

Geovisualización de los principales culicidos, vectores de transmisión de enfermedades que ponen en riesgo a la población mexicana

Ashley Dafne Aguilar Salinas^{1,†}¹Tecnologías para la Información en Ciencias

Junio 05, 2024

Abstract

The following work aims to perform geo-spatial visualizations of the main culicidae, causative agents of diseases such as leishmaniasis, dengue and malaria in Mexico; to observe the behavior of some of their climatic conditions during different periods of time. The set of culicidae species that were chosen for the analysis of this project was based on the information provided by the articles [4, 7, 12]. The data collection of these species was downloaded from the GBIF platform. Each of the data collection was filtered to obtain the desired information, these filters are specified in each link [5, 6, 8, 9, 11].

Keywords: *culicidae, leishmaniasis, dengue , malaria*

Corresponding author: <https://github.com/AshleyDafneAguilar> | **E-mail address:** ashaguilar06@gmail.com

1. Introduction

Las enfermedades de transmisión vectorial son enfermedades humanas, con un complejo ciclo de transmisión, provocadas por una gran diversidad de bacterias, parásitos o virus que son transmitidos por algunos organismos. Estas enfermedades representan una alta carga de morbilidad y mortalidad en algunas comunidades, causando registros de alrededor de 700000 muertes en el mundo, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Así mismo requieren un sobrecargo en los sistemas de salud de los países y altos costos. De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en los últimos años, en la región de las Américas, los sistemas de salud han presentado el reto de mejorar la vigilancia epidemiológica de las enfermedades de transmisión vectorial para controlar las poblaciones de mosquitos y prevenir la transmisión de enfermedades tales como la malaria o el dengue y la leishmaniasis que son enfermedades endémicas de la región, así como las nuevas apariciones de arbovirus.

Las enfermedades de transmisión vectorial de interés en este proyecto son la leishmaniasis, cuyo agente causal es la picadura del insecto lutzomyia olmeca olmeca y potencialmente también por lutzomyia cruciata. La malaria, cuyo vector de transmisión son los mosquitos del género anopheles, principalmente en México los de la especie albimanus y pseudopunctipennis. Finalmente se estudia el dengue, enfermedad transmitida por mosquitos del género aedes, los principales causantes en el país son los de la especie aegypti, hendersoni, zoosophus dyar y knab, triseriatus y brelandi zavortink.

El objetivo de realizar una visualización geoespacial de la presencia de las principales especies causantes de las enfermedades de transmisión vectorial de interés en México, es lograr observar el comportamiento de algunas de sus condiciones climáticas (temperatura media anual, precipitación y elevación) durante distintos períodos de tiempo. Se espera que esta información sea de utilidad en estudios nacionales de control de poblaciones de mosquitos de estas especies y así mismo se logre prevenir la transmisión de las enfermedades estudiadas o algunas otras en las que estos mosquitos son vectores.

2. Manipulación de los datos

Los conjuntos de datos originales fueron descargados en la plataforma GBIF. Se descargaron cinco datasets para obtener los datos de presencia de las diferentes especies con las que se trabajaron.

2.1. Vectores de la leishmaniasis

Los datos de los agentes causales de la leishmaniasis en México fueron obtenidos de un dataset en la plataforma GBIF el cual contiene dos filtros, uno por género lutzomyia y por presencia de coordenadas [5]. A este dataset se le hizo una selección de las columnas que se consideraron importantes: "verbatimScientificName", "countryCode", "decimalLatitude", "decimalLongitude", "coordinateUncertaintyInMeters", "year". Posteriormente se dividieron los datos, partiendo el dataframe a las dos especies a estudiar (olmeca, olmeca y la cruciata) en base a la columna: "verbatimScientificName". Obteniendo 3135 registros y 2356 respectivamente.

Finalmente se segmenta el dataframe de la especie olmeca, olmeca por períodos de tiempo, así como el dataframe de la especie cruciata. Obteniendo de cada uno dos dataframes, uno del periodo de tiempo de 1985 a 2000 y otro de 2000 a 2015. Eliminamos los datos duplicados en los dataframe resultantes y tenemos una reducción masiva de registros, resultando que para la especie olmeca, olmeca en el periodo de tiempo de 1985 a 2000 tenemos 1 solo registro, mientras que para el periodo de tiempo de 2000 a 2015 tenemos 23 registros. En el caso de la especie cruciata contamos con 2 registros en el periodo de tiempo 1985 a 2000 y con 29 registros en el periodo de 2000 a 2015.

2.2. Vectores del dengue

La información de los vectores de transmisión del dengue fue obtenida por dos datasets de GBIF. El primero contiene información única de la especie Aedes aegypti, el cual tiene dos filtros, uno es el continente América del norte y por presencia de coordenadas [6].

El segundo dataset contiene los datos de las otras especies de Aedes (hendersoni, zoosophus dyar y knab, triseriatus y brelandi zavortink), este dataset tiene un filtro de país o zona México, nombre científico "Aedes Meigen, 1818" y por presencia de coordenadas [11]. En ambos dataset se hizo una selección de las columnas que se consideraron importantes: verbatimScientificName, countryCode, decimalLatitude, decimalLongitude, coordinateUncertaintyInMeters, year.

En el dataset de la especie aegypti [6] se seleccionó los datos con el valor "MX" en la columna "countryCode", es decir, datos únicos de México. Se modificó los valores nulos de la columna "coordinateUncertaintyInMeters", convirtiéndolos a 0, pensando en que fueron exactos al tomar las coordenadas. Eliminamos los datos con algún valor nulo, en este caso y después del paso anterior, fueron eliminados 51 datos que no tenían valor en la columna "year", finalizando con

84 361 registros.

85 Finalmente se segmenta el dataframe de la especie *aegypti* por pe-
86 ríodos de tiempo. Obteniendo tres dataframes: uno del periodo de
87 tiempo de 1970 a 1985, otro de 1985 a 2000 y por último de 2000 a
88 2015. Eliminando los datos duplicados en cada dataframe tenemos
89 como resultado 5 registros en el periodo de tiempo de 1970 a 1985,
90 127 registros en el periodo de tiempo de 1985 a 200 y 213 registros en
91 el periodo de tiempo de 2000 a 2015.

92 En el segundo dataset, el cual contiene las otras especies de *Aedes* [11]
93 , se realizó la división de datos reduciendo el dataframe a las cuatro
94 especies a estudiar en base a la columna: "verbatimScientificName".
95 De los cuales se obtuvieron 2 registros de la especie *hendersoni*, 34
96 registros de la especie *zoosophus*, 22 registros de la especie *triseriatus*
97 y 3 registros para la especie *brelandi*. En los dataframe de las especies
98 *zoosophus*, *triseriatus* y *brelandi*, se modificamos los valores nulos
99 de la columna "coordinateUncertaintyInMeters", convirtiéndolos a
100 0, pensando en que fueron exactos al tomar las coordenadas. Como
101 siguiente paso se segmenta cada uno de los dataframes de las especie
102 obtenidas del género *Aedes* por periodos de tiempo.

103 Para la especie *hendersoni*, se obtienen un solo dataframes del per-
104 iodo de tiempo de 1970 a 1985. Al eliminar los datos duplicados nos
105 quedamos con 1 registro, que se encuentra en dicho periodo de tiempo.
106 En el caso de la especie *zoosophus*, se obtienen dos dataframes, uno
107 del periodo de tiempo de 1961 a 1970 y otro de 2000 a 2015. Elimin-
108 ando los datos duplicados obtenemos 5 y 4 registros respectivamente
109 por periodo de tiempo. Con la especie *triseriatus* se obtienen tres
110 periodos de tiempo, estos son de 1954 a 1970, de 1985 a 2000 y de 2000
111 a 2015. Cuando eliminamos los datos duplicados contamos con 4
112 registros en el periodo de tiempo de 1954 a 1970, 2 registros entre 1985
113 a 2000 y 22 registros entre 2000 y 2015. Finalmente, con la especie
114 *brelandi* se obtuvo un solo dataframe del periodo de tiempo de 2000
115 a 2015. Eliminando los datos duplicados contamos con 3 registros en
116 dicho periodo.

117 2.3. Vectores de la malaria

118 La colección de datos de los organismos causantes de la malaria fue
119 obtenida mediante dos datasets de la plataforma GBIF. El primero
120 contiene información única de la especie *Anopheles albimanus* [9]
121 el cual contiene tres filtros, uno es el país o zona México, otro por
122 nombre científico *Anopheles albimanus* Wiedemann, 1820 y por
123 presencia de coordenadas. El segundo contiene la información de la
124 especie *Anopheles pseudopunctipennis* [8]. Este dataset contiene
125 tres filtros, uno por país o zona México, otro por nombre científico
126 *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald, 1901 y por presencia
127 de coordenadas. En ambos dataset se hizo una selección de las
128 columnas que se consideraron importantes: "verbatimScientific-
129 Name", "countryCode", "decimalLatitude", "decimalLongitude",
130 "coordinateUncertaintyInMeters", "year", "eventDate".

131 En el dataset de la especie *albimanus* [9] se hizo una selección
132 de los datos que contenían la palabra "albimanus" en la columna
133 verbatimScientificName. Posteriormente se modificaron los valores
134 nulos de la columna coordinateUncertaintyInMeters, convirtiéndolos
135 a 0, pensando en que fueron exactos al tomar las coordenadas. Se
136 eliminaron los datos cuyo valor de incertidumbre era mayor a 100.
137 Se observó que había más datos nulos en la columna year que en
138 la columna eventDate. Como los valores de la columna year son
139 importantes para el proyecto, se decidió obtener algunos de los
140 valores nulos de la columna year, mediante los valores de la columna
141 eventDate, para no perder demasiados datos. Después del paso
142 anterior se eliminó la columna eventDate. Obteniendo 838 registros.
143 Como siguiente paso se segmenta el dataframe por periodos de
144 tiempo. Dando como resultado cinco periodos de tiempo, de 1902 a
145 2024. Posterior a eliminar los datos repetidos se obtiene la siguiente
146 partición de los periodos de tiempo con su cantidad de registros: De
147 1902 a 1970 con 96 registros, de 1970 a 1985 con 17 registros, de 1985

149 a 2000 con 97 registros, 2000 a 2015 con 145 registros y finalmente de
150 2015 a 2024 con 10 registros.

151 Por otro lado, con el dataset que contenía a la especie *pseudopunc-
152 tipennis* [8] se realizó una selección de los datos que contenían
153 la palabra "pseudopunctipennis" en la columna verbatimSci-
154 entificName. De igual manera, se modificaron los valores nulos de
155 la columna coordinateUncertaintyInMeters, convirtiéndolos a 0,
156 pensando en que fueron exactos al tomar las coordenadas y se
157 eliminaron los datos cuyo valor de incertidumbre era mayor a 100.
158 Nuevamente con ayuda de la columna eventDate se obtuvo algunos
159 valores faltantes en la columna year, logrando reducir la cantidad
160 de valores nulos. Después del paso anterior se eliminó la columna
161 eventDate. Obteniendo 2016 registros. Posteriormente se segmenta
162 el dataframe por periodos de tiempo, dando como resultado cinco
163 periodos de tiempo, de 1925 a 2024. Posterior a eliminar los datos
164 repetidos se obtiene la siguiente partición de los periodos de tiempo
165 con su cantidad de registros: De 1925 a 1970 con 208 registros, de
166 1970 a 1985 con 22 registros, de 1985 a 2000 con 69 registros, 2000 a
167 2015 con 710 registros y finalmente de 2015 a 2024 con 10 registros.

168 De acuerdo a la cantidad de datos por especie se decidió trabajar
169 únicamente con los de la especie **Olmeca-olmeca, cruciata, aegypti,
170 zoosophus, triseriatus, albimanus y pseudopunctipennis.**

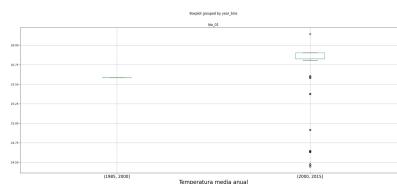
173 3. Interpretación de resultados

174 En cada especie con la que se trabajó se analizó, algunas de las capas
175 bioclimáticas, estas fueron la temperatura media anual (bio_01), la
176 precipitación (bio_12) y la elevación.

177 Se realizaron algunas anovas suponiendo que los datos eran normales;
178 sin embargo, posteriormente se hizo las pruebas de normalidad y ho-
179 mogeneidad de los datos en cada especie por capa bioclimática con la
180 finalidad de realizar los análisis correctos. Con las pruebas y análisis
181 anteriores se rechaza o acepta la hipótesis nula H_0 planteada, en la
182 cual suponemos que los valores en los diferentes períodos temporales
183 se sobrelapan mucho, es decir, no hay diferencia significativa en una
184 capa bioclimática entre períodos de tiempo de una misma especie.
185 Por el contrario, deducimos que nuestra hipótesis alterna H_1 es que
186 haya diferencias significativas, una gran variación de los valores en
187 cada período temporal en una capa bioclimática por especie.

188 3.1. Lutzomyia Olmeca-olmeca

189 Al realizar las pruebas de normalidad y homogeneidad en la capa de
190 temperatura media anual (bio_01) se observa que no todos los datos no
191 son normales, por el contrario; vemos que hay homogeneidad entre
192 los datos, es decir, que su media se mantiene similar durante los dos
193 períodos de tiempo. Con esta información realizamos una prueba de
194 Kruskal, la cual nos ayuda a determinar si aceptamos o no la hipótesis.
195 El valor de p nos indica que se rechaza la hipótesis nula, es decir, que
196 hay diferencias significativas en la temperatura media anual entre los
197 dos períodos de tiempo. Esta información la corroboramos mediante
198 la anova en la que suponíamos que los datos eran normales [1], ya
199 que se observa que la media difiere entre períodos, aumentando el
200 nivel de temperatura media que toleran los olmeca- olmeca.



201 **Figure 1.** Anova de la Temperatura media anual por períodos de tiempo
202 Olmeca-Olmeca

En la capa de precipitación (bio_{12}), observa que no todos los datos son normales, pero vemos que hay homogeneidad entre los datos, es decir, que su media se mantiene similar durante los dos períodos de tiempo. Con esta información realizamos una prueba de Kruskal, la cual nos ayuda a determinar si aceptamos o no la hipótesis. El valor de p nos indica que se rechaza la hipótesis nula, es decir, que hay diferencias significativas en la precipitación entre los dos períodos de tiempo. Esta información la corroboramos mediante la anova en la que suponíamos que los datos eran normales [2], ya que se observa un gran diferencia entre la media de ambos períodos, aumentando el nivel de precipitación medio que soportan los olmeca-olmeca.

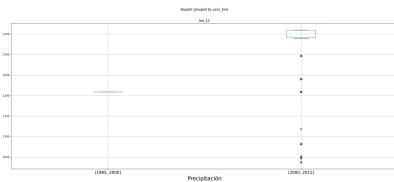


Figure 2. Anova de la Precipitación por períodos de tiempo Olmeca-Olmeca

Finalmente en la capa de elevación nuevamente obtuvimos datos que no eran normales, pero sí eran homogéneos. En base a la información anterior se hace la prueba de Kruskal la cual indica que nuevamente se rechaza la hipótesis nula, es decir, que hay diferencias significativas entre períodos de tiempo. Gráficamente mediante la anova observamos que la media entre ambos períodos varían, aumentando el rango de tolerancia.[3].

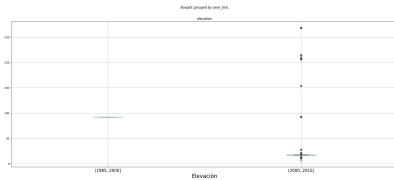


Figure 3. Anova de la Precipitación por períodos de tiempo Olmeca-Olmeca

Es importante contemplar que en el primer período de tiempo tenemos 1 registro y en segundo 23 registros por lo cual es evidente que en las anovas de cada capa bioclimática se observan valores más restringidos en el primer período de tiempo en comparación con el segundo. Considero que su aumento de tolerancia de valores en las capas bioclimáticas se debe a la diferencia de cantidad de presencias entre un período y otro generando más diversidad de valores, cuyos cuáles son variados entre sí en el segundo período de tiempo por lo que se observa un rango amplio de tolerancia. En los mapas [4, 5] observamos cómo se propaga la especie por la zona sur de México, manteniendo la región del punto de presencia en el primer período de tiempo al segundo período de tiempo.



Figure 4. Mapa de presencias Olmeca-Olmeca en el período de tiempo 1985 a 2000

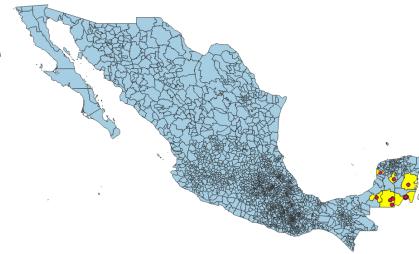


Figure 5. Mapa de presencias Olmeca-Olmeca en el período de tiempo 2000 a 2015

3.2. *Lutzomyia Cruciat*

En el caso de la especie cruciat al hacer las pruebas de normalidad y homogeneidad en la capa de temperatura media anual (bio_{01}) se observa que no todos los datos son normales, pero sí hay homogeneidad, es decir, su media varía durante los períodos de tiempo. Contemplando la información anterior se realiza una prueba de Kruskal, la cual nos ayuda a determinar si aceptamos o no la hipótesis. El valor p que nos fue arrojado en dicha prueba nos hace rechazar la hipótesis nula, es decir, que hubo diferencias significativas entre períodos. Visualizando la anova correspondiente [6], las medias entre ambos períodos de tiempo difieren, aunque cabe mencionar que la diferencia se ve amplia debido a la escala en las que se grafica la anova.

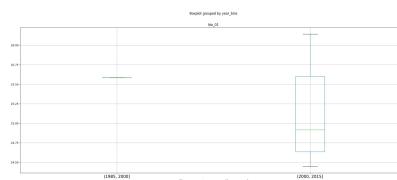
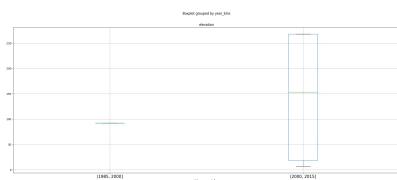


Figure 6. Anova de la Temperatura media anual por períodos de tiempo Cruciat

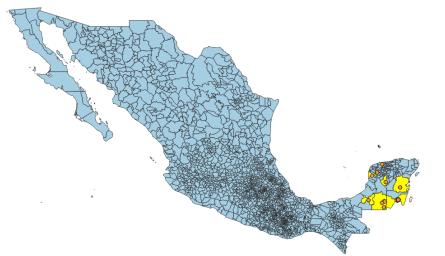
Tanto en la capa de precipitación (bio_{12}) como en la capa de elevación, nuevamente contamos con datos que no son normales ni homogéneos, es por ello que realizamos la prueba de Kruskal para determinar si aceptamos o no la hipótesis. La prueba no indica que se acepta la hipótesis nula, es decir, no hay diferencias significativas. Viendo ambas anovas correspondientes a las dos capas bioclimáticas, en la anova de precipitación vemos que la media se mantiene en ambos períodos de tiempo [7], así mismo la media de la elevación entre ambos períodos no difiere drásticamente [8], además que el valor de la media del primer período de tiempo se encuentra el rango de elevación del segundo período.



Figure 7. Anova de la precipitación por períodos de tiempo Cruciat

**Figure 8.** Anova de la elevación por periodos de tiempo Cruciat

El mismo caso que la especie Olmeca-olmeca, es importante contemplar que en el primer periodo de tiempo tenemos solo 2 registro y en segundo 29 registros por lo cual es evidente que en las anova de cada capa bioclimática se observan valores más restringidos en el primer periodo de tiempo en comparación con el segundo. Es por eso que considero que su aumento de tolerancia de valores en las capas bioclimáticas se debe a la diferencia de cantidad de presencias entre un periodo y otro generando más diversidad de valores, cuyos cuáles son variados entre sí en el segundo periodo de tiempo por lo que se observa un rango amplio de tolerancia. En los mapas [9, 10] observamos cómo se propaga la especie por la zona sur de México, manteniendo la región de puntos de presencia en el primer periodo tiempo al segundo periodo de tiempo.

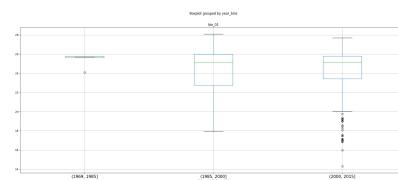
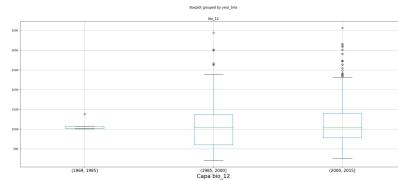
**Figure 9.** Mapa de presencias Cruciat en el periodo de tiempo 1985 a 2000**Figure 10.** Mapa de presencias Cruciat en el periodo de tiempo 2000 a 2015

3.3. Aedes Aegypti

La prueba de normalidad y homogeneidad arroja que tanto como los datos de la capa de temperatura media anual (bio_01), así como la capa de precipitación (bio_12) son datos no normales, pero si homogéneos; por el contrario, los datos de la capa elevación son datos no normales ni homogéneos. Esto nos sugiere que en cada capa bioclimática realizaremos la prueba de Kruskal para determinar si aceptamos o no la hipótesis nula.

Tanto en la capa bioclimática bio_01 , como en la capa bio_12 se acepta la hipótesis, es decir que no hubo cambios significativos entre periodos de tiempo. Observando ambas anovas correspondiente vemos que la media se mantiene entre los tres periodos de tiempo tanto para la capa de temperatura media anual [11] como para la precipitación [12]. De igual manera observamos datos atípicos entre periodos debido al incremento de presencias entre estos.

Sin embargo, en la capa de elevación se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay diferencias significativas. Se observó que en los periodos donde hubo diferencias significativas fue entre 1985 a 2000 y 2000 a 2015.

**Figure 11.** Anova de la precipitación por periodos de tiempo Aegypti**Figure 12.** Anova de la precipitación por periodos de tiempo Aegypti

De acuerdo a los resultados, hace más sentido que haya una diferencia significativa entre periodos de tiempo con cantidades de presencias no tan distantes. Podemos observar en los mapas [13, 14] como la especie entre 1985 a 2000 y 2000 a 2015 se mueve a las zonas con mayor elevación en el país.

**Figure 13.** Mapa de presencias Aegypti en el periodo de tiempo 1985 a 2000**Figure 14.** Mapa de presencias Aegypti en el periodo de tiempo 2000 a 2015

3.4. Aedes Zoosophus

Al realizar las pruebas de normalidad y homogeneidad a los datos en las tres capas bioclimáticas, nos arroja que en ninguna todos los datos son normales ni homogéneos, por lo cual aplicaremos la prueba de Kruskal para determinar si rechazamos o no nuestra hipótesis nula. En el caso de la temperatura media anual vemos que la prueba nos arroja que no hubo diferencias significativas entre los periodos de tiempo, por lo cual aceptamos la hipótesis nula. Por el contrario, en la precipitación rechazamos la hipótesis nula, ya que la prueba nos indica que hubo diferencias significativas entre los dos periodos de tiempo. Mediante la anova [15] observamos que la media de precipitación entre ambos periodos difiere, además que no hay ensamble entre los valores de precipitación del primer periodo contra el segundo

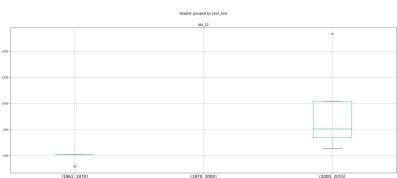


Figure 15. Anova de la precipitación por periodos de tiempo Zoosophus

Así mismo, en la elevación también rechazamos la hipótesis nula, indicando que hubo diferencias significativas entre ambos períodos de tiempo. Al ver la anova correspondiente [16] sucede lo mismo que en la anova de precipitación y es que las medias difieren, además que no hay ensamble entre los valores de elevación del primer período contra el segundo.

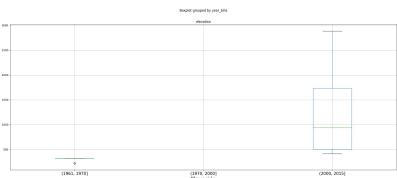


Figure 16. Anova de la elevación por periodos de tiempo Zoosophus

A pesar de la cantidad mínima de datos en ambos períodos, esta no varía entre sí por lo que con la información anterior y al observar los mapas [17, 18] vemos que los zoosófagos se “conglomeran” a una zona de mayor precipitación y elevación del país en el segundo período de tiempo en comparación con el primero.

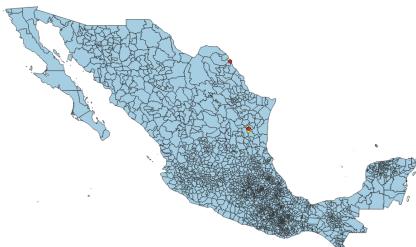


Figure 17. Mapa de presencias Zoosophus en el período de tiempo 1961 a 1970

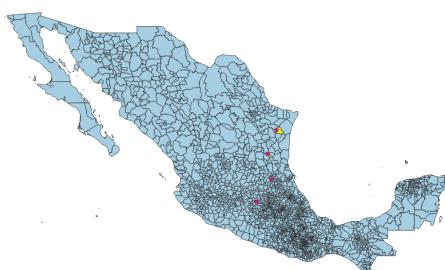


Figure 18. Mapa de presencias Zoosophus en el período de tiempo 2000 a 2015

3.5. *Aedes Triseriatus*

Cuando se realizó las pruebas de normalidad y homogeneidad a los datos en las tres capas bioclimáticas, nos arroja que en ninguna todos los datos son normales, pero sí son homogéneos, por lo cual aplicaremos la prueba de Kruskal para determinar si rechazamos o no nuestra hipótesis nula. Para la capa de precipitación la prueba nos dice que no hubo diferencias significativas entre los períodos de tiempo por

lo cual aceptamos la hipótesis nula. Por el contrario, en las capas bioclimáticas de temperatura media anual, como en la elevación se indica que hubo diferencias significativas, rechazando la hipótesis nula.

En la temperatura media anual hubo diferencias significativas entre los períodos de tiempo de 1953 a 1970 y 2000 a 2015. Esta información se puede justificar viendo la anova correspondiente [19] en la cual observamos que las medias entre estos dos períodos son diferentes, así como no hay ensamble entre los valores de temperatura del primer período contra el segundo.

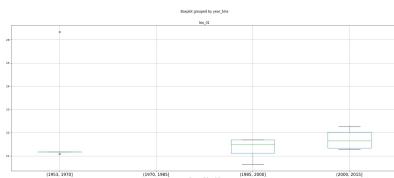


Figure 19. Anova de la temperatura media anual por periodos de tiempo Triseriatus

En el caso de la elevación se encontraron diferencias significativas entre los períodos de tiempo de 1953 a 1970 y 1985 a 2000. Observando la anova de esta capa bioclimática [20] sucede algo similar que en el caso anterior, es decir, las medias entre estos dos períodos son diferentes, así como no hay ensamble entre los valores de temperatura del primer período contra el segundo.

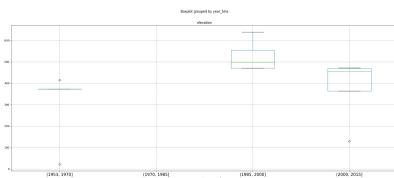


Figure 20. Anova de la elevación por periodos de tiempo Triseriatus

Al observar los mapas [21, 22, 23] y contemplando la información, parece incongruente que las presencias en el estado de Tabasco aparezcan en un período, desaparezcan y vuelvan a aparecer por lo que podemos suponer que hubo un error al capturar dicho dato, pensando en que tal vez se encontró ahí pero migraba a la zona noreste de México que es donde se encuentran un patrón de presencias, por lo cual se concluye que la diferencia significativa en la capa de elevación fue debido a los diferencia de elevación entre los puntos del período unos en Tabasco y otros en Coahuila a estar solo en Nuevo León y si contemplamos que la presencia en Tabasco fue un “error” no habría una diferencia significativa.



Figure 21. Mapa de presencias Triseriatus en el período de tiempo 1954 a 1970



Figure 22. Mapa de presencias Triseriatus en el periodo de tiempo 1985 a 2000



Figure 23. Mapa de presencias Triseriatus en el periodo de tiempo 2000 a 2015

3.6. Anopheles Albimanus

Al realizar las pruebas de normalidad y homogeneidad a los datos, en las tres capas bioclimáticas nos arroja que en ninguna todos los datos son normales ni homogéneos, por lo cual aplicaremos la prueba de Kruskal para determinar si rechazamos o no nuestra hipótesis nula. Nuevamente en las tres capas bioclimáticas obtenemos el mismo resultado en la prueba de Kruskal, la cual nos indica que hubo diferencias significativas, es decir, que se rechaza la hipótesis nula. En la temperatura media anual, así como en la precipitación y la elevación vemos que hubo diferencias significativas en la mayoría de los períodos de tiempo. Sin embargo, se puede inferir por el valor arrojado p que el cambio más "drástico" fue entre los períodos de tiempo de 1970 a 1985 y 1985 a 2000 . Lo cual se puede confirmar observando las anovas correspondientes [24, 25, 26]

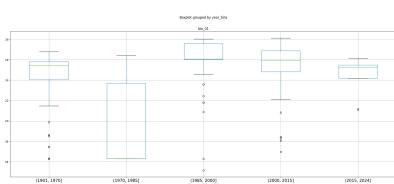


Figure 24. Anova de la temperatura media anual por periodos de tiempo Albimanus

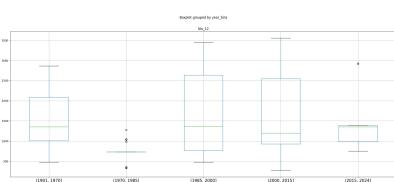


Figure 25. Anova de la precipitación por periodos de tiempo Albimanus

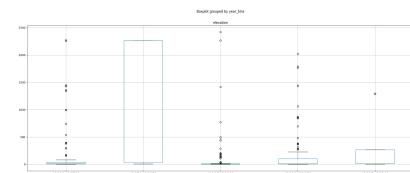


Figure 26. Anova de la elevación por periodos de tiempo Albimanus

En los tres casos debemos contemplar el factor de la cantidad de registros, pues en el periodo de 1970 a 1985 se cuentan con 17 registros y en el periodo de 1985 a 2000 con 97 registros, por lo cual se entiende de cierta forma que sea evaluado como el cambio más drástico, esto debido a que está más restringido los valores de las variables en un periodo que en otro. Esto no quiere decir que descartemos que hubo cambios significativos, pues se observa que en otros períodos de tiempo también había diferencias significativas fuertes en donde no está este factor tan marcado. Finalmente observando los mapas por periodo de tiempo [27, 28, 29, 30, 31] el patrón que se observa es que los albimanus tienden a habitar zonas costeras de México.



Figure 27. Mapa de presencias Albimanus en el periodo de tiempo 1902 a 1970



Figure 28. Mapa de presencias Albimanus en el periodo de tiempo 1970 a 1985



Figure 29. Mapa de presencias Albimanus en el periodo de tiempo 1985 a 2000



Figure 30. Mapa de presencias *Albimanus* en el período de tiempo 2000 a 2015



Figure 31. Mapa de presencias *Albimanus* en el período de tiempo 2015 a 2024

3.7. .*Anopheles Pseudopunctipennis*

Cuando se realizaron las pruebas de normalidad y homogeneidad a los datos, en las tres capas bioclimáticas nos arroja que en ninguna todos los datos son normales ni homogéneos, por lo cual aplicaremos la prueba de Kruskal para determinar si rechazamos o no nuestra hipótesis nula. Nuevamente en las tres capas bioclimáticas obtenemos el mismo resultado en la prueba de Kruskal, la cual nos indica que hubo diferencias significativas, es decir, que se rechazó la hipótesis nula.

En la temperatura media anual vemos que hubo diferencias significativas en la mayoría de los períodos de tiempo. Sin embargo, se puede inferir por el valor arrojado p que el cambio más "drástico" fue entre los períodos de tiempo de 1924 a 1970 y 2000 a 2015.

En la precipitación también hubo diferencias significativas en la mayoría de los períodos de tiempo. Sin embargo la diferencia está en que los cambios más "drásticos" fueron entre los períodos de tiempo de 1924 a 1970 y 2000 a 2015, y entre 2000 a 2015 y 2015 a 2024. Cabe mencionar que también vemos que hubo una diferencia significativa entre los períodos de 1924 a 1970 y 2015 a 2024. Esta información se puede corroborar en la anova correspondiente [32] Por último en la capa de elevación vemos que hubo diferencias significativas en todos los períodos de tiempo contra todos. Sin embargo, el cambio más "drástico" fue entre los períodos de tiempo de 2000 a 2015 y 2015 a 2024.

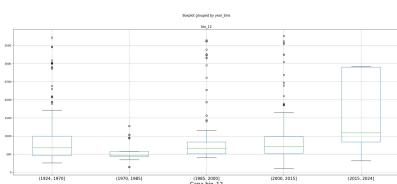


Figure 32. Anova de la precipitación por períodos de tiempo *Pseudopunctipennis*

Al observar los mapas de presencia de los *Pseudopunctipennis* [33, 34, 35, 36] no se distingue a simple vista un patrón de hábitat, parece ser que esta especie tiene un rango de tolerancia amplio en cuanto

a sus condiciones de hábitat, sin embargo, en algunos períodos de tiempo se concentra en ciertas regiones del país



Figure 33. Mapa de presencias *Pseudopunctipennis* en el período de tiempo 1925 a 1970



Figure 34. Mapa de presencias *Pseudopunctipennis* en el período de tiempo 1970 a 1985



Figure 35. Mapa de presencias *Pseudopunctipennis* en el período de tiempo 1985 a 2000



Figure 36. Mapa de presencias *Pseudopunctipennis* en el período de tiempo 2000 a 2015

4. Conclusión

Observando el comportamiento de las diferentes especies de mosquitos, vemos cómo a través de los distintos períodos de tiempo estos establecen un lugar para habitar, como en zonas costeras o en regiones del país como la zona noreste. Algunos aún están dispersos en diferentes zonas del país lo que puede indicar que tienen un rango de tolerancia más amplio en cuanto a sus condiciones bioclimáticas.

412 References

- 413 [1] Leishmaniasis. (2024, 25 marzo). OPS/OMS | Organización
414 Panamericana de la Salud.<https://www.paho.org/es/tema>
415 s/leishmaniasis
- 416 [2] Leishmaniasis cutánea y mucosa. (s. f.). OPS/OMS | Organi-
417 zación Panamericana de la Salud.<https://www.paho.org/es/te>
418 mas/leishmaniasis/leishmaniasis-cutanea-mucosa
- 419 [3] World Health Organization: WHO. (2023, 12 enero). Leishma-
420 niasis. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/le>
421 ishmaniasis
- 422 [4] Méndez-Pérez, C., and Rebollar-Téllez, E. A. (2012). Análisis
423 morfométrico de poblaciones alopárticas de Lutzomyia olmeca
424 olmeca y Lutzomyia cruciata (Diptera: Psychodidae: Phle-
425 botominae), vectores principales de la leishmaniasis cutánea
426 en el sureste de México. Revista Biomédica, 23(1), 7-21. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v23i1.91>
- 428 [5] GBIF.org (28 March 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.jmmvrh>
- 430 [6] GBIF.org (8 April 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.gdebqv>
- 432 [7] Villarreal-Treviño C, Ríos-Delgado JC, Penilla-Navarro RP,
433 et al. Composición y abundancia de especies de anofelinos
434 según la diversidad de hábitats en México. salud publica mex.
435 2020;62(4):388-401.
- 436 [8] GBIF.org (08 April 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.n5n8t6>
- 438 [9] GBIF.org (08 April 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.fvh4kn>
- 440 [10] Diez enfermedades transmitidas por vectores que ponen en
441 riesgo a la población de las Américas. (s. f.). OPS/OMS | Or-
442 ganización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/e>
443 s/noticias/7-4-2014-diez-enfermedades-transmitidas-por-vec-
444 tores-que-ponen-riesgo-poblacion-americas
- 445 [11] GBIF.org (15 April 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.y89wuj>
- 447 [12] Adelfo Sánchez Trinidad, Félix Ordoñez Sánchez y otros
448 (2014) Geographical distribution of the Aedes Triseriatus Group
449 (Diptera: Culicidae) in Mexico.