



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA**

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES
SOBRE LA PRESENCIA Y DIVERSIDAD DE MOSQUITOS
(DIPTERA: CULICIDAE) EN EL CENTRO DE ENSEÑANZA,
INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN EN GANADERIA TROPICAL
CEIEGT, FMVZ-UNAM.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MEDICA VETERINARIA Y ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

MITZI CITLALLI LÓPEZ TREJO

ASESORES

MVZ. DR. RAFAEL OJEDA FLORES
BIÓLOGO.DR. DAVID ROIZ PEREDA
MVZ. DRA. ELKE VON SON DE FERNEX

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

2021





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A Clim, Ana y Javel.

¡Nunca más una ciencia sin mujeres!

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional, a mis hermanas Isabel, Naxh y hermano Fer por los consejos, regaños y aliento, por ser mis motores de vida, así como madre y padre por la confianza, amor, la lucha y resistencia, que siempre me han inculcado desde pequeña.

Al Dr. Herrera por la confianza y creer en mis decisiones, por ser mi primer maestro en el conocimiento clínico, a su linda familia por darme aliento cuando dudaba del futuro incierto y al Dr. Ale por los jalones de oreja y la confianza

A mis amigos por creer en mí, por apoyarme en el proceso académico, por el aliento y cariño: Majo, por ser mi primera amiga de la facultad, por enseñarme muchas cosas que no conocía, sin ti estaría perdida y gracias por seguir creyendo. Any, Fer y Xi por ser mis incondicionales a lo largo de mi vida, por siempre estar. A Luigui, Caru, Cynthia, Cinthia G., César e Iván por guiarme, ayudarme y apoyarme en diferentes etapas académicas. Y a María, Iván M, Dani, Aza y a todos las y los camaradas de lucha que con ustedes el rugir de ¡Libre, Científica y Agraria! no sería lo mismo.

A mis personas favoritas, que les tengo eterno agradecimiento por tanto aprendizaje desde el 2018, por toda la paciencia que me tienen, de verdad toda la paciencia ¡Que aguante!, por hacerme amena la pandemia, por convertirse en mis amies y por ser los incondicionales en las buenas y en las malas, nunca les voy a fallar: Lau, Ceci y Adrián.

A Lili, Memo y Brenda por todo el aprendizaje académico, el gran apoyo, la enseñanza, paciencia y amistad, les quiero montones.

A mis asesores, que con su ayuda no habría sido posible concluir este trabajo: a la Dra. Elke von Son por el apoyo en campo, durante la primera parte del desarrollo del proyecto. Al Dr. David Roiz por la enseñanza en el análisis exploratorio de datos y análisis estadístico. Al Dr. Rafael Ojeda por la enseñanza, redacción y apoyo en el desarrollo del proyecto como asesor principal.

Al Dr. Óscar Rico por la confianza, por la paciencia en el análisis de datos y los consejos.

A la universidad por todo lo aprendido, al equipo mosquito y al Laboratorio de Ecología de Enfermedades y Una Salud, y a cada uno de sus integrantes por el apoyo y las enseñanzas en todos los ámbitos posibles.

Este trabajo fue financiado por el proyecto CONACyT PN 2015-01-219 “Determinación molecular de asociaciones virus-mosquito involucradas en la transmisión de enfermedades emergentes” bajo la dirección del Dr. Rafael Ojeda Flores

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
FIGURAS	VI
CUADROS	VII
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES	4
JUSTIFICACIÓN	8
HIPÓTESIS.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS PARTICULARES.....	9
MATERIAL Y MÉTODO	10
RESULTADOS	20
DISCUSIÓN:	37
CONCLUSIONES	41
PERSPECIVAS:.....	42
ANEXOS:	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio, CEIEGT, Tlapacoyan, Veracruz, México.

Figura 2. Sitios de estudio del CEIEGT

Figura 3. Sitio *Acahual*

Figura 4. Sitio *Cratyliá*

Figura 5. Sitio *Río*

Figura 6. Sitio *Humano*

Figura 7. Termohigrómetro UNI-T®

Figura 8. Composición de las comunidades de mosquitos (Diptera: Culicidae) por cada sitio de muestreo.

Figura 9. Curvas Rango-Abundancia del ensamble de mosquitos presentes en los sitios de estudio.

Figura 10. Correlación de Riqueza, Abundancia relativa y Diversidad verdadera con Temperatura y Humedad relativa.

Figura 11. Comparación de la Temperatura local total, en los doce días de muestreo de los cuatro sitios de estudio del CEIEGT

Figura 12. Comparación de la Humedad relativa local, en los doce días de muestreo de los cuatro sitios de estudio del CEIEGT.

Figura 13. Comparación múltiple de Abundancia relativa del ensamble de mosquitos, en los sitios de estudio del CEIEGT.

Figura 14. Comparación múltiple de Riqueza total del ensamble de mosquitos, en los sitios de estudio del CEIEGT.

Figura 15. Comparación múltiple de Diversidad del ensamble de mosquitos en los sitios de estudio del CEIEGT.

Figura 16. Correlación de Abundancia y Temperatura

Figura 17. Correlación de Abundancia y Humedad.

Figura 18. Correlación de Riqueza y Temperatura

Figura 19. Correlación de Riqueza y Humedad

Figura 20. Correlación de Diversidad y Temperatura

Figura 21. Correlación de Diversidad y Humedad

CUADROS

Cuadro 1. Total de individuos de mosquitos identificados en cada sitio.

Cuadro 2. Diversidad verdadera (DV) de mosquitos por sitio de muestreo, Riqueza total y Abundancia relativa.

RESUMEN

LÓPEZ TREJO MITZI CITLALLI. Estudio de la influencia de factores ambientales sobre la presencia y diversidad de mosquitos (Diptera: Culicidae) en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical CEIEGT, FMVZ-UNAM. (bajo la dirección de Dr. Rafael Ojeda Flores, Dr. David Roiz Pereda y Dra. Elke von Son de Fernex).

El aumento de la población y el modelo de desarrollo de la civilización humana junto a la alteración de múltiples factores ambientales ha impulsado cambios sociales, demográficos y climáticos, cuyos efectos desencadenan movimientos poblacionales y favorecen la transmisión de enfermedades infecciosas. Los cambios en la distribución y abundancia de vectores provocan el surgimiento de brotes de enfermedades en nuevas regiones convirtiéndose en un tema prioritario en materia de salud. Las alteraciones ligadas a las cambiantes variaciones climáticas, como temperatura, precipitación y humedad relativa son determinantes clave sobre el ensamble de mosquitos, la configuración y comportamiento de estos vectores y la circulación de patógenos asociados. En este trabajo se estudió la relación entre la variación de factores ambientales y la abundancia, riqueza y diversidad de ensambles de mosquitos capturados utilizando ocho trampas tipo CDC en cuatro sitios elegidos por muestreo dirigido, con la predominancia de áreas húmedas o cuerpos de agua permanentes, durante picos de actividad de nueve horas en la temporada de lluvias; dentro del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la FMVZ-UNAM localizado en el municipio de H. Tlapacoyan, Veracruz, México. Se capturó un total de 495 mosquitos (Diptera: Culicidae), pertenecientes a 10 géneros y 29 especies. El sitio con mayor riqueza (20 especies) y abundancia (193 mosquitos) fue el sitio natural “*Río*” que presentó una humedad y temperatura óptimas para su desarrollo, mientras que el sitio más antropizado “*Humano*” caracterizado por una vegetación introducida con actividades agropecuarias, presentó una menor riqueza (13 especies). Se correlacionó la influencia de estos factores ambientales sobre métricas ecológicas en las comunidades de mosquitos. Los resultados muestran que el ensamble de mosquitos es homogéneo (con riqueza muy similar) en los sitios de muestreo, lo que sugiere un alto grado de conectividad espacial.

INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XX, las enfermedades infecciosas eran la principal causa de mortalidad en todo el mundo, el origen: la transmisión de microorganismos patógenos (1). La frecuencia de ocurrencia de estas enfermedades infecciosas ha aumentado significativamente y a la fecha continúan apareciendo enfermedades infecciosas actualmente denominadas emergentes, descubiertas en los últimos años; y las ya conocidas consideradas “controladas” que volvieron a surgir (reemergentes) como: fiebre amarilla y dengue entre otras (2). En el caso de la transmisión de las Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV), esta depende de una población introducida o establecida de vectores, un patógeno y ciertas condiciones ambientales para que se complete un ciclo de transmisión (3). Los cambios ambientales son de primera importancia puesto que modifican las dinámicas ecológicas de los artrópodos vectores, reduciendo su periodo de incubación, y de los agentes infecciosos, lo que conlleva a cambios en su distribución espacio temporal y prevalencia, respectivamente. Estos cambios se traducen regularmente en un aumento en el riesgo de transmisión (4–6). Con base en investigaciones recientes se ha proyectado un aumento promedio de la temperatura planetaria, que va de 1.0 °C a 3.5 °C para el año 2100, con variaciones regionales considerables (7) que están desencadenando cambios en los ecosistemas, incluyendo la transmisión de enfermedades. Estas alteraciones afectan la abundancia y distribución de vectores, lo que favorece su expansión hacia nuevas áreas geográficas, al tiempo que se reconoce el potencial establecimiento de escenarios epidemiológicos propicios para la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas en diversas regiones del planeta (8,9). En años recientes, el incremento en la incidencia de ETV, se ha asociado a la crisis

climática, factores socioeconómicos, movimientos poblacionales a gran escala y a cambios ecológicos (10). Estas enfermedades representan alrededor de 17% de la carga mundial estimada de enfermedades infecciosas en humanos, donde destacan enfermedades virales como Malaria, Fiebre amarilla y Fiebre del Nilo Occidental. También se destaca la introducción de patógenos en zonas que previamente no eran afectadas por brotes como los causados por agentes infecciosos como los virus del Dengue (DENV), Chikungunya (CHIKV) y Zika (ZIKV) (11). Por ejemplo, entre estas enfermedades infecciosas de importancia médica mundial, el dengue es una enfermedad viral de transmisión vectorial asociada a la presencia de mosquitos vectores, cuya expansión potencial resalta la necesidad de anticipar la aparición y transmisión de esta enfermedad en lugares en donde el mosquito vector no existía. Ligado a la influencia de diversos factores que van desde la inmunidad de los hospederos hasta la circulación de patógenos (12), se reconoce ampliamente la importancia que tienen distintos factores sociales, demográficos y ambientales que se asocian directamente con la idea de que la crisis climática puede alterar los patrones de transmisión de las ETV (10, 12). Se reconoce que actualmente las ETV, concretamente las transmitidas por mosquitos, constituyen un problema prioritario de salud pública en la mayoría de las regiones con climas tropicales y subtropicales. Específicamente en México, las diferentes ETV de importancia médica y veterinaria representan un problema creciente de salud pública (13) debido a su magnitud, trascendencia y a la propia vulnerabilidad social. Se estima que cerca de 60% del territorio nacional mexicano presenta condiciones ambientales adecuadas para el mantenimiento de hábitats idóneos para una gran diversidad de vectores asociados con la transmisión de ETV (14). Se ha demostrado que las variaciones ambientales tienen

efectos directos sobre las comunidades de mosquitos y su dinámica epidemiológica (15–17), ya que los cambios meteorológicos influyen directamente sobre factores como la presencia, distribución, abundancia, comportamiento y periodo de incubación de estos vectores (18). Además, las variaciones ambientales determinan las interacciones que estos artrópodos tienen con hospederos y patógenos (12). Actualmente, dada la relevancia que tienen las ETV, especialmente aquellas asociadas con mosquitos, es fundamental estudiar qué factores ambientales actúan como determinantes clave sobre la configuración de los ensambles de mosquitos. Estos pueden abordarse a través de la evaluación de la influencia que distintos factores ambientales ejercen sobre la modificación de métricas ecológicas como la composición y diversidad de los ensambles de mosquitos.

ANTECEDENTES

Los mosquitos, históricamente, son reconocidos por su importancia médica, ya que afectan la salud humana a nivel mundial (19) y destacan debido a la creciente propagación de un gran número de patógenos que transmiten a las poblaciones tanto de humanos como de animales domésticos y silvestres (20). Su desarrollo y la capacidad de transmitir enfermedades se ven afectadas por la crisis climática que provoca el desplazamiento internacional a países con enfermedades emergentes de virus endémicos y nuevos brotes en sitios que no existían (21). De hecho, está demostrado que la actual crisis climática cambia la forma en que los humanos interactúan con los ecosistemas, entre otros efectos, impacta las comunidades de mosquitos y la composición de especies. Factores determinantes como la humedad relativa y la

temperatura, influyen sobre la lluvia como regulador de evaporación, lo que afecta la disponibilidad de hábitats para los mosquitos y la cobertura vegetal en distintos tipos de uso de suelo. También se ha reconocido que puede haber un efecto negativo sobre el desarrollo del ensamble de mosquitos, disminuyendo a su vez, la transmisión de enfermedades (22,23).

Ecología de mosquitos

Generalidades

Los mosquitos son artrópodos pertenecientes a la Clase Insecta, Orden Diptera y a la Familia *Culicidae* que tiene actualmente 42 géneros y 3,583 especies reconocidas a nivel mundial. Esta familia destaca por su gran importancia médico epidemiológica (24,25). En México se tienen registradas 225 especies, pertenecientes a 21 géneros (26), que representan 6.3% de la riqueza mundial. Sin embargo, no todas estas especies participan en la transmisión de enfermedades infecciosas, puesto que su participación inevitablemente depende, entre otros factores, de las condiciones ambientales específicas para su desarrollo y propagación (27). En consecuencia, únicamente se ha reconocido la asociación entre los ciclos de transmisión de algunas ETV con ciertas especies de mosquitos y en determinadas épocas del año.

El ciclo de vida de los mosquitos varía entre 7 y 14 días, según la especie y cuenta con cuatro etapas bien definidas: huevo (ovipuestos al nivel del agua, en agua limpia o con materia orgánica pudiendo resistir la sequedad de varios meses), larva y pupa (que pueden nadar y alimentarse de microorganismos y materia orgánica disuelta en el agua) y mosquito adulto

(que pueden volar, es relevante remarcar que los machos son nectívoros y las hembras hematófagas). Los tres estadios juveniles: huevo, larva y pupa son acuáticos (28).

Dinámica estacional de los mosquitos, en función del clima

Algunas especies de mosquitos, como *Aedes albopictus* han modificado su plasticidad ecológica para reproducirse en el medio urbano, debido a cambios ambientales, que afectan su capacidad de reproducción y ciclo de vida (29). Variables como temperatura y humedad relativa están entre los factores que determinan de forma importante la supervivencia de los mosquitos adultos, ya que muchas especies son sensibles a estos factores a lo largo de su ciclo de vida (30). Esto debido a que las condiciones de su etapa larvaria, determinan las características de los mosquitos en su fase adulta (26, 27). Las variaciones de temperatura ambiental puede acortar o alargar la vida media de los mosquitos, dado que son artrópodos poiquiloterms de cuerpo pequeño (33), que a temperaturas medias entre 12 °C a 35 °C aumentan su longevidad, lo contrario para temperaturas bajas o altas a este rango acarrear una disminución del tiempo de vida (34–37). Los factores ambientales actúan sobre los procesos metabólicos de los mosquitos desencadenando cambios físicos y de comportamiento (15), por ejemplo, el género *Aedes* sobrevive a eventos adversos, como la desecación y la inanición, lo cual lo hace un mosquito cuya presencia resulta muy común en determinados entornos, al tiempo que presenta densidades poblacionales elevadas durante la época de lluvias con temperatura y humedad estables (38). Se ha reconocido ampliamente

que las características de los hábitats donde se desarrollan los mosquitos ejercen una importante influencia sobre la riqueza, abundancia relativa y composición de especies con patrones característicos para áreas urbanas, periurbanas y rurales. Por ejemplo, hay especies específicas de mosquitos vinculadas a áreas urbanas como *Aedes aegypti*, que no necesita alimentarse de néctar y prefiere poner sus huevos bajo techo humano. En el caso contrario encontramos a *Aedes albopictus*, especie que se asocia más con zonas rurales y periurbanas, ya que suele ser menos dependiente de la sangre humana y necesita alimentarse de néctar, por lo que se considera más oportunista en cuanto a la alimentación sanguínea, en el cual también se ha documentado una mayor preferencia hacia cuerpos de agua naturales para la oviposición(38). En muchos estudios se reconocen relaciones importantes entre factores abióticos como temperatura y humedad y factores biológicos, como la vegetación que también pueden influir en la distribución de especies.

Composición vegetal de Tlapacoyan, Veracruz, México.

La información taxonómica y biogeográfica de mosquitos presentes en el territorio nacional mexicano se ha ido complementando por trabajos de distintos autores; y la variedad de especies, se determina, en buena medida por la fisiografía del terreno y sus diferentes condiciones climáticas y ecológicas (39). El estado de Veracruz tiene una gran extensión del litoral tropical y el municipio de Tlapacoyan, donde se encuentra el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión de Ganadería Tropical de la FMVZ-UNAM (CEIEGT), tiene temporada de lluvias cálida y nublada regular con una temperatura que va de 17°C a 34°C

con temperatura promedio de 24°C y precipitación pluvial media anual de 1840mm, la región está definida dentro de un bosque sub-tropical, localizada en zona de transición climática entre zona costera sub-húmeda al este y zona húmeda hacia la sierra madre oriental al oeste. Por su distribución geográfica, cuenta con una serie de micro-hábitats que son explotables a escala local, por lo que permite estudiar factores ambientales que varían, debido principalmente a la composición vegetal de los diferentes sitios de estudio. Estos cambian desde acahuales con presencia de fauna silvestre en áreas semi-conservadas a zonas con vegetación arbustiva, praderas y sitios con presencia de fauna doméstica y seres humanos. La variación a nivel de paisaje sobre la composición de vegetación en comunidades de mosquitos, es sumamente significativa en la transmisión de enfermedades de gran importancia médica y veterinaria (40).

JUSTIFICACIÓN

Estos micro-hábitats resultan idóneos para estudiar la respuesta de la configuración de los ensambles de mosquitos, actualizar los listados entomológicos, delimitar distribución de especies ante las variaciones ambientales y la posible implicación sobre brotes epidémicos de enfermedades parasitarias, emergentes y re-emergentes en territorio mexicano. El entendimiento de estas interacciones propicia la generación de información útil para la comprensión de los procesos asociados con la configuración de las comunidades de mosquitos y su implicación nos puede dar respuestas sobre la epidemiología de las ETV.

HIPÓTESIS

La variación de los factores ambientales como temperatura y humedad determinan la diversidad (riqueza y abundancia relativa) y composición del ensamble de mosquitos con efectos diferenciables en micro-hábitats.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la relación entre la variación de temperatura y humedad ambiental con la modificación de la diversidad (riqueza y abundancia relativa) y composición del ensamble de mosquitos en diferentes tipos de vegetación en un paisaje dominado por actividades agropecuarias en Veracruz, México.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Objetivo 1. Analizar la diversidad (riqueza y abundancia relativa) de especies de mosquitos presentes en distintos tipos de vegetación dentro del CEIEGT.
- Objetivo 2. Evaluar la variación de factores ambientales como temperatura y humedad a nivel local en zonas con distintos tipos de vegetación.
- Objetivo 3. Analizar la relación entre la variación de temperatura y humedad y la configuración de los ensambles de mosquitos

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El trabajo se desarrolló en el CEIEGT localizado en el municipio de Tlapacoyan, estado de Veracruz, México (Figura 1). El centro que cuenta con 140 hectáreas está situado en el kilómetro 5.5 de la carretera federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan a $20^{\circ}01'58.33''$ N y $97^{\circ}06'22.56''$ O a 430 metros sobre el nivel del mar, limita con el municipio de Martínez de la Torre. Está localizado sobre un macizo montañoso de la Sierra Madre Oriental al este, y una zona de vegetación de bosque subtropical semiverde, que forma parte de una zona de transición climática, entre la costera sub-húmeda (de menor precipitación) al oeste. El clima de la zona es cálido-húmedo con temperatura promedio de 24°C y precipitación pluvial media anual de 1840 mm, factores clave que favorecen la reproducción de mosquitos durante todo el año. El sitio de estudio se localiza en una zona caracterizada por distintos niveles de antropización.



Figura 1. Localización del área de estudio, CEIEGT, Tlapacoyan, Veracruz, México.

Sitios de estudio:

Se eligieron cuatro sitios de estudio, cada uno con un tipo de uso de suelo diferente; elegidos por muestreo dirigido, orientado hacia el predominio de áreas húmedas, cuerpos de agua permanentes e influenciado por la preferencia reproductiva, distribución y abundancia de mosquitos adultos (31). Se colectaron mosquitos adultos en los cuatro sitios diferentes identificados como: *Acahual* (CDC1 y CDC2), *Cratylia* (CDC3 y CDC4), *Río* (CDC5 y CDC6) y *Humano* (CDC7 y CDC8) (Figura 2).

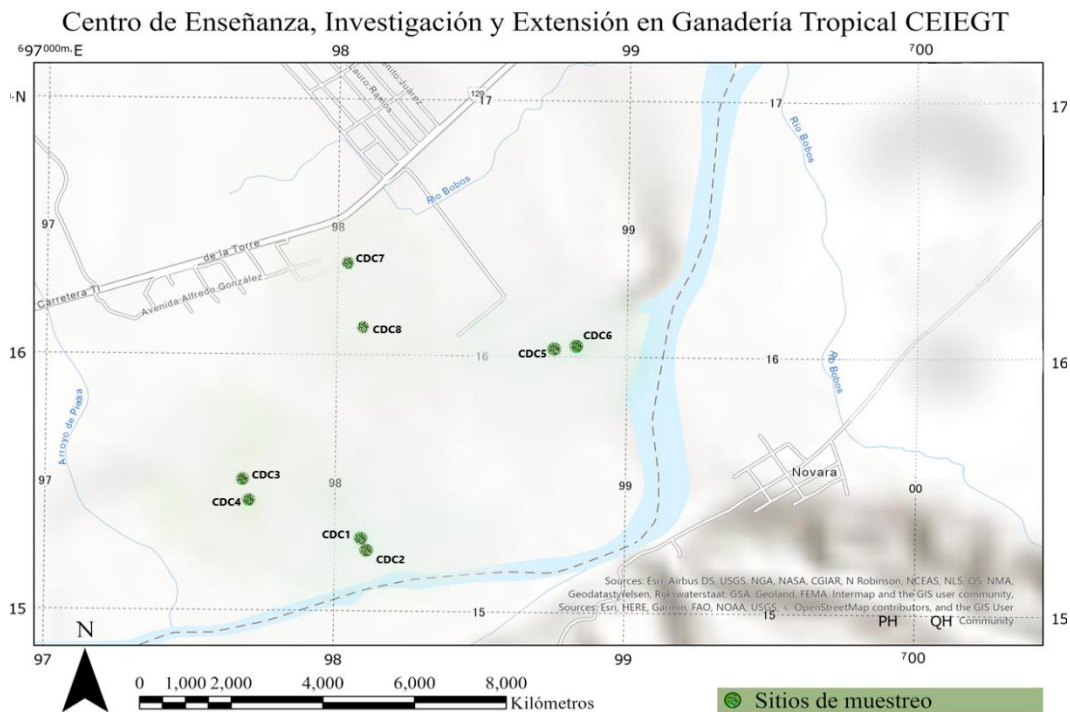


Figura 2. Sitios de estudio del CEIEGT. Sitio *Acahual* (CDC1 y CDC2), Sitio *Cratylia* (CDC3 y CDC4), Sitio *Río* (CDC5 y CDC6) y Sitio *Humano* (CDC7 y CDC8)

- Sitio Acahual: Hace referencia a vegetación joven, que se recupera después de ser usada para agricultura o ganadería. La vegetación que lo conforma es principalmente secundaria, tanto arbórea como arbustiva de 1.5 a 3 metros de altura. Cerca de este sitio se encuentran parches de vegetación riparia por el río Filobobos, con presencia de fauna silvestre. Las trampas localizadas en este sitio fueron identificadas como: CDC1 y CDC2.



Figura 3. Sitio *Acahual*

- Sitio Cratylia: Vegetación introducida, con presencia dominante de la leguminosa *Cratylia argentea*, que es una arbustiva forrajera que se adapta a zonas sub-húmedas del

trópico, teniendo mayor biomasa que las herbáceas. Crece de 1.5 metros a 3 metros de altura. Con presencia de animales domésticos por sistema de pastoreo rotativo. Las trampas localizadas en ese sitio fueron identificadas como: CDC3 Y CDC4.



Figura 4. Sitio *Cratylia*

- Sitio Río: Vegetación riparia, tanto arbórea como arbustiva de 2 a 3 metros de altura a orillas del río Filobobos, Con presencia de fauna silvestre y animales domésticos. Las trampas localizadas en ese sitio fueron identificadas como: CDC5 Y CDC6.

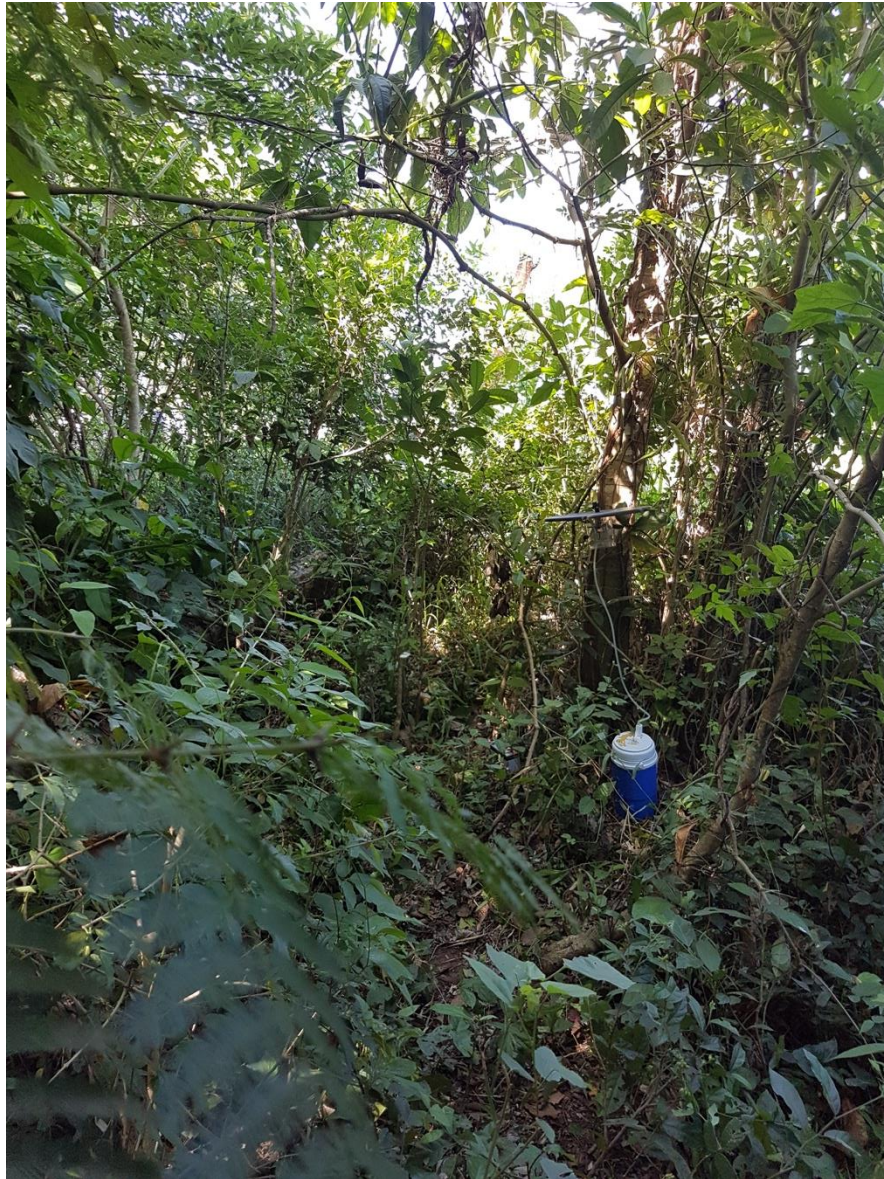


Figura 5. Sitio *Río*

- Sitio *Humano*: Vegetación mixta con pastizal introducido. Cuenta con gramíneas y leguminosas arbustivas de 1 a 2 metros de altura y parches de vegetación arbórea de 2 a 3 metros de altura. Con presencia de humanos y animales domésticos. Las trampas localizadas en ese sitio fueron identificadas como: CDC7 Y CDC8.



Figura 6. Sitio *Humano*

Colocación y funcionamiento de trampas.

Recolección de muestras biológicas:

En cada sitio se tomaron muestras diarias durante 12 días en 3 semanas distintas del periodo de lluvias: del 8 al 11 de septiembre, del 8 al 11 de octubre y del 21 al 24 de octubre del 2018, con ayuda de dos trampas CDC por sitio, durante nueve horas de actividad al día por trampa muestreada. Se utilizaron ocho trampas tipo CDC (*Centers of Disease Control and Prevention*) miniatura para los cuatro sitios muestreados, alimentadas con baterías de 6 voltios, como cebo se utilizó una combinación de luz incandescente y CO₂, el cual fue obtenido a través de la reacción generada por la combinación de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) con agua tibia y azúcar. Las trampas fueron colocadas a una distancia de 20 metros entre si para evitar la competencia entre ellas. Estas fueron colgadas a un metro sobre el nivel del suelo. Las trampas contaron con dos picos de actividad de 4:30 horas, respectivamente. Todas fueron activadas de 06:00 a 10:30 y de 18:00 a 22:30 para un total de nueve horas de actividad por trampa, por día.

Recolección de datos ambientales

Al activar y desactivar las trampas por día se tomó un registro local de temperatura y humedad relativa utilizando un Termohigrómetro UNI-T® (Figura 8) y un Geoposicionador satelital Garmin® (GPS) para conocer con exactitud la localización de las trampas.



Figura 7. Termohigrómetro UNI-T®

Procesamiento del material biológico:

Los ejemplares fueron colocados en cajas Petri previamente identificadas y preparadas con algodón y papel encerado, congelados a -18°C durante 20 minutos en un congelador (*Ultra low freezer* DW-HL528S). Posteriormente fueron preservados hasta su identificación morfológica para su análisis en el Laboratorio de Ecología, Enfermedades y Una Salud (LEEyUS), en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

Identificación taxonómica:

Con ayuda de un microscopio estereoscópico, los ejemplares fueron montados sobre agujas entomológicas (no.1) para la identificación morfológica con el apoyo de claves taxonómicas (18,41,42). Se realizó un listado faunístico hasta nivel de género y especie de los mosquitos recuperados. Algunos ejemplares dañados, fueron enviados a la Universidad de Guelph en Canadá, al CBG (*Centre for Biodiversity Genomics*) y con métodos moleculares (Códigos de barras de ADN) ayudo a confirmarla identificación de especies.

Análisis estadístico de datos:

Diversidad Verdadera

Se realizó un análisis de Alfa Diversidad Verdadera, que son medidas que conservan las propiedades intuitivamente esperadas del concepto de diversidad (43), ya que se ha generalizado que el uso de índices no tienen un adecuado entendimiento de sus resultados, pues miden la entropía y no la diversidad de una comunidad (44). La estimación de diversidad del ensamble de mosquitos se realizó por día y sitio de muestreo utilizando la paquetería *Vegetarian* en el software estadístico R.

Curvas Rango-Abundancia

Se generaron curvas de Rango-Abundancia para describir la riqueza y abundancia relativa por día y sitio del ensamble de mosquitos, transformada a log10 y utilizando la paquetería *vegan* en el software estadístico R.

Correlograma de Spearman

Se utilizó una medida no paramétrica de la correlación bivariada de rango, que mide la asociación entre dos variables. Cuando el aumento de una variable viene acompañado del aumento de otra variable se habla de una correlación positiva o directa. Si el aumento de una variable viene acompañado de la disminución de otra variable la correlación es negativa o inversa. Se utilizó la paquetería *ggstatplot* en el software estadístico R.

Welch T-test

Para medir la relación entre las variables ambientales y los sitios de estudio se utilizó la adaptación de la prueba t de Student, que compara las medias de dos grupos independientes en la situación que no se cumpla el supuesto de homogeneidad de la varianza, con varianzas desiguales y tamaño de muestra desigual. Se utilizó la paquetería *ggstatplot* en el software estadístico R.

Kruskal- Wallis ó H test

Se realizó un estadístico no paramétrico para datos no normales, alternativo al Anova, que compara las medianas para evaluar la existencia de diferencias entre grupos de variables ambientales con la Diversidad, Riqueza y Abundancia del ensamble de mosquitos, después de una comparación múltiple con Dunn test y con ajuste en el valor de ($p = 0.05$) con Bonferroni test, enfocado a estudiar la relación de la comunidad de mosquitos a fin de

determinar qué factores ambientales influyen sobre la presencia y diversidad del ensamble de mosquitos. Se utilizó la paquetería *ggstatplot* en el software estadístico R.

RESULTADOS

Se capturó un total de 495 mosquitos (Diptera: Culicidae), pertenecientes a 10 géneros (*Aedes*, *Anopheles*, *Coquillettidia*, *Culex*, *Mansonia*, *Psorophora*, *Sabethes*, *Trichoprosopon*, *Uranotaenia* y *Wyeomyia*) de los cuales se logró identificar el 87.9% de individuos a nivel de especie y el 12.1% restante hasta nivel de género, debido a características morfológicas dañadas o ausentes en las muestras de campo. Estos individuos pertenecen a un total de 29 especies de mosquitos (Cuadro 1).

Las especies más abundantes fueron *Aedes albopictus* con 28.4 %, *Culex lactator* con 11.1% y *Culex chidesteri* con 10.9%. Las especies más raras fueron *Aedes podographicus*, *Anopheles veruslanei*, *Coquillettidia venezuelensis*, *Uranotaenia geométrica* y *Uranotaenia socialis* con individuos únicos en la captura de los doce días del muestreo en campo.

Cuadro 1. Total de individuos de mosquitos identificados en cada sitio.

Especies	Acahual	Cratyliá	Río	Humano	Total
<i>Aedes albopictus</i>	-	-	55	86	141
<i>Culex lactator</i>	13	-	34	8	55
<i>Culex chidesteri</i>	12	4	33	5	54
<i>Culex sp.</i>	17	5	24	2	48

<i>Culex coronator</i>	8	15	12	5	40
<i>Wyeomyia abebela</i>	19	1	1	-	21
<i>Aedes scapularis</i>	4	7	5	-	16
<i>Sabethes chloropterus</i>	14	-	1	-	15
<i>Aedes infirmatus</i>	5	4	3	-	12
<i>Culex corniger</i>	1	4	5	2	12
<i>Culex melanoconion sp</i>	4	1	7	-	12
<i>Culex bidens</i>	1	6	3	-	10
<i>Aedes tortilis</i>	7	-	-	-	7
<i>Anopheles pseudopunctipennis</i>	-	5	1	1	7
<i>Aedes angustivittatus</i>	2	3	1		6
<i>Culex stenolepis</i>	-	3	2	1	6
<i>Aedes tormentor</i>	-	2	1	2	5
<i>Aedes trivittatus</i>	2	-	2	1	5
<i>Uranotaenia lowii</i>	4	-	-	1	5
<i>Mansonia titillans</i>	-	1	2	-	3
<i>Psorophora ciliata</i>	1	2	-	-	3
<i>Trichoprosopon digitatum</i>	2	-	-	1	3
<i>Aedes serratus</i>	2	-	-	-	2
<i>Psorophora confinnis</i>	-	2	-	-	2
<i>Aedes podographicus</i>	-	-	1	-	1
<i>Anopheles veruslanei</i>	-	-	1	-	1
<i>Coquillettidia venezuelensis</i>	-	1	-	-	1
<i>Uranotaenia geométrica</i>	-	1	-	-	1
<i>Uranotaenia sociales</i>	-	-	-	1	1

Diversidad Verdadera, Riqueza y Abundancia relativa

El sitio más diverso fue el sitio *Cratylia* (DV = 13.27) y el sitio que presentó menor diversidad fue el sitio *Humano* (DV = 2.983) El sitio con mayor riqueza de especies fue el

sitio *Río* ($S=20$), seguido del sitio *Acahual* ($S =18$) y *Cratylia* ($S = 18$), y el sitio *Humano* representó la menor riqueza ($S = 13$) (Cuadro 2). El sitio con mayor abundancia es el sitio *Río* ($A = 193$) con mayor número de individuos y el sitio con menor número de individuos es el sitio *Cratylia* ($A = 67$) (Figura 3).

Cuadro 2. Diversidad verdadera (DV) de mosquitos por sitio de muestreo, Riqueza total y Abundancia.

Sitio	DV	Riqueza (S)	Abundancia
<i>Acahual</i>	12.663	18	119
<i>Cratylia</i>	13.272	18	67
<i>Río</i>	8.742	20	193
<i>Humano</i>	2.983	13	115

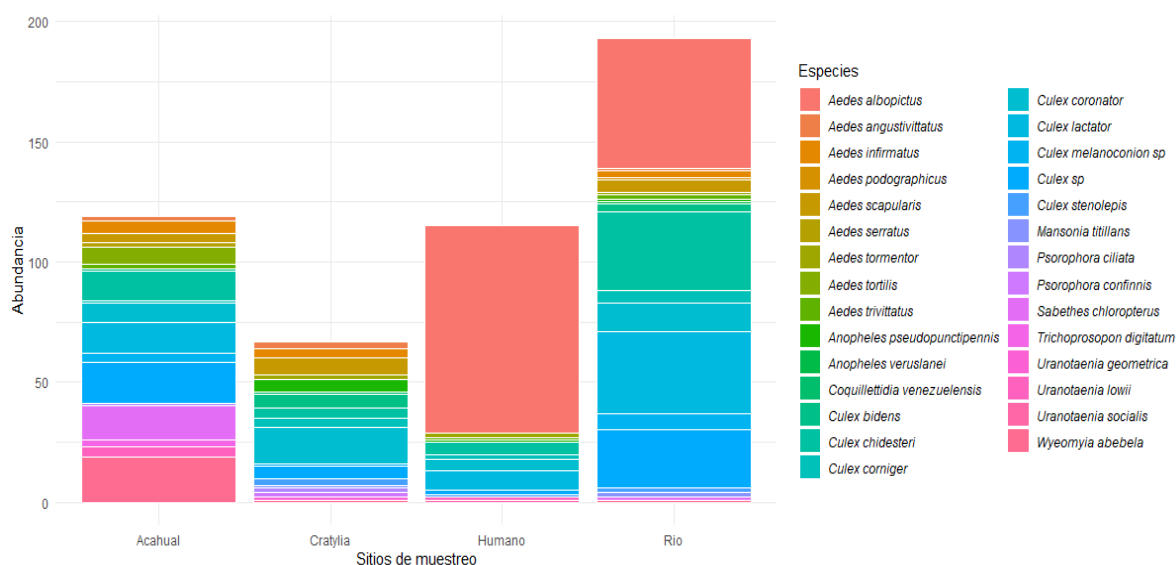


Figura 8. Composición de las comunidades de mosquitos (Diptera: Culicidae) por cada sitio de muestreo.

Curvas de Rango-Abundancia

Las curvas de rango abundancia muestran que el sitio *Río* es el sitio que presentó mayor riqueza y abundancia de individuos. La comparación entre los distintos sitios muestra que entre más elevada la equitatividad de especies, más se acerca la curva de rango abundancia a una pendiente plana, como se observa en el sitio *Acahual* y *Cratylia* y entre menor equitatividad (menor dominancia por pocas especies) mayor el grado de la pendiente de la curva como en el sitio *Humano*, el sitio con menor riqueza de especies (Figura 8).

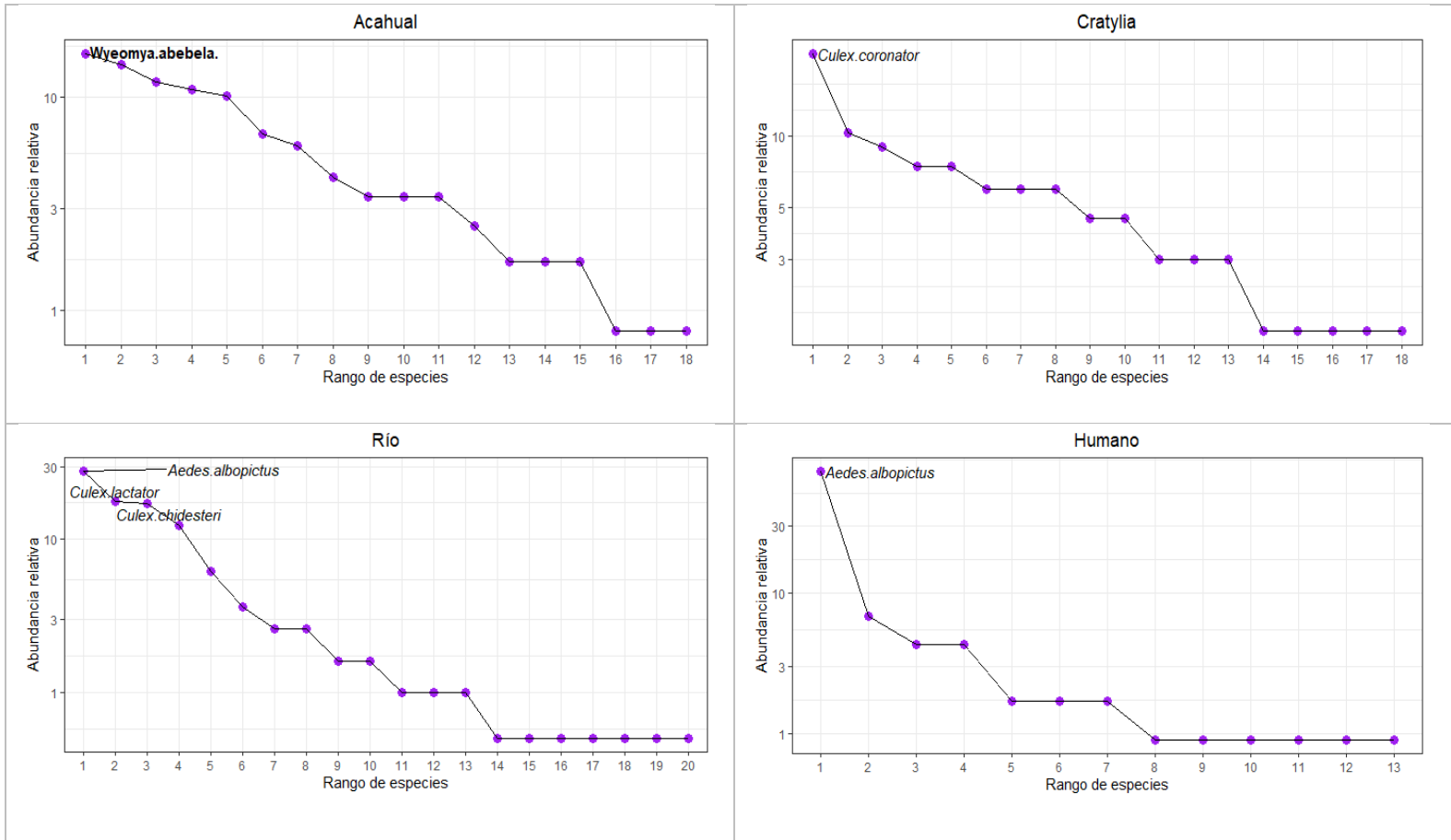


Figura 9. Curvas Rango-Abundancia del ensamble de mosquitos presentes en los sitios de estudio.

Correlograma de Spearman:

A través del cálculo en el correlograma de Spearman, se observó una relación positiva con las variables de Riqueza y Diversidad con un valor de $\rho = 0.96$, Riqueza y Abundancia con un valor de $\rho = 0.77$ y Diversidad y Abundancia con valor de $\rho = 0.67$. Se encontró una relación negativa con las variables Temperatura y Humedad con valor de $\rho = -0.89$, y una relación mínima entre Humedad con las variables de diversidad, con valores de: Riqueza y Humedad $\rho = 0.01$, Diversidad y Humedad $\rho = 0.03$, Abundancia y Humedad de $\rho = 0.03$ y una relación mínima con Temperatura y las variables de diversidad que son: Riqueza y Temperatura $\rho = -0.1$, Diversidad y Temperatura $\rho = -0.09$ y Abundancia y Temperatura con valor de $\rho = -0.2$ (Figura 10).

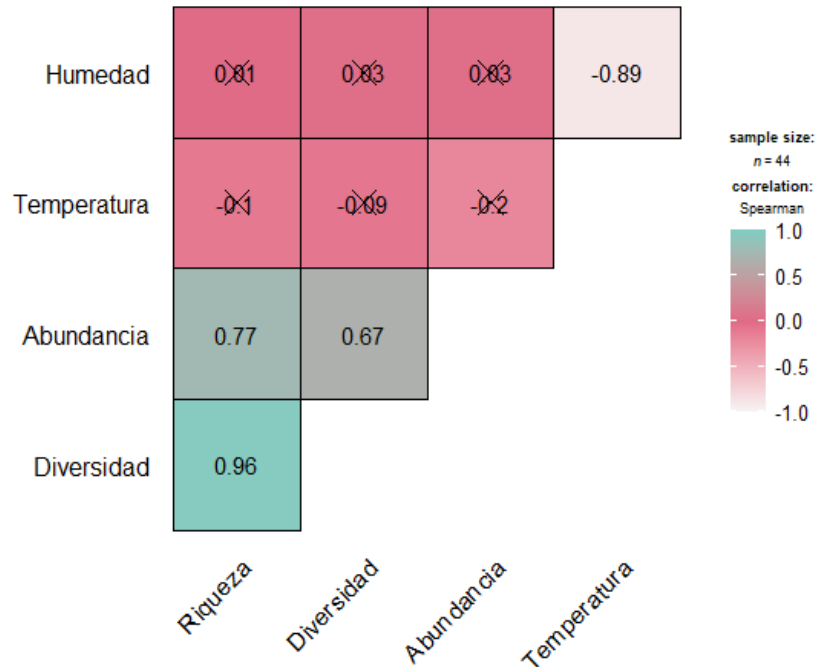


Figura 10. Correlación de Riqueza, Abundancia relativa y Diversidad verdadera con Temperatura y Humedad relativa.

Se observa la relación entre las variables respuesta con las variables predictivas. Entre más cerca al (+1) es una relación positiva o perfecta como muestra la correlación que hay con la Riqueza y Diversidad, que se traduce a: entre mayor Riqueza de especies hay en el sitio de muestreo, habrá una mayor Diversidad de mosquitos. También existe una relación perfecta, pero negativa cuando el número se acerca al (-1) de la correlación, como la relación que existe entre la Temperatura promedio y la Humedad relativa, que se traduce en: a mayor temperatura, hay una disminución de la humedad en los sitios. Y entre más cerca esté una correlación al cero, es una relación mínima, como en las celdas que están tachadas en el correlograma de spearman entre las variables predictivas con las variables respuesta

Welch T-test

Se detectó que el comportamiento de la temperatura promedio en el CEIEGT es de 27°C en los distintos sitios de estudio y su dispersión de los doce días muestreados arroja rangos similares desde los 22°C a 32°C en la época de lluvias, donde se muestra que no hay variaciones estadísticas significativas entre sitios de estudio (Figura 11). Lo mismo se observa para la humedad relativa, sin variaciones significativas entre sitios, pues hay una humedad promedio de 80%, con rangos que van de 60% a 90% de humedad en los doce días de muestreo. Observando que no hay variación estadística significativa entre sitios de estudio a lo largo del muestreo (Figura 12).

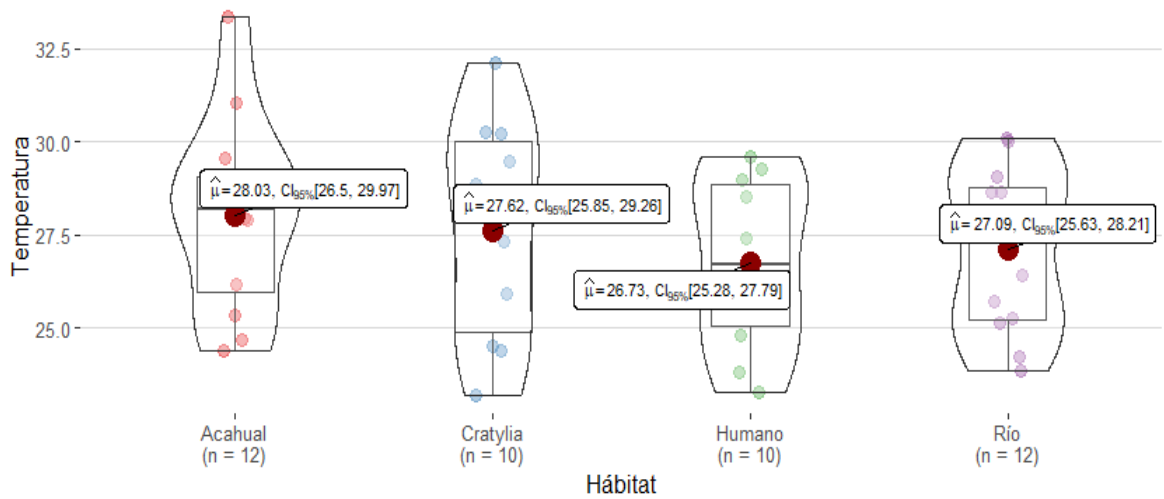


Figura 11. Comparación de la Temperatura local total, en los doce días de muestreo de los cuatro sitios de estudio del CEIEGT

En el boxplot de violín se observa que los puntos de colores nos marcan la dispersión en la variación de valores de temperatura de los días muestreados, en el eje de las “Y” tenemos la variable climática de temperatura total; en el eje de las “X” los sitios muestreados del CEIEGT, los puntos rojos nos muestran el valor de las medianas por sitio de muestreo.

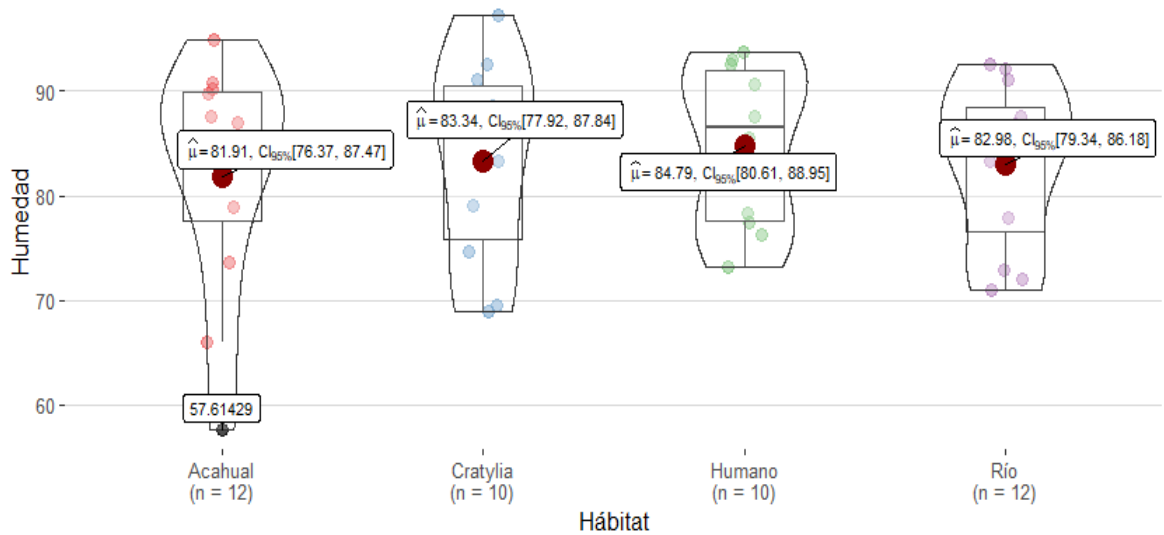


Figura 12. Comparación de la Humedad relativa local, en los doce días de muestreo de los cuatro sitios de estudio del CEIEGT.

En el boxplot de violín se observa que los puntos de colores nos marcan la dispersión en la variación de valores de humedad relativa de los días muestreados, en el eje de las “Y” tenemos la variable climática de humedad; en el eje de las “X” los sitios muestreados del CEIEGT, los puntos rojos nos muestran el valor de las medianas por sitio de muestreo.

Kruskal- Wallis ó H- test

En los gráficos se resumen los tres análisis que comparan los sitios de estudio para conocer la correlación al cambio en el ensamble de mosquitos adultos, comparándolo con las variables respuesta, que son: Abundancia, Riqueza y Diversidad verdadera. En el gráfico de Abundancia se puede observar que existe significancia estadística examinando el valor de $\rho = 0.016$ que muestra que hay una diferencia entre grupos, para esto se hizo la comparación de pares y vemos que hay diferencia estadística entre el sitio *Cratylia* y el sitio *Río* (Figura

13). En el gráfico de Riqueza se observa un valor de $\rho = 0.011$ que indica diferencia significativa entre grupos y se muestra con el Sitio *Río*, que tiene el doble de Riqueza de especies a el sitio *Humano* (Figura 14). Y en la gráfica de Diversidad verdadera, se muestra un valor $\rho = 0.015$ que indica diferencia estadística entre grupos, con una diferencia marcada entre sitio *Humano* y Sitio *Río* (Figura 15)

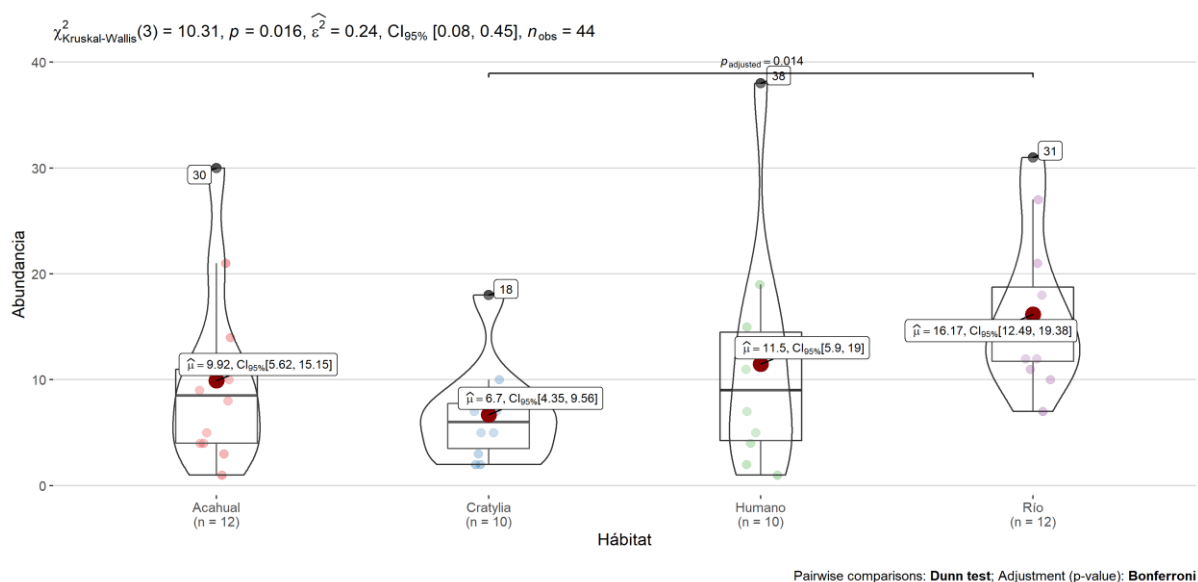


Figura 13. Comparación múltiple de Abundancia relativa del ensamble de mosquitos, en los sitios de estudio del CEIEGT.

En el gráfico se muestra la sintaxis del análisis, que viene representado en cada figura; se utilizó el H test después de una comparación múltiple con el Dunn test y termina en un ajuste al valor de ($\rho = 0.05$) con Bonferroni test. En el eje de la “X” se observan los sitios muestreados del CEIEGT y en el eje de las “Y” podemos observar los valores de Abundancia. Los puntos de colores nos marcan la dispersión de Abundancia que hubo en los días muestreados y el punto rojo es el valor de la mediana obtenida por sitio.

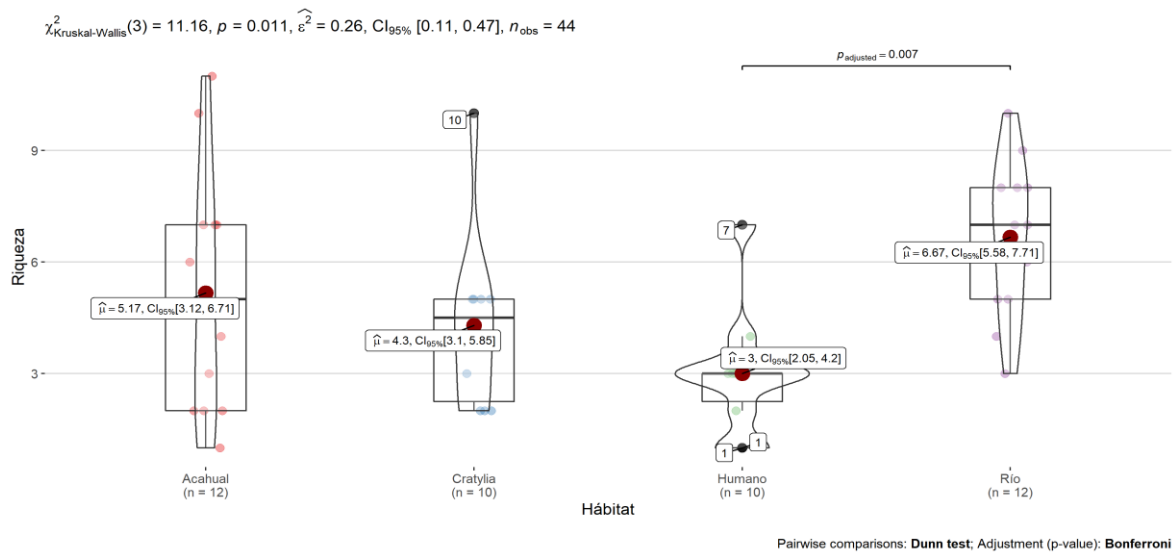


Figura 14. Comparación múltiple de Riqueza total del ensamble de mosquitos, en los sitios de estudio del CEIEGT.

En el gráfico se muestra la sintaxis del análisis, que viene representado en cada figura; se utilizó el H test después de una comparación múltiple con el Dunn test y termina en un ajuste al valor de ($p=0.05$) con Bonferroni test. En el eje de la “X” se observan los sitios muestreados del CEIEGT y en el eje de las “Y” podemos observar los valores de Riqueza de mosquitos. Los puntos de colores nos marcan la dispersión de Riqueza que hubo en los días muestreados y el punto rojo es el valor de la mediana obtenida por sitio.

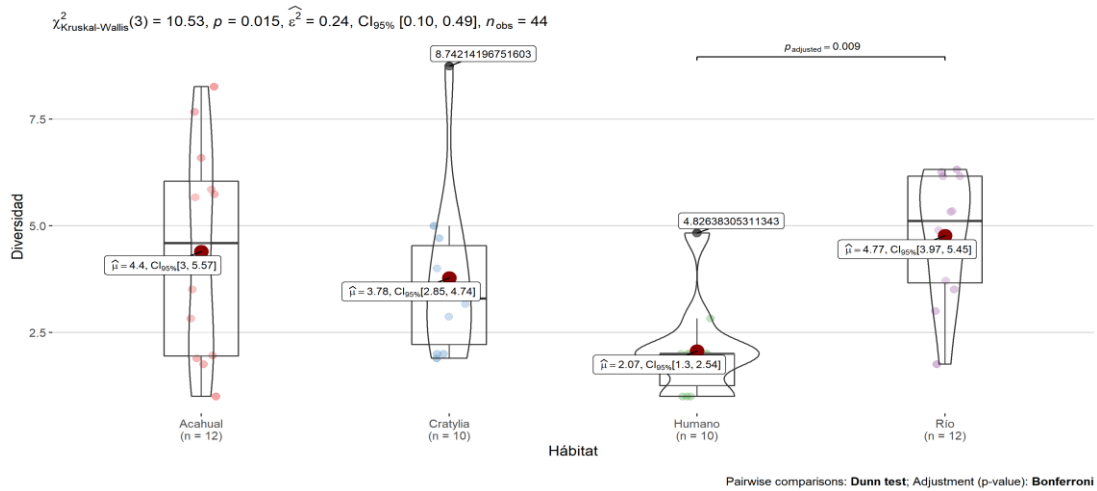


Figura 15. Comparación múltiple de Diversidad del ensamble de mosquitos en los sitios de estudio del CEIEGT.

En el gráfico se muestra la sintaxis del análisis, que viene representado en cada figura; se utilizó el H test después de una comparación múltiple con el Dunn test y termina en un ajuste al valor de ($p=0.05$) con Bonferroni test. En el eje de la “X” se observan los sitios muestreados del CEIEGT y en el eje de las “Y” podemos observar los valores de Diversidad verdadera. Los puntos de colores nos marcan la dispersión de Diversidad verdadera que hubo en los días muestreados y el punto rojo es el valor de la mediana obtenida por sitio.

Coeficiente de Correlación de Spearman

En estos gráficos se observa la correlación que tienen las variables ambientales (Temperatura y Humedad relativa), con relación al cambio en el ensamble de mosquitos, para lo cual se estudió previamente a las variables respuesta, que son: Abundancia relativa, Riqueza y Diversidad verdadera. En los gráficos de Abundancia y Temperatura se puede observar que los datos se distribuyen de forma aleatoria, lo que indica que no hay una correlación entre las

variables, teniendo una línea recta sin significancia estadística (Figuras16 y Figura17). En los gráficos de Riqueza se observan líneas rectas sin significancia estadística (Figuras 18 y Figura19) y lo mismo pasa con los gráficos de Diversidad con una tendencia a 0 sin correlación entre variables (Figura20 y Figura21).

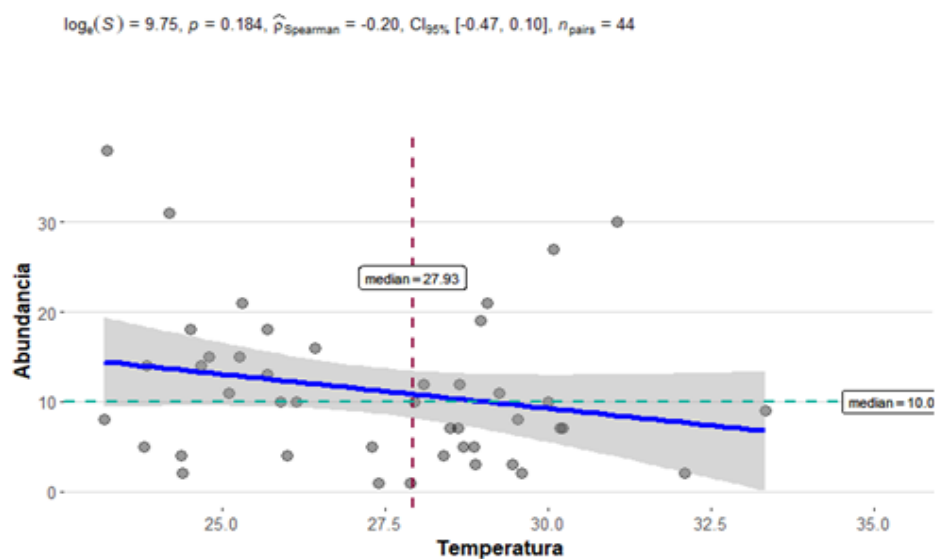


Figura 16. Correlación de Abundancia y Temperatura

En este gráfico se obtiene la relación del coeficiente de correlación de Spearman entre Abundancia y Temperatura. En el eje de la “X” se observa la variable Temperatura y en el eje de las “Y” podemos ver la variable Abundancia, los puntos de color gris muestran la dispersión de los datos totales por muestreo de los cuatro sitios de estudio. Las líneas punteadas indican en qué punto se junta el valor de la mediana entre la variable Temperatura y Abundancia; para determinar la correlación. La línea azul nos da una línea recta ligeramente negativa ($r = -0.20$) que indica que no hay significancia estadística.

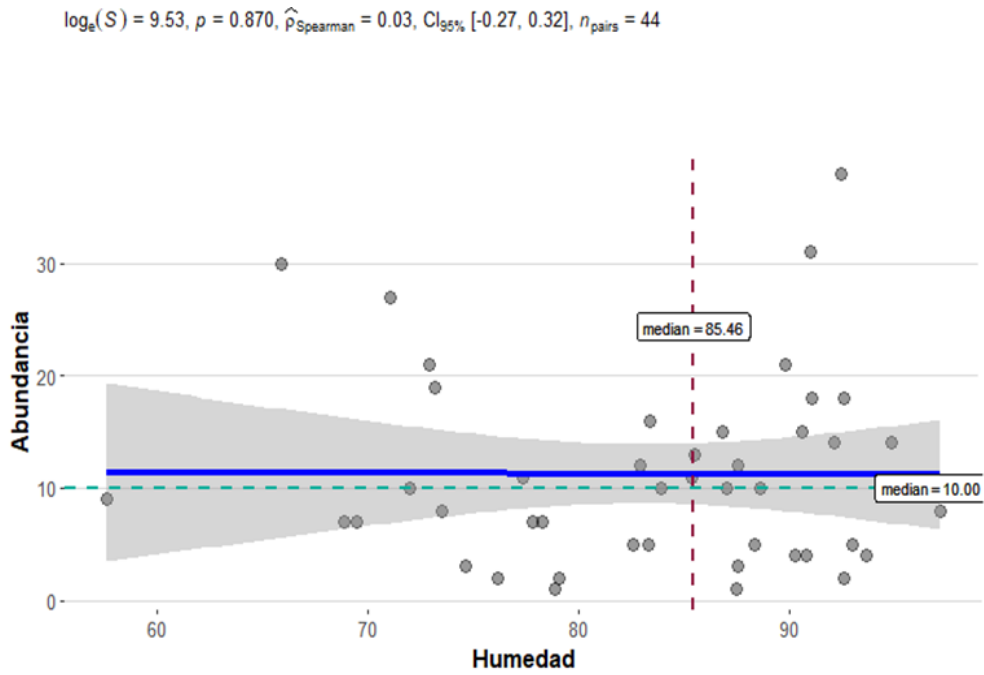


Figura 17. Correlación de Abundancia y Humedad.

En este gráfico se obtiene la relación del coeficiente de correlación de Spearman entre Abundancia y Humedad relativa. En el eje de la “X” se observa la variable Humedad y en el eje de las “Y” podemos ver la variable Abundancia, los puntos de color gris muestran la dispersión de los datos totales por muestreo de los cuatro sitios de estudio. Las líneas punteadas indican en qué punto se junta el valor de la mediana entre la variable Humedad y Abundancia; para determinar la correlación. La línea azul marca una línea recta que indica que no hay significancia estadística.

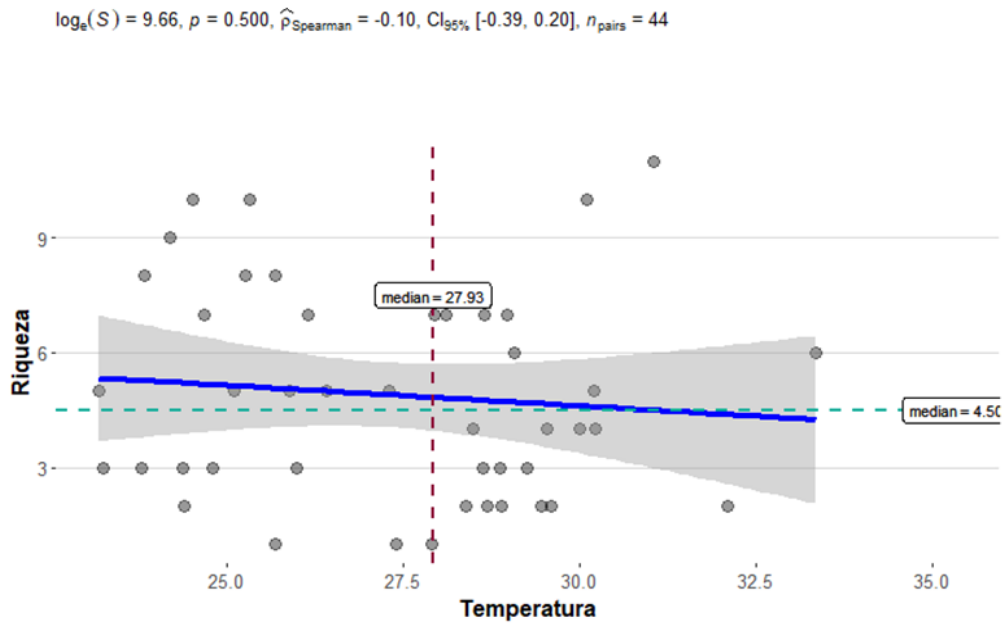


Figura 18. Correlación de Riqueza y Temperatura

En este gráfico se obtiene la relación del coeficiente de correlación de Spearman entre Riqueza y Temperatura. En el eje de la “X” se observa la variable Temperatura y en el eje de las “Y” podemos ver la variable Riqueza, los puntos de color gris muestran la dispersión de los datos totales por muestreo de los cuatro sitios de estudio. Las líneas punteadas indican en qué punto se junta el valor de la mediana entre la variable Temperatura y Riqueza; para determinar la correlación. La línea azul marca una línea recta, ligeramente negativa que indica que no hay significancia estadística.

$\log_e(S) = 9.55$, $\rho = 0.939$, $\hat{\rho}_{\text{Spearman}} = 0.01$, $CI_{95\%} [-0.29, 0.31]$, $n_{\text{pairs}} = 44$

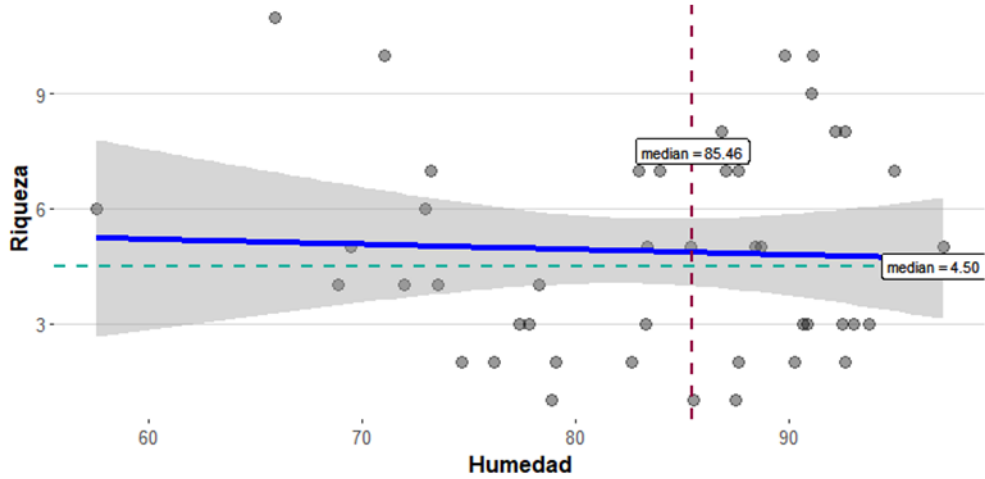


Figura 19. Correlación de Riqueza y Humedad.

En este gráfico se obtiene la relación del coeficiente de correlación de Spearman entre Riqueza y Humedad. En el eje de la “X” se observa la variable Humedad y en el eje de las “Y” podemos ver la variable Riqueza, los puntos de color gris muestran la dispersión de los datos totales por muestreo de los cuatro sitios de estudio. Las líneas punteadas indican en qué punto se junta el valor de la mediana entre la variable Humedad y Riqueza; para determinar la correlación. La línea azul marca una línea recta que indica que no hay significancia estadística.

$\log_e(S) = 9.65$, $\rho = 0.560$, $\hat{\rho}_{\text{Spearman}} = -0.09$, $CI_{95\%} [-0.38, 0.21]$, $n_{\text{pairs}} = 44$

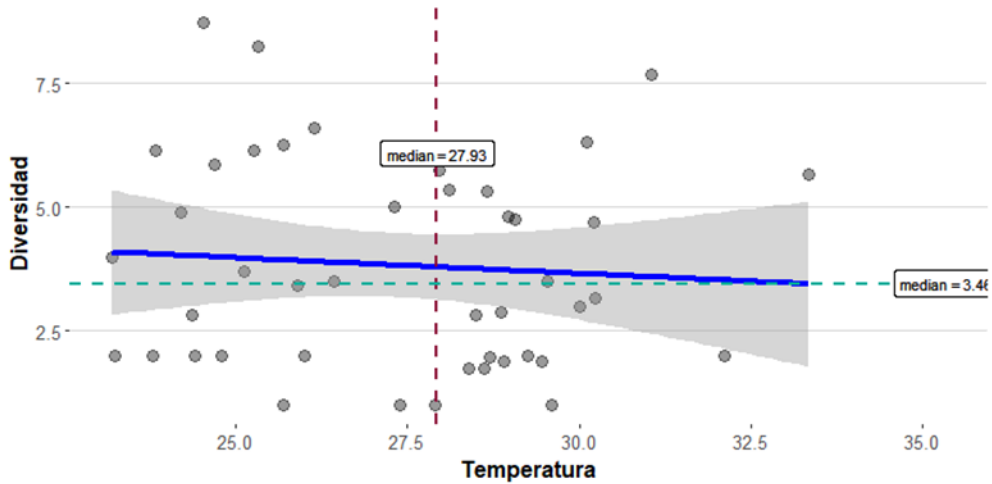


Figura 20. Correlación de Diversidad y Temperatura

En este gráfico se obtiene la relación del coeficiente de correlación de Spearman entre Diversidad y Temperatura. En el eje de la “X” se observa la variable Temperatura y en el eje de las “Y” podemos ver la variable Diversidad, los puntos de color gris muestran la dispersión de los datos totales por muestreo de los cuatro sitios de estudio. Las líneas punteadas indican en qué punto se junta el valor de la mediana entre la variable Temperatura y Diversidad; para determinar la correlación. La línea azul marca una línea recta que indica que no hay significancia estadística.

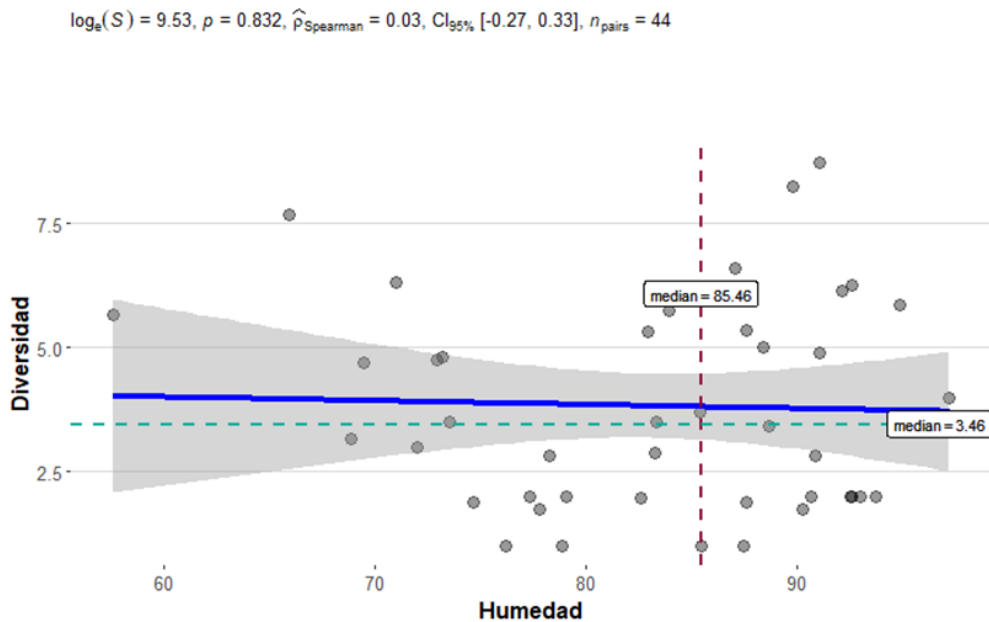


Figura 21. Correlación de Diversidad y Humedad.

En este gráfico se obtiene la relación del coeficiente de correlación de Spearman entre Diversidad y Humedad. En el eje de la “X” se observa la variable Humedad y en el eje de las “Y” podemos ver la variable Diversidad, los puntos de color gris muestran la dispersión de los datos totales por muestreo de los cuatro sitios de estudio. Las líneas punteadas indican en qué punto se junta el valor de la mediana entre la variable Humedad y Diversidad; para determinar la correlación. La línea azul marca una línea recta que indica que no hay significancia estadística.

DISCUSIÓN:

Este estudio se centró en entender la relación entre variables ambientales, a través del registro de temperatura y humedad relativa como factores ambientales determinantes, con las métricas ecológicas: riqueza, abundancia y diversidad verdadera del ensamble de mosquitos adultos capturados en cuatro sitios con vegetación distinta, dentro de un paisaje agropecuario dominado por bosque subtropical semiverde destinado para la producción de cítricos en el

tropical y ganadería. La composición del ensamble de mosquitos (Diptera: Culicidae) mostró similitudes con los tipos de vegetación afines a la región y a los rangos promedio de temperatura y humedad para la supervivencia de las especies de mosquitos de cada sitio muestreado. La ganadería transforma radicalmente distintos hábitats naturales, impactando la configuración de la vegetación nativa, en potreros y pastizales introducidos, alterando la dinámica de las poblaciones de animales vertebrados e invertebrados, disminuyéndolas y modificando sus hábitats (45), al tiempo que reduce la disponibilidad de patógenos en algunas especies de mosquitos. Lo cual puede conducir a un mayor contacto con humanos, aumentando en consecuencia, el riesgo de enfermedades (46,47). La mayor riqueza (20 especies) hallada en el sitio *Río*, es asociada con un alto porcentaje de humedad (82%), que en buena medida se asocia con la vegetación riparia, dentro del CEIEGT. Cabe destacar la región pertenece a una zona tropical, donde los vectores mosquito son numerosos. Usualmente la temperatura varía de 22°C a 32°C y considerando la importancia de tal variación en la dinámica poblacional de mosquitos, el tipo de vegetación y composición de esta, el sitio *Río* es apto para brindar refugio y alimento; en comparación con la menor riqueza (13 especies) que fue en el sitio *Humano*, que está rodeado de oficinas administrativas, laboratorios, módulos de reproducción de Bovinos de doble propósito, especies acuícolas y dormitorios, creando un área periurbana con ambiente apto para mosquitos de importancia médica humana y veterinaria como *Aedes albopictus*, *Aedes scapularis*, *Coquillettidia venezuelensis*, *Anopheles pseudopunctipennis* y *Aedes angustivittatus*. La influencia negativa en la riqueza se debe a que es un área perturbada y reduce la posibilidad de dispersión de especies por zonas grises (edificios) y el uso de

insecticidas (48), puede explicar la diferencia estructural del conjunto de mosquitos presentes en este sitio, en comparación con los otros sitios muestreados. Los sitios *Río* y *Humano* muestran una abundancia alta de *Aedes albopictus* con (141 individuos) entre ambos sitios a lo largo de las 3 semanas muestreadas, es posible que la capacidad de sobrevivir a condiciones ambientales con rangos que van de temperatura de 22 °C a 32 °C en los sitios de muestreo y humedad relativa en rangos de 60% a 90%, se debe a la plasticidad ecológica en su comportamiento, siendo un mosquito que vive en áreas urbanas, periurbanas, rurales y selváticas, es capaz de adaptarse (49,50). Asimismo, al ser *Aedes albopictus* una especie invasora, gracias a su óptima competitividad larvaria por los recursos, podría ser que estuviera desplazando a las especies autóctonas, tal como se ha descrito en otros trabajos desde hace años (51). Las especies abundantes fueron *Culex lactator*, *Culex chidesteri*, *Culex coronator* y *Wyeomyia abebela* con mayor presencia en los sitios *Acahual* y *Río*, que comparten parches de vegetación riparia y parches de vegetación secundaria tanto arbórea como arbustiva. El género más abundante en estos sitios es *Culex*, un mosquito con máxima adaptabilidad a múltiples ambientes y de una gran variedad de hospederos para alimentarse, principalmente de aves y roedores, además de ser vectores que causan enfermedades de importancia médica humana y veterinaria como factor de riesgo en áreas periurbanas (52). La abundancia y riqueza relativamente baja de mosquitos, como en el sitio *Cratylia* y sitio *Humano*, responde a la falta de alimentación y reproducción en los sitios muestreados, y solo los mosquitos que puedan adaptarse a estos sitios aumentan su abundancia; como únicos individuos capturados son *Aedes podographicus*, *Anopheles veruslanei*, *Coquilletidia confinnis*, *Uranotaenia geométrica* y *Uranotaenia sociales*. Existen varios factores

ambientales que alteran la abundancia y distribución de vectores: ecológicos, socioeconómicos y climáticos como el cambio temporal (16) y espacial de temperatura y humedad (15), que tienen lugar con las variaciones ambientales provocadas por la crisis climática, que afectan la biología y ecología de vectores mosquitos (10,12,53). La distribución geográfica de los mosquitos es de suma importancia para el estudio de su historia natural, ecología, genética y evolutiva, para entender los factores biogeográficos e históricos de las diferentes enfermedades que transmiten (52). El riesgo de ETV aumenta con la transmisión de patógenos en los mosquitos, ya que no regulan su temperatura corporal y dependen totalmente de la temperatura ambiental, para su comportamiento y desarrollo (33). Altas temperaturas en áreas geográficas grandes, permiten la propagación de importantes brotes de enfermedades (17). Entre los 30°C a 32°C la capacidad vectorial aumenta significativamente, debido a la reducción del periodo de incubación y disminuyendo la tasa de supervivencia, siendo sensibles a los cambios de temperatura y humedad, en fases inmaduras de los primeros estadios y adultos, por su plasticidad ecológica (54,55). Diversos autores han estudiado el rango térmico del ciclo de vida de diferentes especies de mosquitos que van de temperaturas de 12 °C hasta 35 °C en la etapa de eclosión y de manera general cuando son adultos; temperaturas bajas ocasionan una supervivencia menor (27,37). La abundancia de mosquitos se relaciona con variables climáticas que, dependiendo de la especie afecta la tasa de supervivencia, la mortalidad, la productividad de larvas y otros parámetros poblacionales (12, 54, 55). En este estudio hubo una relación negativa, entre humedad relativa y temperatura, ya que la humedad se mide por la presión de agua que existe en el ambiente y la temperatura cambia la presión; por eso disminuye la humedad y existe

una correlación negativa. Tomando en cuenta que hubo días con humedad baja de 60% en el sitio Acahual, donde se halló una Riqueza de (18 especies), caso contrario al sitio Humano donde tenemos una vegetación introducida de pastizales y gramíneas, que se encontró en el muestreo una Riqueza menor a (13 especies). La humedad y temperatura de cada sitio muestran una mínima diferencia en la configuración de la vegetación del lugar de estudio, a pesar de tener un uso de suelo distinto, que mantiene una vegetación arbórea y arbustiva de tamaños y biomásas similares, por lo cual se relacionaron índices ecológicos para conocer cómo responde el ensamble de mosquitos en función de variables ambientales importantes. Poder entender la influencia de factores ambientales sobre la presencia y distribución de vectores mosquitos tiene implicaciones importantes en el estudio de la ecología de las ETV, particularmente sobre brotes epidémicos emergentes y reemergentes asociados a cambios antropogénicos, que son tema prioritario en materia de salud dada la distribución e incidencia de patógenos transmitidos por vectores.

CONCLUSIONES

Se capturó un total de 495 mosquitos adultos (Diptera: Culicidae), pertenecientes a 10 géneros (*Aedes*, *Anopheles*, *Coquillettidia*, *Culex*, *Mansonia*, *Psorophora*, *Sabethes*, *Trichoprosopon*, *Uranotaenia* y *Wyeomyia*) en cuatro sitios de muestreo, con distinta abundancia de especies de mosquitos entre sitios.

Las variables ambientales a escala local por sitio mostraron una temperatura y humedad constante en los cuatro sitios de estudio, con un promedio en la temperatura de 27°C y humedad relativa promedio de 80%, sin cambios estadísticos entre sitios.

Los resultados muestran que el ensamble de mosquitos es homogéneo (con riqueza y composición muy similar) en los cuatro sitios de muestreo, lo que sugiere un alto grado de conectividad espacial, incluso cuando los diferentes tipos de vegetación representan un ligero cambio en su composición por sitio.

La escala de aproximación en el presente estudio no reflejó las posibles diferencias en la composición de las comunidades de mosquitos, sugiriendo que es necesario estudios a escala regionales para poder explorar estos cambios, ya que a escala regional mayoritariamente se considera una zona de agricultura enfocada en la producción de cítricos que conserva vegetación arbórea y arbustiva de un tamaño y biomasa similares.

PERSPECTIVAS:

Para incrementar el entendimiento de la relación entre los factores ambientales y la configuración del ensamble de mosquitos, puede ser de gran utilidad detectar poblaciones vulnerables a ETV, por lo tanto, es necesario que en el futuro se considere el muestreo de zonas más apartadas, en temporadas de secas y temporada de lluvias, con más días de muestreo, a fin de comprender mejor la dinámica espacial y temporal de las comunidades de

mosquitos. Los estudios de diversidad de mosquitos, como el que se presenta aquí es un paso fundamental en la planificación de estrategias sanitarias enfocadas en la prevención de enfermedades transmitidas por vectores mosquitos, así como para el desarrollo de programas de vigilancia que ayuden a prevenir la emergencia de enfermedades zoonóticas en áreas en donde no las había anteriormente.

ANEXOS:



Cuerpos de agua permanentes. Sitio *Río*.



Sitio *Cratyliá*.



Colocando trampa CDC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. G, Otero. J J. Enfermedades infecciosas emergentes. Alerta mundial. Respuesta mundial. Rev Esp Salud Publica [Internet]. 1997 [cited 2021 Feb 20];71(3):225–9. Available from: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271997000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
2. Oromí Durich J. Enfermedades emergentes y reemergentes: algunas causas y ejemplos. Med Integr [Internet]. 2000 Jul 1 [cited 2021 Feb 20];36(3):79–82. Available from: <http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-enfermedades-emergentes-reemergentes-algunas-causas-15322>
3. Semenza JC, Suk JE. Vector-borne diseases and climate change: A European perspective [Internet]. Vol. 365, FEMS Microbiology Letters. Oxford University Press; 2018 [cited 2021 Feb 20]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29149298/>
4. Semenza JC, Menne B. Climate change and infectious diseases in Europe [Internet]. Vol. 9, The Lancet Infectious Diseases. Lancet Infect Dis; 2009 [cited 2021 Feb 20]. p. 365–75. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19467476/>
5. Roiz D, Neteler M, Castellani C, Arnoldi D, Rizzoli A. Climatic Factors Driving Invasion of the Tiger Mosquito (*Aedes albopictus*) into New Areas of Trentino, Northern Italy. Baylis M, editor. PLoS One [Internet]. 2011 Apr 15 [cited 2021 Feb 20];6(4):e14800. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0014800>
6. Lindgren E, Andersson Y, Suk JE, Sudre B, Semenza JC. Public health: Monitoring EU emerging infectious disease risk due to climate change [Internet]. Vol. 336,

- Science. American Association for the Advancement of Science; 2012 [cited 2021 Feb 20]. p. 418–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22539705/>
7. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis KBA, (eds.) MT and HLM. Climate change 2001 [Internet]. The Physic. Vol. 59, Weather. United Kingdom and New York, NY, USA, : Cambridge University Press, Cambridge; 2007. 996 p. Available from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf
 8. Zell R. Global climate change and the emergence/re-emergence of infectious diseases. In: International Journal of Medical Microbiology, Supplement. Urban und Fischer Verlag GmbH und Co. KG; 2004. p. 16–26.
 9. Khasnis AA, Nettleman MD. Global warming and infectious disease. Vol. 36, Archives of Medical Research. Elsevier; 2005. p. 689–96.
 10. Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, et al. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*. 2008;451(7181):990–3.
 11. OMS. Respuesta mundial para el control de vectores – enfoque integrado para el control de las enfermedades de transmisión vectorial [Internet]. Vol. 2030. 2017. p. 4. Available from: http://www.who.int/malaria/areas/vector_control/Draft-WHO-GVCR-2017-2030-esp.pdf
 12. Roiz D, Ruiz S, Soriguer R, Figuerola J. Climatic effects on mosquito abundance in Mediterranean wetlands. *Parasites and Vectors* [Internet]. 2014 Jul 16 [cited 2021 Feb 20];7(1):333. Available from: <http://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/1756-3305-7-333>
 13. Abella-Medrano CA, Ibáñez-Bernal S, MacGregor-Fors I, Santiago-Alarcon D. Spatiotemporal variation of mosquito diversity (Diptera: Culicidae) at places with different land-use types within a neotropical montane cloud forest matrix. *Parasites and Vectors* [Internet]. 2015;8(1):1–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13071-015-1086-9>

14. CENAPRECE. 'Programa de enfermedades transmitidas por vectores.' Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. [Internet]. Programa de Acción Específico. Prevención y Control de Dengue. Programa Sectorial de Salud. 2018. Available from: http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/portada_vectores.html.
15. Obolski U, Perez PN, Villabona-Arenas CJ, Thézé J, Faria NR, Lourenço J. MVSE: An R-package that estimates a climate-driven mosquito-borne viral suitability index. *Methods Ecol Evol* [Internet]. 2019 [cited 2021 Feb 20];10(8):1357–70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32391139/>
16. Lourenço J, de Lima MM, Faria NR, Walker A, Kraemer MUG, Villabona-Arenas CJ, et al. Epidemiological and ecological determinants of Zika virus transmission in an urban setting. *Elife* [Internet]. 2017 Sep 9 [cited 2021 Feb 28];6. Available from: <https://doi.org/10.7554/eLife.29820.001>
17. Van Panhuis WG, Choisy M, Xiong X, Chok NS, Akarasewi P, Iamsirithaworn S, et al. Region-wide synchrony and traveling waves of dengue across eight countries in Southeast Asia. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 2015 Oct 20 [cited 2021 Feb 28];112(42):13069–74. Available from: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1501375112
18. Beltrán-Aguilar A, Ibáñez-Bernal S, Mendoza- Palmero F, Sandoval-Ruiz CA, Hernández-Xoliot RA. Taxonomía y distribución de los anofelinos en el estado de Veracruz, México (Diptera: Culicidae, Anophelinae). *Acta Zoológica Mex*. 2011;27(3).
19. Reinhold JM, Lazzari CR, Lahondère C. Effects of the environmental temperature on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes: A review [Internet]. Vol. 9, *Insects*. MDPI AG; 2018 [cited 2021 Feb 20]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30404142/>
20. Ferraguti M, Martínez-De La Puente J, Roiz D, Ruiz S, Soriguer R, Figuerola J.

- Effects of landscape anthropization on mosquito community composition and abundance. *Sci Rep* [Internet]. 2016;6(July):1–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/srep29002>
21. Valerio L, Roure Díez S, Benítez R, Fernández-Rivas G, Rivaya B, Expósito C, et al. Intensified epidemiological surveillance of arbovirosis: First case of native dengue fever in Catalonia (Spain), Northern Metropolitan Area of Barcelona, 2018-2019. *Aten Primaria* [Internet]. 2021;53(1):73–80. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.07.002>
 22. Marquetti-Fernández M del C, Saint-Jean Y, Fuster-Callaba CA, González-Broche R, Leyva M. Contribución al conocimiento de la distribución y aspectos biológicos de algunas especies de mosquitos en Haití. *An Biol*. 2013 Sep 3;0(35).
 23. Roiz D, Boussès P, Simard F, Paupy C, Fontenille D. Autochthonous Chikungunya Transmission and Extreme Climate Events in Southern France. Carvalho MS, editor. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet]. 2015 Jun 16 [cited 2021 Feb 20];9(6):e0003854. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0003854>
 24. Badii M, Garza V, Landeros J, Quiroz H. Diversidad y relevancia de mosquitos. *Rev Cult Científica y Tecnológica, Bionomía Univ Autónoma Ciudad Juárez*. 2006;(13):4–16.
 25. Harbach RE. Mosquito Taxonomic Inventory. Mosq Taxon Invent Valid Species List [Internet]. 2020;(April):1–60. Available from: <http://mosquito-taxonomic-inventory.info/valid-species-list>
 26. Iván A, Morales O, Reyes F. Mosquitos (Diptera : Culicidae). 2020;(February).
 27. Delatte H, Gimonneau G, Triboire A, Fontenille D. Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the indian ocean. *J Med Entomol*. 2009;46(1):33–41.

28. Chang Camero Y, Lugo Mendosa J, Barceló Rodríguez G, Martínez García J, Chao Sautie MI. Depósitos observados con larvas de *Aedes aegypti* durante el uso operacional del biolarvicida Bactivec. *Rev Cubana Med Trop.* 2013;65(1):90–8.
29. Benitez M, Cortes M, Eg M, Vh G, Díaz M, Biólogo B 3. *MEDICINA Sobre los autores.* 19AD.
30. Beck-Johnson LM, Nelson WA, Paaijmans KP, Read AF, Thomas MB, Bjørnstad ON. The effect of temperature on *Anopheles* mosquito population dynamics and the potential for malaria transmission. *PLoS One.* 2013;8(11).
31. Gimmig JE, Ombok M, Kamau L, Hawley WA. Characteristics of larval anopheline (Diptera: Culicidae) habitats in western Kenya. *J Med Entomol.* 2001;38(2):282–8.
32. Grech K, Maung LA, Read AF. The effect of parental rearing conditions on offspring life history in *Anopheles stephensi*. *Malar J.* 2007;6:1–9.
33. Brady OJ, Johansson MA, Guerra CA, Bhatt S, Golding N, Pigott DM, et al. Modelling adult *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* survival at different temperatures in laboratory and field settings. *Parasites and Vectors* [Internet]. 2013 Dec 12 [cited 2021 Feb 20];6(1):351. Available from: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/1756-3305-6-351>
34. Lambrechts L, Paaijmans KP, Fansiri T, Carrington LB, Kramer LD, Thomas MB, et al. Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. *Proc Natl Acad Sci.* 2011;108(18).
35. Carrington LB, Armijos MV, Lambrechts L, Scott TW. Fluctuations at a Low Mean Temperature Accelerate Dengue Virus Transmission by *Aedes aegypti*. *PLoS Negl Trop Dis.* 2013;7(4).
36. Delatte H, Gimonneau G, Triboire A, Fontenille D. Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the indian ocean. *J Med*

- Entomol. 2009 Jan;46(1):33–41.
37. Sasmita HI, Tu WC, Bong LJ, Neoh KB. Effects of larval diets and temperature regimes on life history traits, energy reserves and temperature tolerance of male *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): optimizing rearing techniques for the sterile insect programmes. *Parasites and Vectors* [Internet]. 2019 Dec 10 [cited 2021 Feb 20];12(1):578. Available from:
<https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-019-3830-z>
 38. Rey JR, Lounibos P. Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en América y transmisión enfermedades. *Biomedica* [Internet]. 2015 Jun 1 [cited 2021 Feb 20];35(2):177–85. Available from:
<https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/2514/2793>
 39. Ibañez-Bernal S. Informe Final del proyecto Actualización del Catálogo de Autoridad Taxonómica del orden Diptera (Insecta) de México CONABIO (JE006). 2017;76.
 40. Costa EAP de A, Santos EM de M, Correia JC, de Albuquerque CMR. Impact of small variations in temperature and humidity on the reproductive activity and survival of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Rev Bras Entomol.* 2010;54(3):488–93.
 41. Cark-Gil S, Darsie F, Clark-Gil S. The Mosquitoes of Guatemala. Their Identification, Distribution and Bionomics, With Keys to Adult Females and Larvae in English and Spanish. *Mosq Syst.* 1983;15(3):151–284.
 42. Pecor JE, Mallampalli VL, Harbach RE, Peyton EL. Contributions of the American Entomological Institute CATALOG AND ILLUSTRATED REVIEW OF THE SUBGENUS MELANOCO/V/ON OF CULEX (DIPTERA: CULICIDAE) BY.
 43. Moreno CE, Barragán F, Pineda E, Pavón NP. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas Reanalyzing alpha diversity: alternatives to understand and compare information

about ecological communities.

44. Jost L. Entropy and diversity. *Oikos*. 2006;113(2):363–75.
45. Alvarado F, Williams DR, Arroyo-Rodríguez V, Escobar F. Commentary: Forest Cover Is Critical for Biodiversity Conservation in Tropical Livestock-Dominated Landscapes. *Trop Conserv Sci* [Internet]. 2018 Jan 13 [cited 2021 Feb 24];11(1):194008291878316. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1940082918783160>
46. Possas C, Lourenço-De-oliveira R, Tauil PL, Pinheiro F de P, Pissinatti A, da Cunha RV, et al. Yellow fever outbreak in Brazil: The puzzle of rapid viral spread and challenges for immunisation [Internet]. Vol. 113, *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. Fundacao Oswaldo Cruz; 2018 [cited 2021 Feb 24]. p. 1–12. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30427974/>
47. Orta-Pineda G, Abella-Medrano CA, Suzán G, Serrano-Villagrana A, Ojeda-Flores R. Effects of landscape anthropization on sylvatic mosquito assemblages in a rainforest in Chiapas, Mexico. *Acta Trop*. 2021 Apr 1;216:105849.
48. Angeoletto F, Essy C, Ruiz Sanz JP, Silva FF da, Albertin RM, Santos JWMC. *Ecología Urbana: La Ciencia Interdisciplinaria del Planeta Ciudad*. *Desenvolv em Questão*. 2015;13(32):6.
49. Chan-Chable RJ, Balam-Poot E, Vázquez-Marroquín R, Martínez-Arce A, Mis-Avila PC, Hernández-Triana LM. NEW DISTRIBUTION RECORD of AEDES ALBOPICTUS in QUINTANA ROO, MEXICO, and ITS IMPORTANCE to PUBLIC HEALTH. *J Am Mosq Control Assoc* [Internet]. 2021 Sep 1 [cited 2021 Feb 28];36(3):197–200. Available from: <https://europepmc.org/article/MED/33600589>
50. González-Acosta C, Correa-Morales F, Canche-Aguilar I, Silva-Domínguez R, Concepción Salgado-Alonzo MA, Muñoz-Urias R, et al. First report of aedes albopictus in Guerrero State, Mexico. *J Am Mosq Control Assoc* [Internet]. 2020

- Dec 1 [cited 2021 Feb 28];35(4):285–7. Available from:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31922941/>
51. Livdahl TP, Willey MS. Prospects for an invasion: Competition between *Aedes albopictus* and native *Aedes triseriatus*. *Science* (80-) [Internet]. 1991 Jul 12 [cited 2021 May 24];253(5016):189–91. Available from:
<https://science.sciencemag.org/content/253/5016/189>
 52. Torres-Olave M, Torres-Olave M, Rojas-Villalobos H, Zesati G, Alatorre-Cejudo L. Modelo biogeográfico de los mosquitos *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) en México. *Boletín Geográfico* [Internet]. 2015 Dec 15 [cited 2021 Feb 20];0(37):43–58. Available from:
<http://revele.uncoma.edu.ar/htdoc/revele/index.php/geografia/article/view/1079>
 53. Koenraadt CJM, Aldstadt J, Kijchalao U, Sithiprasasna R, Getis A, Jones JW, et al. Spatial and temporal patterns in pupal and adult production of the dengue vector *Aedes aegypti* in Kamphaeng Phet, Thailand. *Am J Trop Med Hyg*. 2008;79(2):230–8.
 54. Gonçalves De Carvalho SC, De Jesus Martins A, Pereira Lima JB, Valle D. Temperature influence on embryonic development of *Anopheles albitalis* and *Anopheles aquasalis*. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2002;97(8):1117–20.
 55. Fernández M, del Carmen M. Aspectos bioecológicos de importancia para el control de *Aedes aegypti* y otros culicidos en el ecosistema urbano MARÍA DEL CARMEN MARQUETTI FERNÁNDEZ [Internet]. [cited 2021 Feb 20]. Available from:
<http://revistas.mes.edu.cu>
 56. Reiter P. Climate change and mosquito-borne disease. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2001 [cited 2021 Feb 20];109(SUPPL. 1):141–61. Available from:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11250812/>
 57. Lafferty KD. The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*. 2009;90(4):888–900.

