmankova E, Ulloa A, Meza RA, Roberts DR, Paris JF, Spanner MA. 1994. Remote sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 51:271-280.
- Beck LR, Rodriguez MH, Dister SW, Rodriguez AD, Washino RK, Roberts DR, Spanner MA. 1997. An assessment of a remote sensing-based model for predicting malaria transmission risk in villages of Chiapas, Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 56: 99-106.
- Bendig J, Bolten A, Bareth G. 2012. Introducing a low-cost mini-UAV for thermal- and multispectral-imaging. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 39: 345–349.

- Benedict MQ, Levine RS, Hawley WA, Lounibos LP. 2007. Spread of the tiger: global risk of invasión by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector-Borne Zoonotic Diseases* 7:76-85.
- Berland A, Lange DA. 2017. Google Street View shows promise for virtual street tree surveys. *Urban Forestry & Urban Greening*, pp 11-15.
- Bircher A, Alexis K, Burri M, Oettershagen P, Omari S, Mantel T, Siegwart R. 2015. Structural inspection path planning via iterative viewpoint resampling with application to aerial robotics. In *IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*, Seattle, Washington, USA. May 26-30.
- Bircher A, Kamel MS, Alexis K, Burri, M, Oettershagen, P, Omari S, Mantel TA, Siegwart R. 2016. Three-dimensional coverage path planning via viewpoint resampling and tour optimization for aerial robots. *Autonomous Robots* 40:1059–1078.
- Birtchnell T, Gibson C. 2015. Less talk more drone: social research with UAVs. *Journal of Geography in Higher Education*, 39:182–189.
- Bisanzio D, Dzul-Manzanilla F, Gómez-Dantes H, Pavia-Ruz N, Hladish TJ, Lenhart A, Palacio-Vargas J, González Roldan JF, Correa-Morales F, Sánchez-Tejeda G, Kuri Morales P, Manrique-Saide P, Longini IM, Halloran ME, Vázquez-Prokopec GM. 2018. Spatio-temporal coherence of dengue, chikungunya and Zika outbreaks in Merida, Mexico. *Plos Neglected Tropical Diseases*. 12: e0006298.
- Blalock HM. 1975. *Quantitative Sociology, International Perspectives on Mathematical and Statistical Modeling*. Academic Press: New York, pp. 307–357.
- Borg I, Groenen P. 2005. *Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications*. Springer Series in Statistics. New York, pp. 614.
- Bouyer J, Culbert NJ, Dicko AH, Pacheco MG, Virginio J, Pedrosa MC, Garziera L, Pinto ATM, Klapotocz A, Germann J, Wallner T, Salvador-Herranz G, Herrero RA, Yamada H, Balestrino F, Vreysen MJB. 2020. Field performance of sterile male mosquitoes released from an uncrewed aerial vehicle. *Sci Robot*. 15;5

- Bowman LR, Runge-Ranzinger S, McCall PJ. 2014. Assessing the Relationship between Vector Indices and Dengue Transmission: A Systematic Review of the Evidence. *Plos Neglected Tropical Diseases* 8: e2848.
- Byrne I, Chan K, Manrique E, Lines J, Wolie R Z, Trujillano F, Jimenez-Garay G, Nuñez Del Prado-Cortez M, Alatrística-Salas H, Sternberg E, Cook J, N'Guessan R, Koffi A, Ahoua-Alou LP, Nombre A, Messenger LA, Kristan M, Carrasco-Escobar G, Fornace K. 2021. Technical Workflow Development for Integrating Drone Surveys and Entomological Sampling to Characterise Aquatic Larval Habitats of *Anopheles funestus* in Agricultural Landscapes in Côte d'Ivoire. *Journal of Environmental and Public Health* 2021:14.
- Cabreira TM, Brisolará LB, Paulo RFJ. 2019. Survey on coverage path planning with unmanned aerial vehicles. *Drones* 3: 4.
- Campbell LP, Luther C, Moo-Llanes DA, Ramsey JM, Danis-Lozano R, Peterson AT. 2015. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 370: 20140135.
- Carrasco-Escobar G, Manrique E, Ruiz-Cabrejos J, Saavedra M, Alava F, Bickersmith S, Prussing C, Vinetz JM, Conn JE, Moreno M, Gamboa D. 2019. High-accuracy detection of malaria vector larva habitats using drone-based multispectral imagery. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 13: e0007105.
- Carrillo MA, Kroeger A, Cárdenas Sánchez R, Díaz-Monsalve S, Runge-Ranzinger S. 2021. The use of mobile phones for the prevention and control of arboviral diseases: a scoping review. *BMC Public Health* 21:110.
- Case E, Shragai T, Harrington L, Ren Y, Morreale S, Erickson D. 2020. Evaluation of Unmanned Aerial Vehicles and Neural Networks for Integrated Mosquito Management of *Aedes albopictus* (*Diptera: Culicidae*). *Journal of Medical Entomology* 57:1588–1595.
- Causa R, Luque-Fernández MA, Díaz-López HO, Dor A, Rodríguez F, Solís R, Soriano AP. 2019. Emerging *arbovirolosis* (Dengue, Chikungunya, Zika) in the Southeastern México: influence of social and environmental determinants on knowledge and practices. A mixed method study. *BioRxiv* 36(6): e00110519.

- Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE). 2016. México: Vector-borne diseases [Online]. Disponible en: <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/dengue.html>
- Chadee DD. 2004. Key premises, a guide to *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) surveillance and control. Bulletin of Entomological Research. 94:201–207.
- Cheong WH. 1967. Preferred *Aedes aegypti* larval habitats in urban areas. Bull World Health Organ. 36:586-589.
- Christophers S. 1960. *Aedes aegypti* (L.) the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. Cambridge University Press: London England, p.739.
- Christophers RS. 1960. The Yellow Fever Mosquito-Its Life History. Bionomics and Structure. Nature Publishing Group. 187: 813-814.
- Chuvieco E. 2010. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Barcelona, España. pp. 590.
- Clarke R. 2014. Understanding the drone epidemic. Computer Law and Security Review 30: 230–246.
- Clarke R. 2016. Appropriate regulatory responses to the drone epidemic. Computer Law and Security Review. 32:10.1016.
- Clothier RA, Greer DA, Greer DG, Mehta AM. 2015. Risk Perception and the Public Acceptance of Drones. Risk Analysis, 35:1167–1183.
- CNP -Consejo Nacional de Población. 2020. Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2016-2050 y conciliación demográfica de México, 1950-2015. [Online]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/conciliacion-demografica-de-mexico-1950-2015-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050> (Accesado en Marzo 12 de 2021).
- Colomina, I.; Molina, P. 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 92: 79–97.

- Contreras G. 2010. Fotogrametría aplicada a la Ingeniería. En: Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Carrera J, Levresse G, Lacan P, Aranda J. (eds). Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. México, pp.122-133.
- Coral, E. 2015, Generación Modelos de Elevación Digital a partir de imágenes obtenidas desde vehículos aéreos no tripulados (UAVs). Tesis de Ingeniera de Sistemas. Pontificia Universidad Javeriana Facultad De Ingeniería, Bogotá, D.C.
- Cunha HS, Sclausser BS, Wildemberg PF, Fernandes EAM, dos Santos JA, Lage Mdo, 2021. Water tank and swimming pool detection based on remote sensing and deep learning: Relationship with socioeconomic level and applications in dengue control. PLoS ONE 16: e0258681.
- Custers B. 2016. Flying to New Destinations: The Future of Drones. In The Future of Drone Use: Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Custers B (Ed). TMC Asser Press: The Hague, The Netherlands, pp. 371-386.
- Danis-Lozano R, Rodríguez HM, Hernández-Ávila M. 2002. Gender-related family head schooling and *Aedes aegypti* larval breeding risk in southern México. Salud Pública de México. 44:237-242.
- Dantés HG, Manrique-Saide P, Vázquez-Prokopec G, Correa Morales F, Siqueira Junior JB, Pimenta F, Coehlo G, Bezerra H. 2020. Prevention and control of *Aedes* transmitted infections in the post-pandemic scenario of COVID-19: challenges and opportunities for the region of the Americas. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz 115: e200284.
- Darsie RF, Ward RA, Chang CC, Litwak T. 2016. Identification and geographical distribution of the mosquitoes of North America, North of Mexico. University Press of Florida: Gainesville, FL, 398 p.
- Dávalos-Becerril E, Correa-Morales F, González-Acosta C, Santos-Luna R, Peralta-Rodríguez J, Pérez-Rentería C, Ordoñez-Álvarez J, Huerta H, Carmona-Perez M, Díaz-Quíñonez MD, Mejía-Guevara G, Sánchez-Tejeda P, Kuri-Morales JF, González-Roldán JA, Moreno-García M. 2019. Urban and semi-urban mosquitoes of Mexico City: A risk for endemic mosquito-borne disease transmission. PLoS ONE 14:1–19.

- Davidow MB, Matteson D. 2020. Factor analysis of mixed data for anomaly detection. ArXiv, abs/2005.12129.
- De Azevedo TS, Bourke BP, Piovezan R, Sallum MAM. 2018. The influence of urban heat islands and socioeconomic factors on the spatial distribution of *Aedes aegypti* larval habitats. *Geospatial Health* 13:623.
- De Jesús Crespo R, Rogers RE. 2022. Habitat Segregation Patterns of Container Breeding Mosquitos: The Role of Urban Heat Islands, Vegetation Cover, and Income Disparity in Cemeteries of New Orleans. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19:245.
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2014, para la vigilancia epidemiológica, promoción, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores. 2015. [Online]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5389045&fecha=16/04/2015 (Accesado en abril 18 de 2022).
- Diario Oficial de la Federación. 2019. 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. DOF: 14/11/2019. [Online]. Disponible en http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/8006/sct11_C/sct11_C.html (Accesado en abril 18 de 2022).
- Dias TM, Alves V, Alves H, Pinheiro L, Pontes R, Araujo G, Lima A, Prego T. 2018. Autonomous Detection of Mosquito-Breeding Habitats Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Latin American Robotic Symposium*, pp. 351-356.
- Díaz J. 2015. Estudios de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. Tesis de Máster de tecnologías de la información geográfica, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Diaz-Quijano FA, Waldman EA. 2012. Factors associated with dengue mortality in Latin America and the Caribbean, 1995-2009: An ecological study. *American Journal Tropical Medicine and Hygiene* 86:328-334.

- Dirección General de Aeronáutica Civil. 2017. Circular Obligatoria que establece los requerimientos para operar un Sistema de Aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano. [Online]. Disponible en: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAC-archivo/modulo3/co-av-23-10-r4.pdf> (Accesado en octubre 16 de 2019).
- DJI GO 4 app®. [Online]. Disponible en: <https://www.dji.com/mx/downloads/products/phantom-4> (Accesado en octubre 16 de 2020).
- Dirección Nacional de Epidemiología. 2021. Panorama epidemiológico de dengue. semana epidemiológica 52 de 2021. [Online]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/690879/Pano_dengue_52_2021.pdf (Accesado en abril 5 de 2022).
- Dirección Nacional de Epidemiología. 2022. Panorama epidemiológico de dengue. semana epidemiológica 44 de 2022. [Online]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/776111/Pano_dengue_44_2022.pdf (Accesado en noviembre 15 de 2022).
- DJI 2019. Drone Matrice 600 ®. Manual de usuario. [Online]. Disponible en: <https://www.dji.com/mx/downloads/products/matrice600> (Accesado en octubre 10 de 2019).
- DJI 2019. Zenmuse X5 camera®. Especificaciones. [Online]. Disponible en: <https://www.dji.com/mx/zenmuse-x5/info#specs> (Accesado en octubre 10 de 2019).
- Donnelly MA, Klum S, Snyder RE, Barker CM. 2020. Quantifying sociodemographic heterogeneities in the distribution of *Aedes aegypti* among California households. PLoS Neglected Tropical Diseases 14: e0008408.
- Drummond MF, Sculpher MJ, Torrance GW, O'Brien BJ, Stoddart GL. 2005. Methods for the economic evaluation of health care programme. Third edition. Oxford University Press: Oxford, United Kingdom.

- Eisen L, Lozano-Fuentes S. 2009. Use of mapping and spatial and space-time modeling approaches in operational control of *Aedes aegypti* and dengue. PLoS Neglected Tropical Diseases, 3: e411.
- Elliott KC, Montgomery R, Resnik DB, Goodwin R, Mudumba T, Booth J, Whyte K. 2019. Drone use for environmental research [Perspectives]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 7: 106-111.
- ENVI LiDAR versión 5.1.0. 2013. Windows Exelis. [Online]. Disponible en: <https://www.geospace-solutions.com/envi> (Accesado en diciembre 10 de 2019).
- Eskandari R, Mahdianpari M, Mohammadimanesh F, Salehi B, Brisco B, Homayouni S. 2020. Meta-analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for agro-environmental monitoring using machine learning and statistical models. Remote Sensing 12:10.3390/rs12213511.
- Espinoza Gómez F, Hernández Suárez CM, Coll Cárdenas R. 2001. Factores que modifican los índices larvarios de *Aedes aegypti* en Colima, México. Revista Panamericana de Salud Pública 10: 6-12.
- Estallo EL, Sangermano F, Grech M, Ludueña-Almeida F, Frías-Céspedes M, Ainete M, Almirón W, Livdahl T. 2018. Modelling the distribution of the vector *Aedes aegypti* in a central Argentine city. Medical and Veterinary Entomology 32:451-46
- Estrada-Franco JG, Craig GB. 1995. Biología, relaciones con enfermedades y control de *Aedes albopictus*. In Biología, relaciones con enfermedades y control de *Aedes albopictus*, pp. 51-51.
- Estrada Zúñiga AC, Ñaupari Vásquez J. 2021. Detección e identificación de comunidades vegetales altoandinas, Bofedal y Tolar de Puna Seca mediante ortofotografías RGB y NDVI en drones “Sistemas Aéreos no Tripulados”. Scientia Agropecuaria, 12:291-301.
- Faraji A, Haas-Stapleton E, Sorensen B, Scholl M, Goodman G, Buettner J. 2021. Schon S., Lefkow N., Lewis C., Fritz B., Hoffman C., & Williams, G. Toys or Tools? Utilization of Unmanned Aerial Systems in Mosquito and Vector Control Programs. Journal of Economic Entomology 114:1896-1909.

- Fernández-Salas I, Roberts DR, Rodríguez MH, Marina-Fernández-CF. 1994. Bionomics of larval populations of *Anopheles pseudopunctipennis* in the Tapachula foothills area, southern Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association* 10:477-486.
- Ferraguti M, Martínez-de la Puente J, Roiz D, Ruiz S, Soriguer R, Figuerola J. 2016. Effects of landscape anthropization on mosquito community composition and abundance. *Nature Publishing Group* 6: 29002
- Floreano Dario, J Wood, Robert. 2015. Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature*. 521. 460-6. 10.1038/nature14542.
- Flores-Ruiz E, Miranda-Novales MG, Villasís-Keever M. El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista Alergia México*. 64: 364-370.
- Focks DA, Chadee DD. 1997. Pupal survey: An epidemiologically significant surveillance method for *Aedes aegypti*: an example using from Trinidad. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 56:159-167.
- Focks DA, UNDP/World Bank/WHO. 2004. Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases. A Review of Entomological Sampling Methods and Indicators for Dengue Vectors. Geneva, Switzerland pp. 36.
- Fornace KM, Drakeley C, William T, Espino F, Cox J. 2014. Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology. *Trends in Parasitology* 30:514-519.
- Frake AN, Peter BG, Walker ED, Messina JP. 2020. Leveraging big data for public health: Mapping malaria vector suitability in Malawi with Google Earth Engine. *PLoS ONE* 15: e0235697.
- Galindo C. 2010. Fotogrametría aplicada a la ingeniería, Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. 264 p.
- García O, Rojo-Rodríguez EG, Sánchez A, Saucedo D, Muñoz-Vázquez AJ. 2020. Robust Geometric Navigation of a Quadrotor UAV on SE (3). *Robotica* 38:1019-1040.
- Garjito TA, Hidajat MC, Kinansi RR, Setyaningsih, R, Anggraeni YM, Mujiyanto, Trapsilowati W, Jastal, Ristiyanto, Satoto TBT, Gavotte L, Manguin S, Frutos R.

- Stegomyia. 2020. Indices and Risk of Dengue Transmission: A Lack of Correlation. *Frontiers in Public Health* 8:328.
- Gómez-Dantes H, Farfán-Ale JA, Sarti E. 2014. Epidemiological trends of Dengue Disease in México (2000-2011): A systematic literatura search and analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 8: e3158.
- González-Jorge H, Martínez-Sánchez J, Bueno M, Arias AP. 2017. Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A Review. *Drones*, 1: 2
- Google Earth, 2019. [Online]. Disponible en: <https://www.google.com/intl/es-419/earth/> (Accesado en noviembre 28 de 2021).
- Gower JC. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics. STOR* 27: 857–871.
- Gutiérrez-Martínez MA, Rojo-Rodríguez EG, Cabriales-Ramírez LE, Reyes-Osorio LA, Castillo P. García-Salazar O. 2020. Collision-free path planning based on a genetic algorithm for quadrotor UAVs. In 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). Athens, Greece, June 9-12. pp. 948-957.
- Ha TA, León TM, Lalangui K, Ponce P, Marshall JM, Cevallos V. 2021. Household-level risk factors for *Aedes aegypti* pupal density in Guayaquil, Ecuador. *Parasites and Vectors* 14:1-10.
- Haddawy P, Wettayakorn P, Nonthaleerak B, Su Yin M, Wiratsudakul A, Schöning J, Laosiritaworn Y, Balla K, Euaungkanakul S, Quengdaeng P, Choknitipakin K, Traivijitkhun S, Erawan B, Kraisang T. 2019. Large scale detailed mapping of dengue vector breeding sites using street view images. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 13: e0007555.
- Hardy A, Makame M, Cross D. Majambere S, Msellem M. 2017. Using low-cost drones to map malaria vector habitats. *Parasites and Vectors* 10:29.
- Hardy A, Oakes G, Hassan J, Yussuf Y. 2022. Improved Use of Drone Imagery for Malaria Vector Control through Technology-Assisted Digitizing. *Remote Sensing* 14:317.

- Hardy A, Proctor M, MacCallum C, Shawe J, Abdalla S, Rajab A, Abdalla S, Oakes G, Rosu L, Worrall E. 2022. Conditional trust: Community perceptions of drone use in malaria control in Zanzibar. *Technology in Society* 68:101895.
- Hassanalian M., Abdelkefi A. 2017. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences* 91: 99-131.
- Haas-Stapleton EJ, Barretto MC, Castillo EB, Clausnitzer RJ, Ferdan RL. 2019. Assessing mosquito breeding sites and abundance using an unmanned aircraft. *Journal of the American Mosquito Control Association* 35:228-232.
- He J, DuPlessis L, Barton I. 2022. Heap leach pad mapping with drone-based hyperspectral remote sensing at the Safford Copper Mine, Arizona. *Hydrometallurgy* 211: 105872.
- Helland IS. 1990. Partial least squares regression and statistical models. *Scandinavian Journal of Statistics* 17:97–114.
- Hernández-Ávila JE, Rodríguez MH, Santos-Luna R, Sánchez-Castañeda V, Román-Pérez S, Ríos Salgado VH, Salas-Sarmiento JA. 2013. Nation-Wide, Web-Based, Geographic Information System for the Integrated Surveillance and Control of Dengue Fever in Mexico. *PLoS One* 8:1-9
- Hustedt J, Doum D, Keo V, Ly S, Sam B, Chan V, Boyer B, Liverani M, Alexander N, Bradley J, Prasetyo DB, Rachmat A, Lopes S, Leang R, Hii, J. 2020. Ability of the premise condition index to identify premises with adult and immature *Aedes* mosquitoes in Kampong Cham, Cambodia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 102: 1432-1439.
- Huy NT, Van Giang T, Thuy DHD, Kikuchi M, Hien TT, Zamora J, Hirayama K. 2013. Factors associated with dengue shock syndrome: a system review and meta-analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7: e2412.
- IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Ibáñez-Bernal S, Gómez-Dantés H. 1995. Los vectores del dengue en México: una revisión crítica. *Salud Pública de México*.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2020. Censo de población y vivienda. [Online]. Disponible en: <https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/> (Accesado en abril 7 de 2022).
- Ivosevic B, Yong-Gu H, Ohseok K. 2017. Calculating coniferous tree coverage using unmanned aerial vehicle photogrammetry. *Journal of Ecology & Environment* 41:1-8
- Iwamura T, Guzman-Holst A, Murray K A. 2020. Accelerating invasion potential of disease vector *Aedes aegypti* under climate change. *Nature communications* 11:1-10.
- Jeyabalan V, Nouvet E, Meier P, Donelle L. 2020. Context-specific challenges, opportunities, and ethics of drones for healthcare delivery in the eyes of program managers and field staff: a multi-site qualitative study. *Drones*, 4:44.
- Jiménez-Jiménez SI, Ojeda W, Marcial MJ. 2019. Información de Drones y su análisis en la agricultura de precisión. Quinto Congreso Nacional de Riesgo y Drenaje. Mazatlán, Sinaloa. Septiembre 18-20.
- Jiménez-Lizarraga M, García O, Chapa-García R, Rojo-Rodríguez EG. 2018. Differential Game-based Formation Flight for Quadrotors. *International Journal of Control, Automation and Systems*, Springer 16:1854–1865.
- Jolliffe. 1986. *Principal Component Analysis*. Springer, New York, NY, pp. 375-382.
- Johnson BJ, Manby R, Devine GJ. 2020. Performance of an aerially applied liquid *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* formulation (strain AM65-52) against mosquitoes in mixed saltmarsh-mangrove systems and fine-scale mapping of mangrove canopy cover using affordable drone-based imagery. *Pest management science*, 76:3822–3831.
- Joshi A, Miller C. 2021. Review of machine learning techniques for mosquito control in urban environments. *Ecological Informatics*, 61:101241.
- Juarez JG, Garcia-Luna SM, Medeiros M, Dickinson KL, Borucki MK, Frank M, Badillo-Vargas I, Chaves LF, Hamer GL. 2021. The Eco-Bio-Social Factors That Modulate *Aedes aegypti* Abundance in South Texas Border Communities. *Insects*, 12:183.
- Kardasz P, Doskocz J, Hejduk M, Wiejkut P, Zarzycki H. 2016. Drones and Possibilities of Their Using. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 6: 1-7.

- Kemerer A, Di Bella C, Melchiori R, Benench A, Álvarez R. 2007. Comparación de índices espectrales para la predicción de IAF en campos de maíz. En: Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional (Ed) Martin. ISBN: 978-987-543-126-3, pp.125-129.
- Kok J, Bainbridge S, Olsen M, Rigby P. 2020. Towards Effective Aerial Drone-based Hyperspectral Remote Sensing of Coral Reefs. IEEE Global Oceans 2020, Singapore–US Gulf Coast, pp. 1-6.
- Kolivras KN. 2006. Mosquito hábitat and dengue risk potential in Hawaii: a conceptual framework and GIS application. *The professional geographer* 58:139-154.
- Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne A, Shearer FM, Brady Messina JP, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Wint W, Elyazar IRF, Hwa-Jen T, Hay SI. 2015. The global compendium of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* occurrence. *Scientific data* 2:1-8.
- Küng O, Strecha C, Fua P, Gurdan D, Achtelik M, Doth KM, Stumpf J. 2011. Simplified building models extraction from ultra-light UAV imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38:217-222.
- Kwon YS, Pyo J, Kwon YH, Duan H, Cho KH, Park Y. 2020. Drone-based hyperspectral remote sensing of cyanobacteria using vertical cumulative pigment concentration in a deep reservoir. *Remote Sensing of Environment* 236: 111517.
- Landau KI, Van Leeuwen WJ. 2012. Fine scale spatial urban land cover factors associated with adult mosquito abundance and risk in Tucson, Arizona. *J. Vector Ecol.* 37:407–418.
- Landis JR, Koch GG. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics.* 33:159-174.
- Lee GO, Vasco L, Márquez S, Zúñiga-Moya JC, Van Engen A, Uruchima J, Ponce P, Cevallos W, Trueba G, Trostle J, Berrocal VJ, Morrison AC, Ceballos V, Eisenberg JNS. 2021. A dengue outbreak in a rural community in Northern Coastal Ecuador: An analysis using unmanned aerial vehicle mapping. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 15: e0009679.

- Lippi CA, Stewart-Ibarra AM, Endy TP, Abbott M, Cueva C, Heras F, Polhemus M, Beltrán-Ayala E, Ryan SJ. 2021. Exploring the utility of social-ecological and entomological risk factors for dengue infection as surveillance indicators in the dengue hyper-endemic city of Machala, Ecuador. *PLoS neglected tropical diseases*, 15: e0009257.
- Liu M, Wang X, Zhou A, Fu X, Ma Y, Piao C. 2020. UAV-YOLO: Small Object Detection on Unmanned Aerial Vehicle Perspective. *Sensors*. 20:2238.
- Lorenz C, Castro MC, Trindade PM, Nogueira ML, de Oliveira Lage M, Quintanilha JA, Parra MC, Dibo MR, Favaro EA, Guirado MM, Chiaravalloti-Neto F. 2020. Predicting *aedes aegypti* infestation using landscape and thermal features. *Scientific Reports* 10:1-11.
- Luppicini Rocci, So Arthur. 2016. A technoethical review of commercial drone use in the context of governance, ethics, and privacy. *Technology in Society* 46:109-119.
- Lwande OW, Obanda VO, Lindström A, Ahlm C, Evander M, Naslund J, Bucht G. 2019. Globe-trotting *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Risk factors for arbovirus pandemics. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* 20:71 – 81.
- Manrique-Saide P, Che-Mendoza A, Rizzo N, Arana B, Pilger D, Lenhart A, Kroeger A. 2011. Operational guide for assessing the productivity of *Aedes aegypti* breeding sites. UNICEF/UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases, pp. 1-30
- Manrique-Saide P, Coleman P, McCall PJ, Lenhart A, Vázquez-Prokopec G, Davie CR. 2014. Multi-scale analysis of the associations among egg, larval and pupal surveys and the presence and abundance of adult female *Aedes aegypti* (*Stegomyia aegypti*) in the city of Mérida, México. *Medical and Veterinary Entomology*. 28:264-272.
- Marina CF, Liedo P, Bond JG, R. Osorio A, Valle J, Angulo-Kladt R, Williams, T. 2022. Comparison of ground release and drone-mediated aerial release of *Aedes aegypti* sterile males in southern Mexico: efficacy and challenges. *Insects*, 13:347.

- Markwardt R. 2021. Humans: At risk. In Innovations in the Entomological Surveillance of Vector-borne Diseases. Markwardt R, Sorosjinda-Nunthawarasilp P (eds). Cambridge Scholars Publishing, The United Kingdom, pp 84-93.
- Martin JL, Lippi CA, Stewart-Ibarra AM, Ayala EB, Mordecai EA, Sippy R, Heras FH, Blackburn JK, Ryan SJ. 2021. Household and climate factors influence *Aedes aegypti* presence in the arid city of Huaquillas, Ecuador. PLoS Neglected Tropical Diseases, 15: e0009931.
- Medina JAV, Atehortúa BEA. 2019. Comparación de las técnicas máxima verosimilitud, máquinas de soporte vectorial y bosques aleatorios en clasificación de imágenes satelitales. Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento 23: 13-26.
- Mehra M, Bagri A, Jiang X, Ortiz J. 2016. Image analysis for identifying mosquito breeding grounds. In 13th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking (SECON), pp. 1-6.
- Mejía-Guevara M, Correa-Morales F, Acosta C, Dávalos-Becerril E, Peralta J, Gaona A, Nava M, Huicochea C, Trinidad L, Carmona-Pérez M, Salazar-Bueyes V, Olarte F, Moreno-García M. 2020. *Aedes aegypti*, the dengue fever mosquito in Mexico City. Early invasion and its potential risks. Gaceta Médica de Mexico 156:388–395
- Messina JP, Brady OJ, Golding N, Kraemer MU, Wint GR, Ray SE, Pigott DM, Shearer FM, Johnson K, Earl L, Marczak LB, Shirude S, Weaver ND, Gilbert M, Velayudhan R, Jones P, Jeanisch T, Scott TW, Reiner RC, Hay SI. 2019. The current and future global distribution and population at risk of dengue. Nature microbiology, 4:1508-1515.
- Mica Sense Inc. Red edge®, 2019. [Online] Disponible en: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/115003537673-RedEdge-M-User-Manual-PDF->. (Accesado en octubre 10 de 2019).
- Miller JE, Martínez-Balanzar A, Gazga-Salinas D. 1992. Where *Aedes aegypti* live in Guerrero, using the Maya index to measure breeding risk. En: Dengue: A worldwide problem, a common strategy. Halstead. SB, Gómez-Dantés H. (eds). Ministry of Health, México, and Rockefeller Foundation. México, D.F, pp.311-317.

- Minakshi M, Bharti P, Bhuiyan T, Kariev S, Chellappan S. 2020. A framework based on deep neural networks to extract anatomy of mosquitoes from images. *Scientific Reports*, 10:1-10.
- Moloney JM, Skelly C, Weinstein P, Maguire M, Ritchie S. 1998. Domestic *Aedes aegypti* breeding site surveillance: limitations of remote sensing as a predictive surveillance tool. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 59:261-264.
- Monaghan AJ, Schmidt CA, Hayden MH, Smith KA, Reiskind MH, Cabell R, Ernst KC. 2019. A simple model to predict the potential abundance of *Aedes aegypti* mosquitoes one month in advance. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 100:434
- Moreno LV, Ramos M, Pohl, Huguet F. 2018. Comparative study of multispectral satellite images and RGB images taken from drones for vegetation cover estimation. *IEEE 38th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVIII)*, pp. 1-8.
- Mudele O, Bayer FM, Zanandrez LF, Eiras AE, Gamba P. 2020. Modeling the Temporal Population Distribution of *Ae. aegypti* Mosquito Using Big Earth Observation Data. 8:14182-14194.
- Muñoz F, Sanahuja G, Espinoza ES, Salazar S, Garcia O, Garcia LR. 2017. Testbed for Applications of Heterogeneous Unmanned Vehicles. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, pp.1-14.
- Murtagh F. 1985. A Survey of Algorithms for Contiguity-constrained Clustering and Related Problems. *The Computer Journal* 28:82–88.
- Murtagh F. 2004. Survey A. of Algorithms for Contiguity-constrained Clustering and Related Problems. *The Computer Journal* 28:82–88.
- Näslund J, Ahlm C, Islam K, Evander M, Bucht G, Lwande OW. 2021. Emerging Mosquito-Borne viruses linked to *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: global status and preventive strategies. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 21:731-746.
- Nex F, Remondino F. 2014. UAV for 3D mapping application: A review. *Applied Geomatics* 6: 1–157.

- Organización Panamericana de la Salud. 2019. Evaluación de las estrategias innovadoras para el control de *Aedes aegypti*: Desafíos para su introducción y evaluación del impacto. OPS: Washington, DC, USA, pp. 62.
- Organización Panamericana de la Salud. 2022. Dengue [Online] Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/dengue> (Accesado en abril 5 de 2022).
- Orta-Pineda G, Abella-Medrano CA, Suzán G, Serrano A, Ojeda-Flores R. 2021. Effects of landscape anthropization on sylvatic mosquito assemblages in a rainforest in Chiapas, México. *Acta Tropica* 216: 105849.
- Otto A, Agatz N, Campbell J, Golden B, Pesch E. 2018. Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks* 72: 411– 58.
- Pagés J. 2014. *Multiple Factor Analysis by Example Using R*. Chapman & Hall/CRC The R Series. Taylor & Francis pp. 272.
- Pan American Health Organization. 2020. Control of *Aedes aegypti* in the scenario of simultaneous transmission of COVID-19. Technical and Scientific Products. PAHO: Washington, D.C., U.S.A. pp. 6.
- Panamerican Health Organization. 2021. PLISA plataforma de información en salud para las Américas. [Online]. Disponible en: <https://www3.paho.org/data/index.php/es/temas/indicadores-dengue/dengue-nacional/9-dengue-pais-ano.html> (Accesado en abril 5 de 2022).
- Panamerican Health Organization. 2022. PLISA plataforma de información en salud para las Américas. [Online]. Disponible en: <https://www3.paho.org/data/index.php/es/temas/indicadores-dengue/dengue-nacional/9-dengue-pais-ano.html> (Accesado en noviembre 15 de 2022).
- Pappot M, De Boer RJ. 2015. The Integration of Drones in Today’s Society. *Procedia Engineering* 128: 54–63.
- Parker AT, McGill K, Allan BF. 2020. Container Type Affects Mosquito (Diptera: Culicidae) Oviposition Choice. *Journal of Medical Entomology* 57: 1459–1467.

- Phantom 4 DJI® User Manual. Available [Online]. Disponible en: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4/en/Phantom_4_User_Manual_en_v1.2_20160805.pdf (Accesado en octubre 16 de 2022).
- Phillips M, Mills A, Dye C., and World Health Organization. 1996. Directrices para el análisis del costo-eficacia de la lucha antivectorial (No. WHO/CWS/93.4). Serie de Directrices CEOM 3 OMS: Ginebra, Suiza.
- Passos WL, da Silva EAB, Netto SL, Araujo GM, de Lima AA. 2020. Spatio-temporal Consistency to Detect Potential *Aedes aegypti* Breeding Grounds in Aerial Video Sequences. In IEEE XXXVI Simposio Brasileiro de Telecomunicacoes e Processamento de Sinais. CoRR abs/ 2007.14863. Noviembre 22-25.
- Pataki BA, Garriga J, Eritja R, Palmer JR, Bartumeus F, Csabai I. 2021. Deep learning identification for citizen science surveillance of tiger mosquitoes. Scientific reports, 11: 1-12.
- Pedregosa F, Varoquaux G, Gramfort A, Michel V, Thirion B, Grisel O, Blondel M, Prettenhofer P, Weiss R, Dubourg V, Vanderplas J, Passos A, Cournapeau D, Brucher M, Perrot M, Duchesnay E. 2011. Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research. 12:2825–2830.
- Pérez J. 2001. Apuntes de fotogrametría III. Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida. 242 p.
- Peters DH, Adam T, Alonge O, Agyepong IA, Tran N. 2013. Implementation research: what it is and how to do it. BMJ 347: f6753.
- Piovezan R, de Azevedo TS, Faria E, Veroneze R, Von Zuben CJ, Von Zuben FJ, Mureb Sallum MA. 2022. Assessing the effect of *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) control base on machine learning for predicting the spatiotemporal distribution of eggs in ovitraps. Dialogues in Health 1, 100003.
- Pix4D Capture. 2019. [Online] Disponible en: <https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dcapture> (Accesado en noviembre 5 de 2019).

- Pix4D. 2017. Pix4Dmapper 4.1 User manual. Pix4D SA: Lausanne, Switzerland. [Online] Disponible en: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf> (Accesado en noviembre 22 de 2019).
- Pope KO, Rejmankova E, Savage HM, Arredondo-Jimenez JI, Rodriguez MH, Roberts DR. 1994. Remote sensing of tropical wetlands for malaria control in Chiapas, Mexico. *Ecol Appl* 4:81-90
- Powell JR, Tabachnick WJ. 2013. History of domestication and spread of *Aedes aegypti*-a review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 108, 11-17.
- Prachyabrued M, Haddawy P, Tengputtipong K, Yin MS, Bicout D, Laosiritaworn Y. 2020. Immersive Visualization of Dengue Vector Breeding Sites Extracted from Street View Images. pp. 37-42.
- Ramírez-Rodríguez H, Parra-Vega V, Sánchez-Orta A. García-Salazar O. 2014. Robust Backstepping Control Based on Integral Sliding Modes for Tracking of Quadrotors. *Journal of Intelligent & Robotic System* 73:51–66.
- Rao Bharat, Gopi, Ashwin Goutham, Maione Romana. 2016. The societal impact of commercial drones. *Technology in Society*. 45. 83-90.
- Reinhold JM, Lazzari CR, Lahondère C. 2018. Effects of the environmental temperature on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes: A review. *Insects* 9:158.
- Rejmankova E, Savage HM, Rodriguez MH, Roberts DR, Rejmanek M. 1992. Aquatic vegetation as a basis for classification of *Anopheles albimanus* Weideman (*Diptera: Culicidae*) larval habitats. *Environmental Entomology*, 21:598-603.
- Requena-Méndez A, Aldasoro E, Muñoz J, Moore DAJ. 2015. Robust and Reproducible Quantification of the Extent of Chest Radiographic Abnormalities (And It's Free!). *PLoS ONE*
- Rodríguez AD, Rodríguez MH, Hernández JE, Dister SW, Beck LR, Rejmankova E, Roberts DR. 1996. Landscape surrounding human settlements and *Anopheles albimanus* Wiedemann (*Diptera: Culicidae*) abundance in southern Chiapas, Mexico. *Journal of Medical Entomology* 33: 39-48.

- Rogers DJ, Randolph SE, Snow RW, Hay SI. 2002. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature* 2002; 415:710-715.
- Rojas-Viloria D, Solano-Charris EL, Muñoz-Villamizar A, Montoya-Torres JR. 2020. Unmanned aerial vehicles/drones in vehicle routing problems: a literature review. *International Transaction in Operational Research* 28:1626-1657.
- Rajo-Rodríguez EG, García O, Ollervides EJ, Zambrano-Robledo P, Espinoza-Quesada ES. 2018. Robust Consensus-Based Formation Flight for Multiple Quadrotors. *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 93:213-226.
- Rajo-Rodríguez EG, Ollervides EJ, Zambrano-Robledo P, Rodríguez RJ, García O, Lozano R. 2018. A Kinect-based natural interface for formation flight of quadrotors. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems, Dallas TX*, pp. 1328-1335.
- Rajo-Rodríguez EG, Ollervides EJ, Zambrano-Robledo P, García O. 2019. A fuzzy gain scheduling control algorithm for formation flight of multi-UAVs. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2019), Atlanta GA*, pp.712-720.
- Rosipal R. Krämer N. 2006. Overview and recent advances in partial least squares, C. Saunders, M. Grobelnik, Gunn S, Shawe-Taylor J (eds). Springer: Berlin, pp.34-51
- Rouse JW, Hass RH, Schell JA, Deering DW. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: Freden SC, Mercanti EP, Becker M. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Vol 1. Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, DC*, pp. 309-317.
- Roy-García I, Rivas-Ruiz R, Pérez-Rodríguez Marcela, Palacios-Cruz L. 2019. Correlación: no toda correlación implica causalidad. *Revista Alergia México*. 66:354-360
- Saez D, Beltrán A. 2015. Aplicaciones cartográficas. En: *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Consejería de Economía y Hacienda Comunidad de Madrid, Gráficas Arias Montano: Madrid, pp. 67-74.
- Saleh F, Kitau J, Konradsen F, Kampango A, Abassi R, Schiøler KL. 2020. Epidemic risk of arboviral diseases: Determining the habitats, spatial-temporal distribution, and

- abundance of immature *Aedes aegypti* in the Urban and Rural areas of Zanzibar, Tanzania. PLoS neglected tropical diseases, 14: e0008949.
- Salinas MA, Soto VE, Prada SI. 2020. Análisis de costo-efectividad del uso del programa VECTOS en el control rutinario de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* en dos municipios de Santander, Colombia. Biomédica 40: 270-282.
- Sallam MF, Fizer C, Pilant AN, Whung PY. 2017. Systematic Review: Land Cover, Meteorological, and Socioeconomic Determinants of *Aedes* Mosquito Habitat for Risk Mapping. International Journal of Environmental Research and Public Health 14:1-15.
- Sandbrook C. 2015. The social implications of using drones for biodiversity conservation. Ambio 44, 636–647.
- Sanjerehei MM. 2014. Assessment of spectral vegetation indices for estimating vegetation cover in arid and semiarid shrublands. Range Management & Agroforestry. 35:91-100.
- Sarira TV, Clarke K, Weinstein P, Koh LP, Lewis M. 2020. Rapid identification of shallow inundation for mosquito disease mitigation using drone-derived multispectral imagery. Geospatial Health 15:101-108.
- Savage HM, Rejmankova E, Arredondo-Jimenez JI, Roberts DR, Rodriguez MH. 1990. Limnological and Botanical characterization of larval habitats for two primary malarial vectors, *Anopheles albimanus* and *An. pseudopunctipennis*, in coastal areas of Chiapas State, Mexico. Journal of American Mosquito Control Association. 6: 612-620.
- Scott TW, Morrison AC. 2010. Vector dynamics and transmission of dengue virus: implications for dengue surveillance and prevention strategies. Dengue virus 115-128.
- Serrano Sanz F, Holocher-Ertl T, Kieslinger B, Sanz García F, Silva CG. 2014. White Paper on Citizen Science in Europe. European Commission, pp.35.
- Shawe-Taylor J, Cristianini N. 2004. Kernel methods for pattern analysis. Cambridge University Press: Cambridge, UK, pp. 25-84.
- Shepard DS, Undurraga EA, Halasa YA, Stanaway JD. 2016. The global economic burden of dengue: a systematic analysis. The Lancet Infectious Diseases, 16:935-941.

- Silva-Aycaguer LC. 1993. Muestreo para la Investigación en Ciencias de la Salud. Ediciones Díaz de Santos S. A.: Madrid, España, pp.159.
- Silver J. 2008. Mosquito Ecology: Field Sampling Methods. 3rd Edition. SpringerLink: Springer E-Books. Springer: N.Y., U.S.A, pp. 25-492
- Sorosjinda-Nunthawarasilp P, Markwardt R. 2021. Dengue vector surveillance. In Innovations in the Entomological Surveillance of Vector-borne Diseases. R. Markwardt, Sorosjinda-Nunthawarasilp P (eds). Cambridge Scholars Publishing, The United, Kingdom, pp. 60-81.
- Stanton MC, Kalonde P, Zembere K. Spaans RH, Jones CM. 2021. The application of drones for mosquito larval habitat identification in rural environments: A practical approach for malaria control? *Malaria Journal* 20:244.
- Strecha C, Bronstein A, Bronstein M, Fua P. 2011. LDAHash: Improved matching with smaller descriptors. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence* 34:66-78.
- Strecha C, Küng O, Fua P. 2012. Automatic mapping from ultra-light UAV imagery (No. CONF).
- Strecha C, Van Gool L, Fua P. 2008. A generative model for true orthorectification. In ISPRS Congress Beijing (No. CONF).
- Strecha C, Von Hansen W, Van Gool L, Fua, P, Thoennessen U. 2008. On benchmarking camera calibration and multi-view stereo for high resolution imagery. *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. pp. 1-8.
- Suaya JA, Shepard DS, Chang MS, Caram M, Hoyer S, Socheat D, Chantha N, Nathan MB. 2007. Cost-effectiveness of annual targeted larviciding campaigns in Cambodia against the dengue vector *Aedes aegypti*. *Tropical Medicine and International Health* 12: 1026-1036.
- Su Yin M, Bicout DJ, Haddawy P, Schoëning J, Laosiritaworn Y, Sa-angchai P. 2021. Added-value of mosquito vector breeding sites from street view images in the risk mapping of dengue incidence in Thailand. *PLoS Negl Trop Dis* 15: e0009122.

- Suduwella C, Amarasinghe A, Niroshan L, Elvitigala C, De Zoysa K, Keppetiyagama C. 2017. Identifying Mosquito Breeding Sites via Drone Images. In Proceedings of the 3rd Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications-DroNet'17. Association for Computing Machinery. New York, NY, USA, June 23. pp. 27–30.
- Talbot B, Sander B, Cevallos V, González C, Benítez D, Carissimo C, Carrasquilla Ferro MC, Gauto N, Litwiński S, López K, Ortíz MI, Ponce P, Villota SD, Zelaya F, Espinel M, Wu J, Miretti M, Kulkarni MA. 2021. Determinants of *Aedes* mosquito density as an indicator of arbovirus transmission risk in three sites affected by co-circulation of globally spreading arboviruses in Colombia, Ecuador, and Argentina. *Parasites & vectors* 14:1-14.
- Tapia-Conyer R, Méndez-Galván J, Burciaga-Zúñiga P. 2012. Community participation in the prevention and control of dengue: the patio limpio strategy in Mexico. *Paediatrics and International Child Health*. 32 Suppl 1: 10-3.
- Team GIMP. GIMP: GNU Image Manipulation Program. GIMP Team. 2019. [Online] Disponible en: <https://www.gimp.org/es/> (Accesado en octubre 1 de 2020).
- Thibbotuwawa A, Bocewicz G, Nielsen P, Banaszak Z. 2020. Unmanned Aerial Vehicle Routing Problems: A Literature Review. *Applied Sciences* 10: 4504.
- Tsuda Y, Suwonkerd W, Chawprom S, Prajakwong S, Takagi M. 2006. Different Spatial Distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* along An Urban–Rural Gradient and The Relating Environmental Factors Examined In Three Villages In Northern Thailand. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22:222-228
- Tun-Lin W, Kay BH, Barnes A. 1995. The Premise Condition Index: a tool for streamlining surveys of *Aedes aegypti*. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 53:591-594.
- Tun-Lin W, Kay BH, Barnes A. 1995. Understanding productivity, a key to *Aedes aegypti* surveillance. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 53:595-601.
- Tun-Lin W, Kay BH, Barnes A, Forsyth S. 1996. Critical examination of *Aedes aegypti* indices: Correlations with abundance. *The American Journal of Tropical Medicine and*

- Hygiene 54:543-547.
- Tun-Lin W, Lenhart A, Nam VS, Rebollar-Tellez E, Morrison AC, Barbazan P, Cote M, Midega J, Sánchez F, Manrique-Saide P, Kroeger A, Nathan MB, Meheus F, Petzold M. 2009. Reducing costs and operational constraints of dengue vector control by targeting productive breeding places: A multi-country non-inferiority cluster randomized trial. *Tropical Medicine & International Health* 14:1143–1153.
- Valencia-Ortiz M, Sangjan W, Selvaraj MGG, McGee RJ, Sankaran S. 2021. Effect of the Solar Zenith Angles at Different Latitudes on Estimated Crop Vegetation Indices. *Drones* 2021 5:80.
- Van den Boom NAC, Van Den Hurk AA, Kalmet PHS, Poeze M, Evers SMAA. 2022. Economic evaluations in fracture research an introduction with examples of foot fractures. *Injury* 53:895-903.
- Vásquez-Trujillo A, Cardona-Arango D, Segura-Cardona AM, Portela-Câmara DC, Alves-Honório N, Parra-Henao G. 2021. House-level risk factors for *Aedes aegypti* infestation in the urban center of Castilla La Nueva, Metastate, Colombia. *Journal of Tropical Medicine*. 12 pages.
- Vattapparamban E, Güvenç I, Yurekli AI, Akkaya K, Uluğağaç S. 2016. Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety. In 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2016 (pp. 216–221). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Paphos, Cyprus, september 05-09.
- Veloza F, Cavicchioli Z, Nogueira LH, de Genaro D, Braghini A, Colmenero J. 2019. Choice of unmanned aerial vehicles for identification of mosquito breeding sites. *Geospatial Health* 15: 810.
- Vezzani D, Albicócco AP. 2009. The effect of shade on the container index and pupal productivity of the mosquitoes *Aedes aegypti* and *Culex pipiens* breeding in artificial containers. *Medical and Veterinary Entomology*, 23:78-84.
- Vohland K, Land-Zandstra A, Ceccaroni L, Lemmens R, Perelló J, Ponti M, Samson R, Wagenknecht K. 2021. *The science of citizen science*. Springer Nature: Switzerland,

pp. 13-33.

- Wagstaff K, Cardie C, Rogers S, Schröedl S. 2001. Constrained k-means clustering with background knowledge. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco, CA, USA, pp. 577-584.
- Wegelin JA. 2000. A survey of partial least squares (pls) methods, with emphasis on the two-block case. Technical report, Department of Statistics, University of Washington, Seattle.
- Williams GM, Wang Y, Suman DS, Unlu I, Gaugler R. 2020. The development of autonomous unmanned aircraft systems for mosquito control. PLoS One, 15: e0235548.
- Wilke ABB, Chase C, Vasquez C, Carvajal A, Medina J, Petrie WD, Beier JC. 2019. Urbanization creates diverse aquatic habitats for immature mosquitoes in urban areas. Scientific Reports 9:15335.
- Wilke ABB, Vasquez C, Carvajal A, Moreno M, Fuller DO, Cardenas G, Petrie WD, Beier JC. 2021. Urbanization favors the proliferation of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* in urban areas of Miami-dade County, Florida. Scientific Reports 11:1-12.
- Wilson RL. 2014. Ethical issues with use of Drone aircraft. IEEE International Symposium on Ethics in Science, Technology and Engineering, ETHICS 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Chicago, IL, USA, May 23-24, pp. 1-4.
- Wong GK, Jim CY. 2016. Do vegetated rooftops attract more mosquitoes? Monitoring disease vector abundance on urban green roofs. Science of the Total Environment 573: 222-232.
- Wong GK, Jim CY. 2017. Urban-microclimate effect on vector mosquito abundance of tropical green roofs. Building and Environment 112: 63-76.
- Wong GK, Jim CY. 2018. Abundance of urban male mosquitoes by green infrastructure types: Implications for landscape design and vector management. Landscape ecology 33: 475-489.

- Wold H. 1975. Path models with latent variables: The nipals approach. In Quantitative Sociology, International Perspectives on Mathematical and Statistical Modeling, Blalock H, Aganbegian A, Borodkin F, Boudon R, Capecchi V (eds). Academic Press, pp 307–357.
- World Health Organization. 1995. Consultation on "Key Issues in Dengue Vector Control Toward the Operationalization of a Global Strategy". WHO: Geneva, Switzerland. CTD/FIL(DEN)/IC/95.WP.3.4.1.
- World Health Organization. 1999. Strengthening implementation of the Global Strategy for Dengue fever/Dengue Haemorrhagic Fever prevention and control. Report of the Informal Consultation 18-20 October 1999. Document WHO/CDS/(DEN)/ IC/2000.1; WHO: Geneva, Switzerland, pp. 10.
- World Health Organization. 2003. Making Choices in Health: WHO Guide to Cost-Effectiveness Analysis. WHO: Geneva, Switzerland. 318 p.
- World Health Organization. 2012. Global strategy for dengue prevention and control 2012-2020. WHO: Geneva, Switzerland, pp.14.
- World Health Organization. 2022. Dengue and severe dengue, 2022. [Online] Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>. (Accesado en abril 5, 2022).
- Yang G, Liu J, Zhao C, Li Z, Huang Y, Yu H, Xu B, Yang X, Zhu D, Zhang X, Zhang R, Feng H, Zhao X, Li Z, Li H, Yang H. 2017. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 8:1111.
- Yanmaz E, Yahyanejad S, Rinner B, Hellwagner H, & Bettstetter C. 2018. Drone networks: Communications, Coordination, and Sensing. *Ad Hoc Networks* 68: 1–15.
- Youssefi F, Zoj MJV, Hanafi-Bojd AA, Dariane AB, Khaki M, Safdarinezhad A, Ghaderpour E. 2022. Temporal Monitoring and Predicting of the Abundance of Malaria Vectors Using Time Series Analysis of Remote Sensing Data through Google Earth Engine. *Sensors* 22:1942.

13 ANEXOS 1. FORMATOS DE CAMPO.

13.1 Consentimiento informado.

Título del proyecto: “Uso de drones para la asociación de factores de riesgo con la abundancia de mosquitos *Aedes aegypti* (Linnaeus) Diptera: Culicidae, en áreas de transmisión de dengue de la ciudad de Tapachula, Chiapas”.

Yo _____ declaro que tengo 18 años o más. Vivo en una colonia de la ciudad de Tapachula Chiapas, seleccionada para la evaluación de una metodología basada en el uso de drones de última generación y la obtención de fotografía aérea de alta resolución para determinar los factores que se relacionan con la presencia, abundancia y distribución de los mosquitos *Aedes aegypti* en entornos urbanos. Se me ha pedido que participe en el proyecto de investigación que lleva a cabo el CRISP, a lo cual acepto.

El propósito de esta investigación es conducir una encuesta en la cual se inspeccionará mi casa para determinar algunas características de mi vivienda y se realizará una búsqueda de larvas, pupas y adultos de *Aedes spp.* Asimismo, se realizará fotografías de mi vivienda a diferentes alturas mediante el uso de un drone.

Yo acepto que mi casa sea encuestada y que las fotografías realizadas sean utilizadas para fines de investigación. Mis datos personales se mantendrán en la confidencialidad. El beneficio que recibiré es información acerca de la calidad de mi vivienda, determinar si existe el riesgo de tener presencia de larvas/adultos de mosquitos *Aedes spp.* y que se me informe que acciones puedo realizar para minimizar este riesgo. En caso de tener un episodio de fiebre y/o diarrea severa, seré canalizado al puesto de salud más cercano.

Entiendo que tengo la libertad de hacer preguntas y negarme a participar en el estudio sin sanción alguna y que esta decisión se mantendrá en la confidencialidad.

Investigador principal: Kenia Mayela Valdez Delgado
Tel oficina (962)6262219

Firma del Residente: _____

Fecha _____

Firma de Testigo: _____

Fecha _____

Firma del Investigador _____

Fecha _____

Folio:

13.2 Encuesta demográfica y condiciones de vivienda.

Municipio: _____ Localidad: _____ Sección: _____

Muestreo: _____ #Manzana: _____ # Casa: _____ Coordenadas: _____

IDENTIFICACIÓN

Nombre del entrevistado: _____

Fecha de la entrevista: _____ Hora de la entrevista: _____

Día Mes Año

Tipo de la entrevista Completa. 2. Incompleta. 3. Declino a no participar.

SECCIÓN I. INFORMACIÓN GENERAL

Apellido de la Familia: _____

Dirección: _____

TRATADA CON: Larvicida: _____ Adulcicida: _____ Control Natural _____

¿Qué tipo (s)? _____

No	Posición familiar	Sexo	Edad		Alfabetización		Escolaridad
		1) M; 2) F	Años	Meses	1) Si Leer	2) No Escribir	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tipo de muestreo: 1. Bloques al azar, 2. Transectos. Posición familiar: Casas 1. Jefe; 2. Esposo / esposa; 3. Hijos, 4. Padre / madre, 5. Hermano, 6. Adoptado, 7. Amigo, 8. Empleado, 9. Otro.

SECCIÓN II. TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CASA

Material	Aspecto		
	Techo	Paredes	Piso
Tierra			
Adobe			
Palma			
Bamboo			
Lámina de cartón			
Lamina			
Block			
Ladrillo			
Cemento			
Azulejo			
Loza			
APARIENCIA			
Buena			
Regular			
Mala			

¿La casa es rentada? 1. Si. _____ 2. No. _____

Cuartos: Total _____ No. ¿Ventanas? _____

Electricidad 1. Si. _____ 2. No. _____

Fuente de agua: 1. Lluvia____ 2. Rio ____ 3. Pozo____ 4. Botella____ 5. Potable____ 6. Otros _____

¿Carro cisterna de agua? 1. Si _____ 2. No. _____

¿Todo el tiempo? 1. Si. ____ 2. No. _____

¿Animales? Tipos _____ Cantidad _____

Tipos: 1. Perro 2. Gato 3. Aves ornamentales 5. Cerdos 6. Caballos 7. Vacas 8. Otros

¿Disposición de desechos? 1. Drenaje____ 2. A flor de tierra____ 3. Letrina_____

Utiliza insecticida: _____ Qué tipo? _____ Cada cuanto lo aplica _____

¿Su casa ha sido visitada por el Sector Salud?

Nombre y firma del encuestador _____

Folio:

13.3 Encuesta para determinar el Índice de Calidad de la Vivienda (ICV).

Municipio: _____ Localidad: _____ Sección: _____ Muestreo: _____

Manzana: _____ Casa: _____ Coordenadas: _____ Fecha: _____

Riesgo de presencia de <i>Ae. aegypti</i>			
Indicador	Característica	Riesgo	Puntuación
1. Apariencia de la casa 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 mosquitero	Bajo	1
	Abierta en el día o sin malla de mosquitero	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
Apariencia Global de la casa	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 (Pasto, Basura)	Medio	2
	Sucio y con recipientes con agua	Alto	3
CRITERIO DE PUNTUACIÓN			
Índice de calidad de la vivienda para <i>Aedes aegypti</i> , ICC		Bajo	3
		Medio	4-6
		Alto	7-9

Nombre y firma del encuestador: _____

13.4 Encuesta entomológica para adultos de *Ae. aegypti*

Folio:

Municipio: _____ Localidad: _____ Sección: _____ Muestreo: _____
 Fecha: _____ Nombre y firma del encuestador: _____

Clave	Manzana	Casa	Número	Sitio de colecta	Superficie de Colecta	Especie*	1	2	3	4	5	6
						<i>Ae. aegypti</i>						
						<i>Ae. albopictus</i>						
						<i>Anopheles albimanus</i>						
						<i>Culex spp.</i>						
						Otra						
						<i>Ae. aegypti</i>						
						<i>Ae. albopictus</i>						
						<i>Anopheles albimanus</i>						
						<i>Culex spp.</i>						
						Otra						
						<i>Ae. aegypti</i>						
						<i>Ae. albopictus</i>						
						<i>Anopheles albimanus</i>						
						<i>Culex spp.</i>						
						Otra						
						<i>Ae. aegypti</i>						
						<i>Ae. albopictus</i>						
						<i>Anopheles albimanus</i>						
						<i>Culex spp.</i>						
						Otra						

Clave:

Sitio de colecta: 1. Sala, 2. Recámara, 3. Comedor, 4. Cocina, 5. Baño, 6. Patio delantero, 7. Patio trasero 8. Otro (especifique).

Superficie de colecta: 1. Pared, 2. Techo, 3. piso, 4. Bajo cama, 5. clóset, 6. Silla, 7. Ropa, 8. Mueble (especifique) 9. Zapatera, 10. Pabellón, 11. Vegetación

(especifique), 12. Otro (especifique). Sexo y estado fisiológico: 1. Macho, 2. Hembra sin sangre, 3. Hembra con sangre roja, 4. Hembra con sangre negra, 5. Hembra con sangre roja y negra, 6. Hembra grávida. * Para esta tesis sólo se reportó *Aedes aegypti*.



“Dicen que antes de entrar al mar, el río tiembla de miedo. Mira hacia atrás todo el camino recorrido, las cumbres, las montañas, el largo y sinuoso camino abierto a través de selvas y poblados y ve frente de sí un océano tan grande, que entrar en él solo puede significar desaparecer para siempre. Pero no hay manera, el río no puede volver. Nadie puede volver, volver atrás es imposible en la existencia. El río necesita aceptar su naturaleza y entrar en el océano. Solamente entrando al océano se diluirá el miedo, porque sólo entonces, el río sabrá que no se trata de desaparecer en el océano, sino en convertirse en océano”.

Khalil Gibran.

TRABAJA DURO Y SUEÑA EN GRANDE. InshAllah.