



Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias - Biología



### Modelado de Nicho Ecológico de *Cladonota apicalis*

Autor: Fabricio Rafael Vega Ovando.

---

*Cladonota apicalis* es una especie de insecto perteneciente a la familia Membracidae que se encuentra en el neotrópico, de acuerdo con Flynn (2019), *C. apicalis* presenta una distribución que abarca desde México hasta Argentina, lo que indica que habita en climas tropicales y subtropicales en toda la región neotropical. Esta amplia distribución geográfica sugiere que *C. apicalis* puede estar adaptado a una variedad de condiciones climáticas y ecológicas dentro de su rango de distribución.

Las asociaciones de *Cladonota apicalis* con plantas hospederas se han documentado en diversas especies de plantas. Algunas de las plantas identificadas como hospederas incluyen:

- *Cestrum lanatum* (Solanaceae)
- *Secyos edulis* (Cucurbitaceae)
- *Coffea arabica* (Rubiaceae)
- *Crotalaria pallida* var. *obovata* (Fabaceae)
- *Dahlia pinnata* (Asteraceae)
- *Erythrina rubrinervia* (Fabaceae)
- *Indigofera suffruticosa* (Fabaceae)
- *Morus rubra* (Moraceae)
- *Musa paradisiaca* (Musaceae)
- *Urochloa mutica* (*Panicum barbinode*) (Poaceae)
- *Ricinus communis* (Euphorbiaceae)
- *Solanum tuberosum* (Solanaceae)
- *Spondias mombin* (Anacardiaceae)
- *Zinnia elegans* (Asteraceae)
- *Jatropha urens* (Euphorbiaceae)
- *Montanoa* sp. (Asteraceae)

- *Piper* sp. (Piperaceae)
- *Priva lappulacea* (Verbenaceae)
- *Vismia* sp. (Clusiaceae)
- *Dioscorea* sp. (Dioscoreaceae)
- *Ipomoea batatoides* (Convolvulaceae) (McKamey pers. comm.)

(Flynn, 2018)

Estas plantas hospederas están ampliamente distribuidas en regiones tropicales y subtropicales, lo que sugiere que la presencia de *C. apicalis* puede estar relacionada con la disponibilidad de estas plantas en su hábitat.

Basándonos en la información proporcionada, podemos formular la siguiente hipótesis de distribución para *Cladonota apicalis*: Se espera que la distribución de *C. apicalis* se superponga con la distribución geográfica de las plantas hospederas mencionadas. Dado que estas plantas se encuentran principalmente en climas tropicales y subtropicales, es razonable suponer que la especie *C. apicalis* estará presente en regiones con estas condiciones climáticas en el neotrópico.

Esta hipótesis se basa en la especialización de los insectos hemípteros del género *C. apicalis* en alimentarse de fluidos del floema y xilema de las plantas (Rodríguez Juárez & Pinedo-Escatel, 2018) y en la disponibilidad de sus plantas hospederas en las regiones tropicales y subtropicales. Además, esta hipótesis es coherente con la información disponible en la base de datos de GBIF (GBIF Secretariat, 2022).

La distribución de *Cladonota apicalis* abarca desde México hasta Argentina, incluyendo el Caribe, y está relacionada con la presencia de plantas hospederas tropicales y subtropicales. Esta hipótesis de distribución se basa en evidencia científica y en la asociación de *C. apicalis* con las plantas mencionadas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la distribución de las especies puede estar sujeta a variaciones locales y factores ambientales específicos.

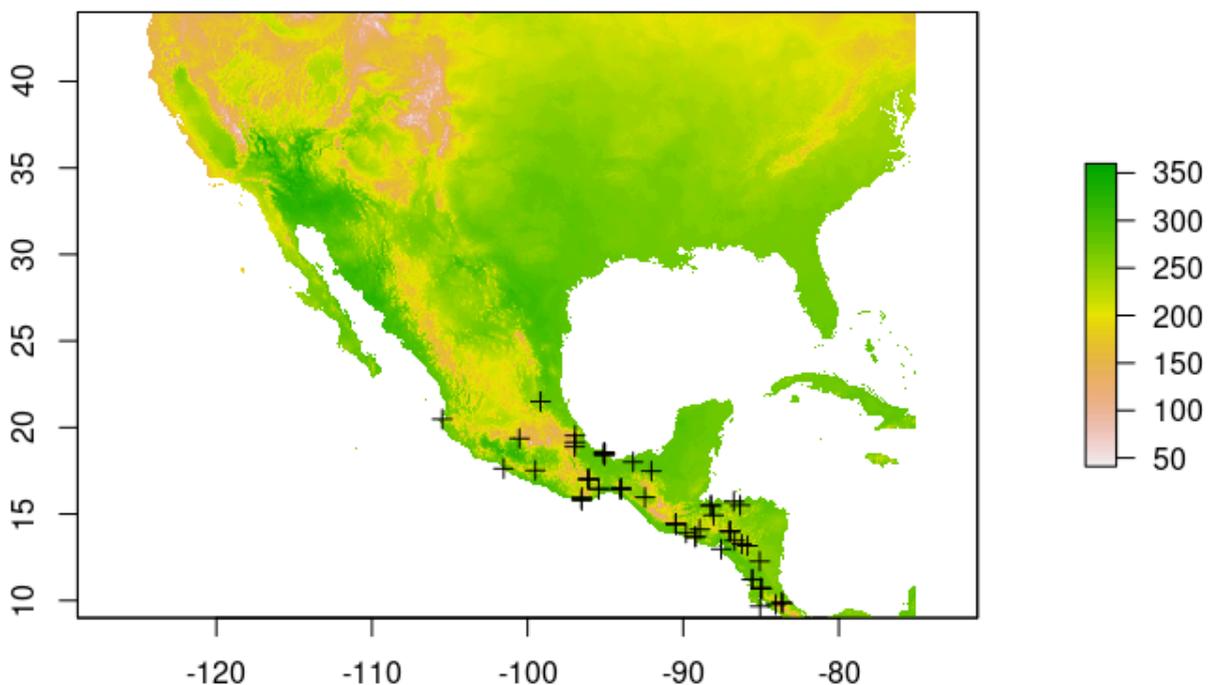
### **Descarga y análisis de los registros**

Se realizó una búsqueda para el taxón aceptado *Cladonota apicalis* Stål y procedí a descargar la base de datos correspondiente. Al principio, esta base de datos tenía 106 registros, pero realicé un filtro para eliminar aquellos que se encontraban fuera de la región Neotropical, así como los registros que carecían de coordenadas geográficas completas. Tras este primer paso de filtrado, obtuve una base de datos con 68 registros.

Posteriormente, usando RStudio, examiné la base de datos resultante a partir de las 19 variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim.org: BIO1 - Temperatura media anual, BIO2 - Rango de temperaturas diurnas, BIO3 - Isotermalidad (BIO2/BIO7) (\* 100), BIO4 - Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100), BIO5 - Temperatura máxima

del mes más cálido, BIO6 - Temperatura mínima del mes más frío, BIO7 - Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6), BIO8 - Temperatura media del trimestre más lluvioso, BIO9 - Temperatura media del trimestre más seco, BIO10 - Temperatura media del trimestre más cálido, BIO11 - Temperatura media del trimestre más frío, BIO12 - Precipitación anual, BIO13 - Precipitación del mes más lluvioso, BIO14 - Precipitación del mes más seco, BIO15 - Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación), BIO16 - Precipitación del trimestre más lluvioso, BIO17 - Precipitación del trimestre más seco, BIO18 - Precipitación del trimestre más cálido, BIO19 - Precipitación del trimestre más frío, y las variables Aspect (Orientación de la superficie), Elevat (Elevación), FlowAcc (Acumulación del flujo de agua), FlowDir (Dirección del flujo), Slope (Pendiente) y Toponoid (FlowDir+Aspect+Slope).

Se analizó la base de datos y se eliminaron los registros fuera de las capas bioclimáticas previamente mencionadas, para esto se utilizó la variable BIO10 y se obtuvo el siguiente mapa:



Como se puede observar hay más de un registro por pixel, esto es evidente por las cruces que tienen un color más oscuro, para abordar esto asigné valores únicos por píxel a cada registro en todas las capas bioclimáticas correspondientes. Luego, realicé un análisis manual en el programa Excel (2016) para identificar y eliminar aquellos registros que compartían el mismo valor de píxel en las capas bioclimáticas. Esto resultó en la retención de un único representante por píxel, evitando así el sobremuestreo de las zonas. Esta acción es crucial, ya que los análisis subsiguientes se verían distorsionados si algunas zonas tuvieran un mayor peso debido a la presencia de múltiples registros, lo que no reflejaría de manera precisa la realidad.

En este punto, la base de datos contiene únicamente 55 registros, que serán sometidos a un análisis detallado en el próximo paso.

## **Análisis de Inflación de Varianza**

El VIF (Factor de Inflación de la Varianza, por sus siglas en inglés "Variance Inflation Factor") es una medida que se utiliza en análisis de regresión para evaluar la severidad del efecto de la multicolinealidad en un modelo estadístico. La multicolinealidad se refiere a la presencia de alta correlación entre dos o más variables independientes en un modelo de regresión. Cuando existe multicolinealidad, las estimaciones de los coeficientes de regresión pueden volverse poco confiables y difíciles de interpretar (Guisan et al, 2017)

Para llevar a cabo el análisis de varianza, fue necesario estandarizar los datos con el fin de garantizar que todos los registros se considerarán equitativamente en el análisis. Esto era crucial debido a las diferentes escalas utilizadas en las distintas capas bioclimáticas, lo que podría haber introducido sesgos en el análisis. La estandarización de los datos se realizó mediante el comando "scale" en RStudio.

Una vez que los datos se encontraban estandarizados, se procedió a realizar el análisis de varianza sobre los 55 registros previamente mencionados utilizando RStudio. Durante este proceso, mediante un VIF de 10 el cual identifica un grado de colinealidad alto, se analizaron los datos a partir de las 19 variables bioclimáticas así como Aspect, Elevat, FlowAcc, FlowDir, Slope y Toponoid, resultando en que las siguientes variables explican la varianza y no tienen autocolinealidad:

	Variables	VIF
1	bio2	2.624031
2	bio3	5.102086
3	bio9	1.517760
4	bio10	5.797470
5	bio13	2.943489
6	bio15	5.476248
7	bio18	2.116610
8	bio19	7.132351
9	Topoind	1.295675

## **Análisis de Componentes Principales**

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales con el fin de evaluar la capacidad de las variables para explicar los datos y también para examinar la presencia de multicolinealidad, se realiza a partir de una matriz de correlación por el método de Spearman, la diferencia con el VIF es que esta lo hace en pares. En ella se realiza el cálculo de la matriz eigen, que en términos simples, se traduce como la representación de la información contenida en la matriz original mediante la multiplicación de valores (vectores) por una constante (valores).

A partir del PCA es posible analizar cuánta varianza explica cada una de las variables:

[1] 0.3559897 0.5650673 0.7155474 0.8188349 0.8975544 0.9472048 0.9838110

[8] 0.9952836 1.0000000

Podemos observar que el primer componente explica el 35.59% de la varianza, el segundo el 56.6% y el tercero el 71.55% de la varianza total.

### Comunalidades

Posteriormente se calcularon las comunalidades, que representan la cantidad de variabilidad que cada variable tiene, considerando su relación con todas las demás variables:

	BIO 2	BIO 3	BIO 9	BIO 10	BIO 13	BIO 15	BIO 18	BIO 19	Topoind
BIO 2	0.6015	0.0154	0.0001	0.1197	0.0033	0.0050	<b>0.2903</b>	0.0584	0.0010
BIO 3	0.1973	0.6067	0.0095	0.0387	0.1028	0.0971	0.0157	0.1485	0.0730
BIO 9	0.0708	0.0014	0.5107	<b>0.3522</b>	0.0564	0.0953	0.0012	0.0394	0.0482
BIO 10	0.0045	<b>0.9031</b>	0.0964	0.0236	0.1254	0.0129	0.0002	0.0067	0.0377
BIO 13	0.5399	0.0737	0.0023	0.2142	0.0522	<b>0.1563</b>	0.0213	<b>0.2619</b>	0.0004
BIO 15	0.6666	0.0489	0.0056	0.1245	0.0000	0.0202	0.0825	0.0058	0.0781
BIO 18	0.2312	0.2868	0.1692	0.1777	0.0336	0.1042	0.0156	0.1362	0.0000
BIO 19	<b>0.7351</b>	0.0778	0.1400	0.0075	0.0358	0.0051	0.0590	0.0240	0.0724
Topoind	0.0001	0.0067	<b>0.5277</b>	0.0089	<b>0.5866</b>	0.0068	0.0058	0.0249	<b>0.1103</b>

El análisis de correlación entre las variables bioclimáticas revela relaciones significativas dentro del contexto de *C. apicalis*. La variable BIO2, que representa el rango diurno medio de temperatura, muestra una asociación notable con BIO19, la precipitación del trimestre más frío. Esta relación podría indicar una influencia de la variación en los patrones de temperatura durante el día en relación con la precipitación durante los períodos más fríos en el hábitat de esta especie.

Asimismo, la variable BIO3, relacionada con la isotermaidad, muestra una conexión destacada con BIO10, la temperatura media del trimestre más cálido. Este hallazgo sugiere una posible influencia de la uniformidad térmica en el período más cálido en la adaptación y distribución de *C. apicalis*.

Se observa una relación recíproca entre BIO9, que representa la temperatura media del trimestre más seco, y la altitud topográfica (topoind). Esta asociación puede indicar la influencia mutua entre la temperatura y la altitud en la distribución y adaptabilidad de esta especie.

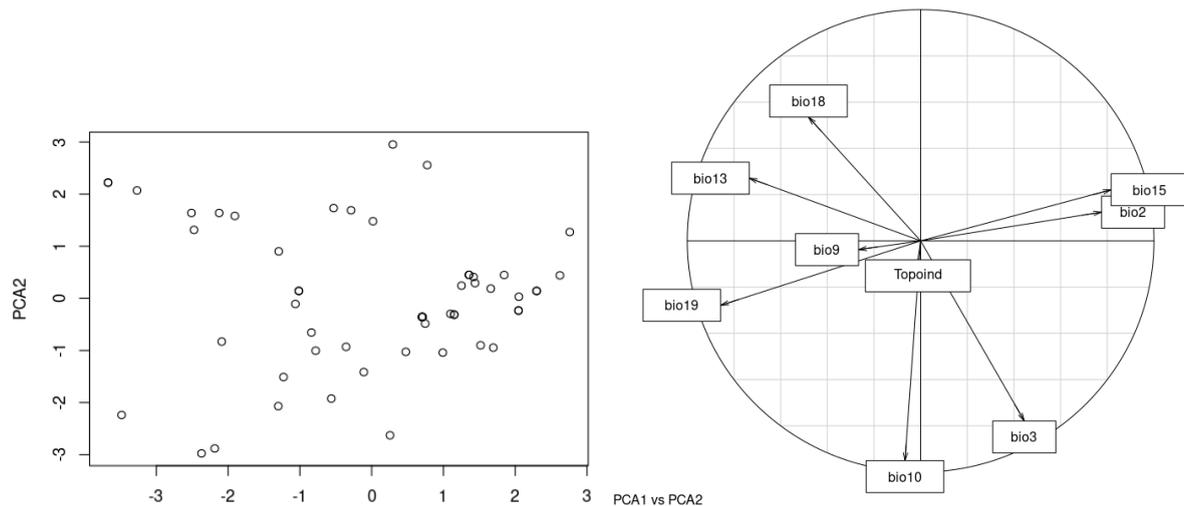
Además, se identifica una asociación entre BIO13, la precipitación del mes más húmedo, y topoind, sugiriendo una influencia de la precipitación en relación con la altitud en el hábitat de *C. apicalis*.

La relación entre BIO15, que representa la estacionalidad de la precipitación, y BIO13, la precipitación del mes más húmedo, resalta la importancia de la variabilidad estacional en las condiciones de precipitación en el entorno de esta especie.

La vinculación entre BIO18, la precipitación del trimestre más cálido, y BIO2, el rango diario medio, puede indicar una relación entre la cantidad de precipitación durante el período más cálido y la variación en el rango de temperatura diaria.

Por último, la conexión entre BIO19, la precipitación del trimestre más frío, y BIO13, la precipitación del mes más húmedo, resalta la interrelación entre la precipitación en diferentes períodos estacionales en el hábitat de *C. apicalis*.

Estos hallazgos ofrecen una visión más detallada de cómo las variables bioclimáticas podrían estar interconectadas en el hábitat de *C. apicalis*, lo que posiblemente influye en su distribución y adaptación.

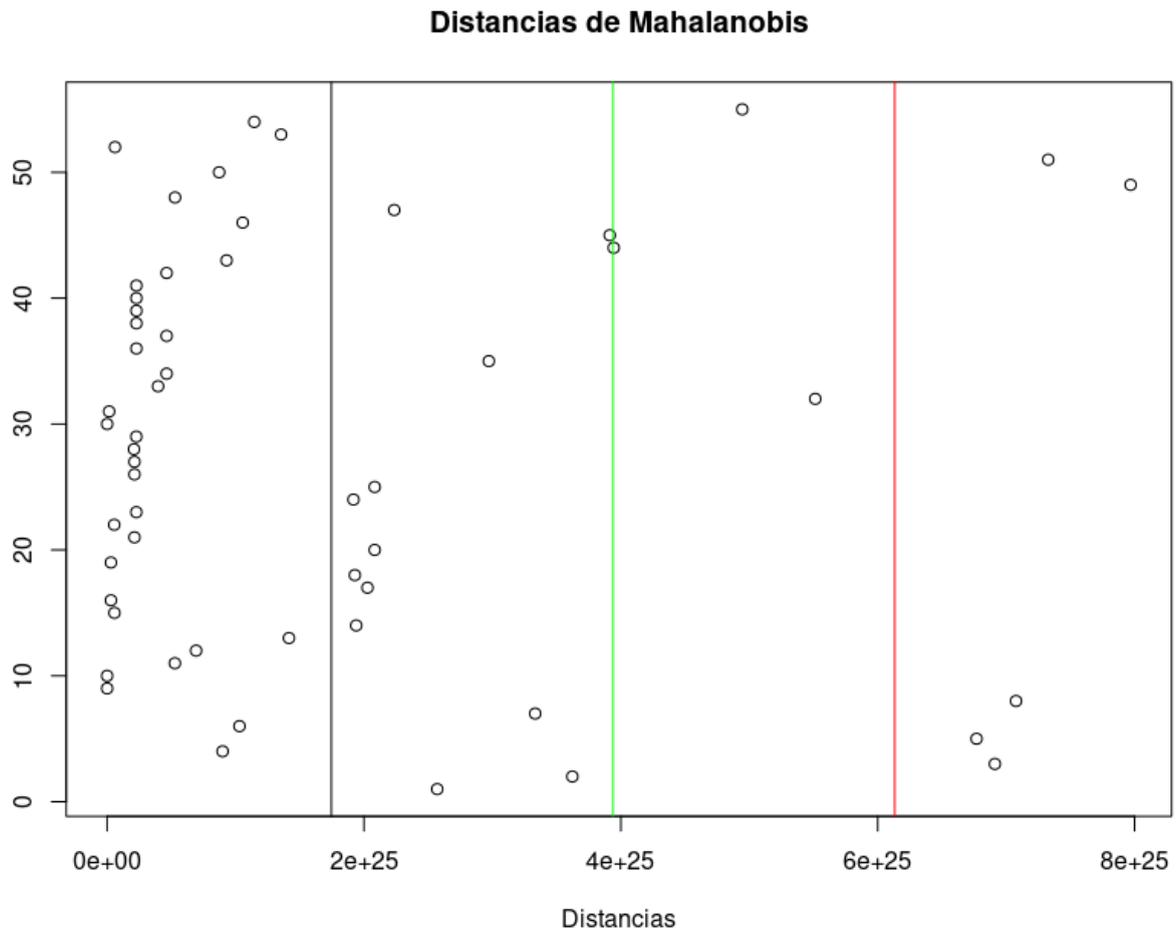


La distribución geográfica de *C. apicalis apicalis* parece estar íntimamente ligada a la presencia de sus plantas hospederas, las cuales se encuentran mayormente en regiones tropicales y subtropicales. Dado que esta especie de insecto ha sido documentada desde México hasta Argentina, incluyendo el Caribe, su presencia parece estar relacionada con condiciones climáticas tropicales y subtropicales.

Las variables climáticas que podrían influir en la presencia de *Cladonota apicalis* podrían ser Bio2 (Rango Diurno Medio), Bio10 (Temperatura Media del Trimestre más Cálido), Bio13 (Precipitación del Mes más Húmedo), Bio15 (Estacionalidad de Precipitación), Bio18 y Bio19 (Precipitación del Trimestre más Cálido y más Frío respectivamente). Estas variables podrían estar asociadas con la disponibilidad y crecimiento de las plantas hospederas, ya que las condiciones de temperatura y precipitación son factores fundamentales para su desarrollo.

La adaptabilidad de *Cladonota apicalis* a una amplia gama de condiciones climáticas dentro del neotrópico puede explicarse por su capacidad para aprovechar la variedad de plantas hospederas presentes en diferentes áreas. No obstante, se requieren más investigaciones para comprender completamente cómo las variables climáticas específicas pueden influir en la distribución precisa de esta especie.

## Distancias de Mahalanobis



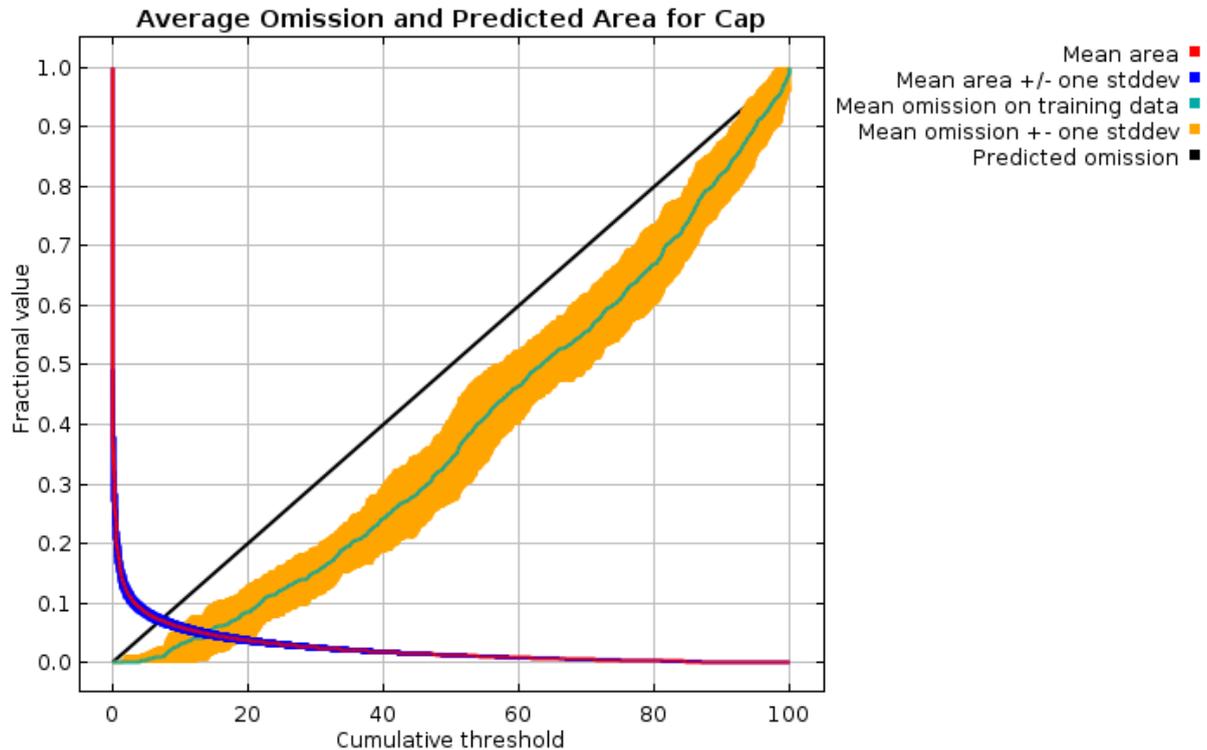
El análisis de las distancias de Mahalanobis es una herramienta crucial para identificar puntos atípicos o potencialmente anómalos en un conjunto de datos multivariados. Al graficar la media de los datos en negro, la primera desviación estándar en verde y la segunda en rojo, se revela una distribución general de los datos. Aquellos puntos que se sitúan más allá de dos desviaciones estándar, como los datos con ID 3, 5, 8, 49 y 51, muestran una distancia significativa del centro de esta distribución multivariada.

La superación de las dos desviaciones estándar por estos puntos específicos sugiere que estos datos se apartan considerablemente de la tendencia general de la muestra. Es importante resaltar que esta discrepancia puede indicar la presencia de información inusual o excepcional en relación con las variables analizadas. Estos puntos pueden considerarse atípicos debido a su significativa divergencia del comportamiento típico de los demás datos.

En el contexto del análisis, estos valores atípicos, identificados a través de las distancias de Mahalanobis, podrían representar observaciones poco comunes o excepcionales dentro del conjunto de datos. Su presencia podría tener un impacto significativo en los resultados del análisis, ya que estos puntos podrían influir de manera desproporcionada en las conclusiones extraídas a partir de los datos.

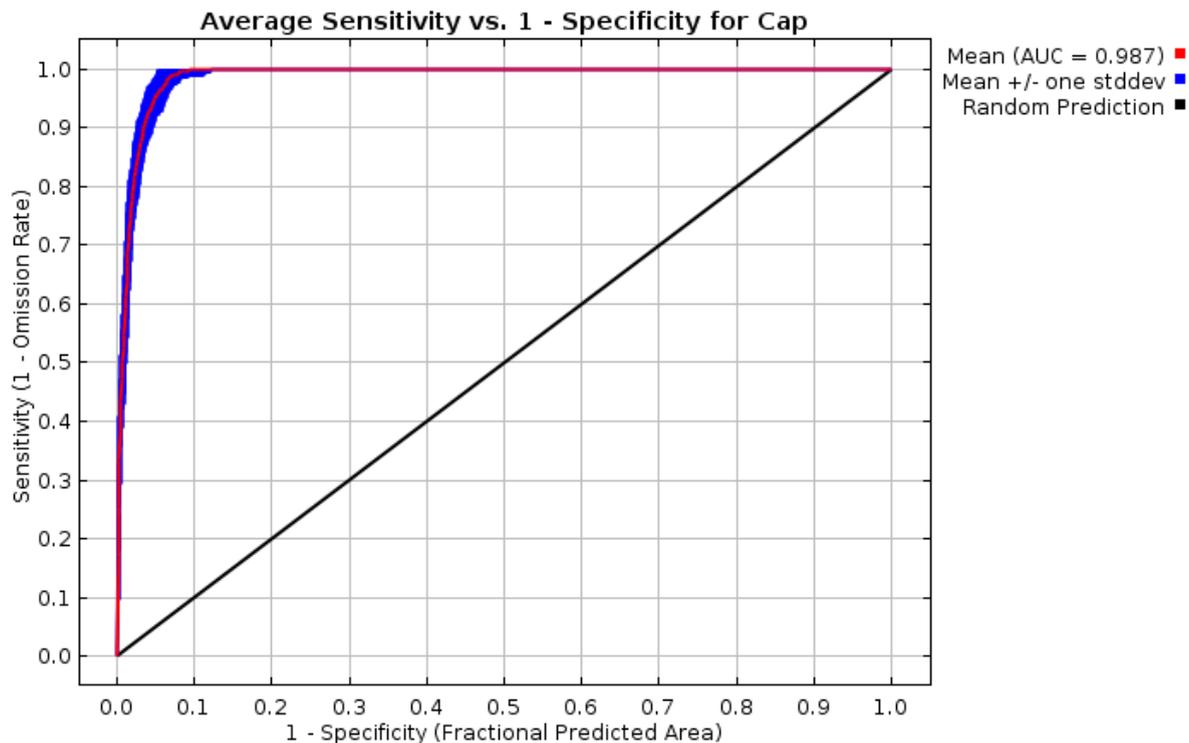
Por tanto, la identificación y consideración de estos puntos atípicos son cruciales para comprender la verdadera naturaleza y variabilidad de los datos analizados. Se recomienda realizar un examen más detallado de estos puntos para determinar la causa de su comportamiento inusual y evaluar si deben ser tratados de manera diferenciada en el análisis subsiguiente.

### Análisis en MAXENT



Esta imagen muestra la relación entre la tasa de omisión en el entrenamiento y el área predicha en función del umbral acumulativo, promediado a lo largo de múltiples ejecuciones replicadas.

La disposición de los datos de presencia de *C. apicalis* por debajo del umbral de omisión predicha en el modelado del nicho ecológico sugiere que el modelo tiende a identificar correctamente la presencia de esta especie en las condiciones ambientales evaluadas. Esta colocación de los datos de presencia indica una concordancia positiva entre las condiciones ambientales estimadas por el modelo y los sitios donde se ha registrado la presencia de *C. apicalis*.

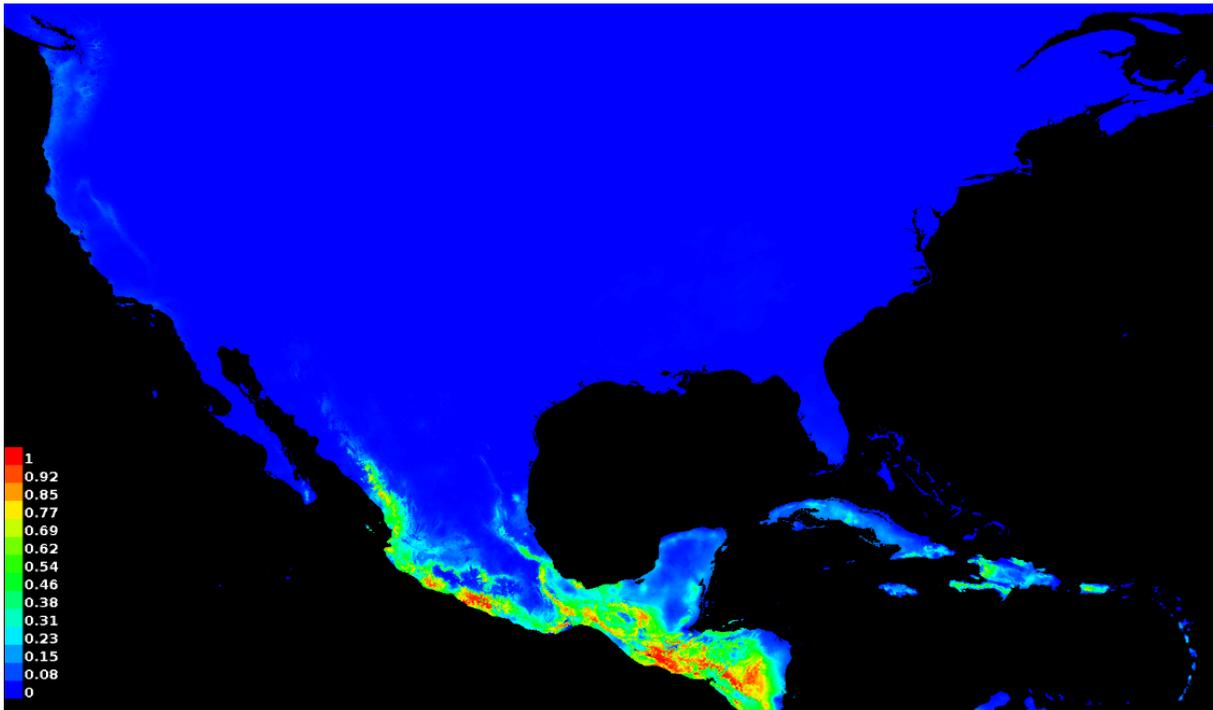


La imagen anterior es la curva característica de operación del receptor (ROC) para los datos de distribución de *Cladonto*. Es importante señalar que la especificidad se define utilizando el área predicha en lugar de la comisión verdadera. El AUC promedio en el entrenamiento para las ejecuciones replicadas es de 0.987, con una desviación estándar de 0.003.

La curva ROC representa la relación entre la sensibilidad y la especificidad del modelo en diferentes puntos de corte o umbrales. En este caso, la especificidad se define en función del área predicha en lugar de la comisión real, es decir la sobrepredicción. La sensibilidad mide la capacidad del modelo para identificar correctamente las presencias, mientras que la especificidad indica su capacidad para identificar correctamente las ausencias.

En términos más simples, esta curva permite evaluar el rendimiento del modelo al encontrar un equilibrio entre minimizar la comisión (sobrepredicción) y maximizar la sensibilidad (correcta identificación de presencias).

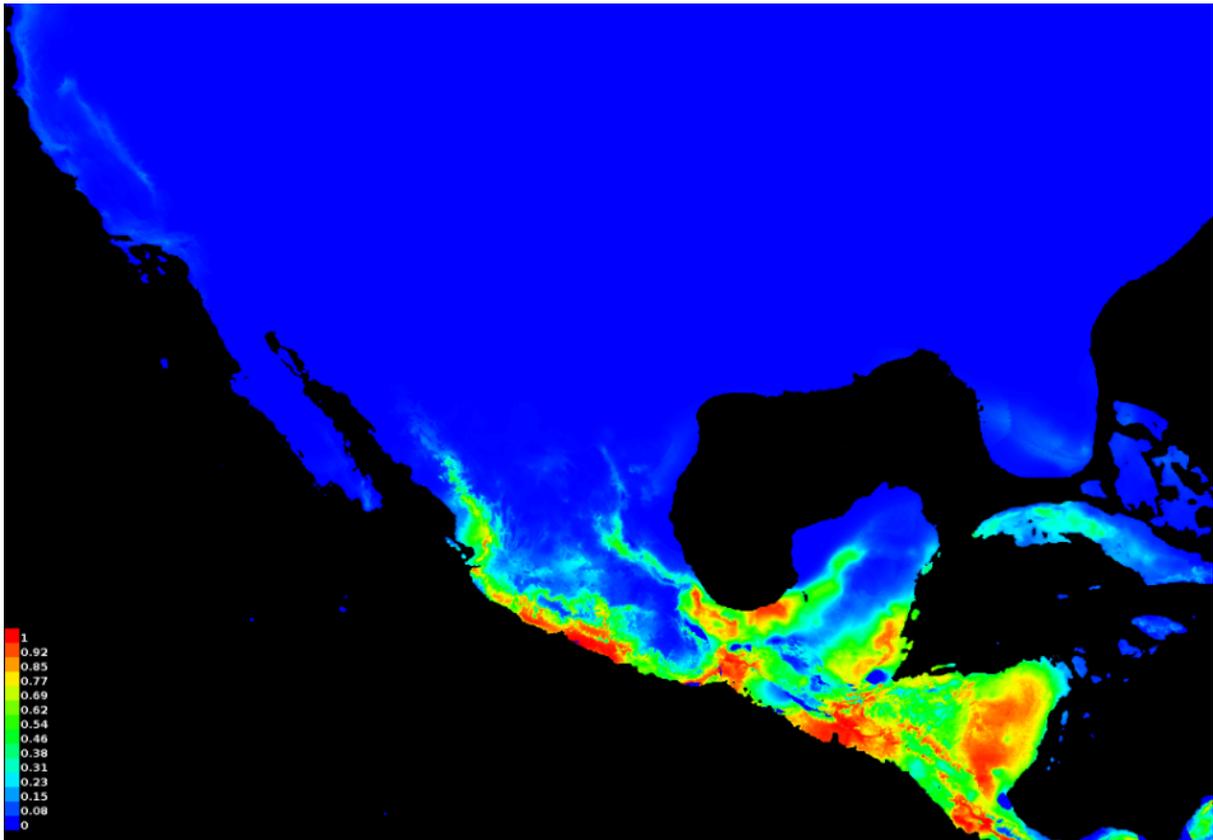
El valor del área bajo la curva (AUC) es un indicador clave de la precisión del modelo: mientras más cercano esté a 1, mayor será la capacidad del modelo para distinguir entre presencia y ausencia, lo que sugiere un mejor rendimiento predictivo, en este caso el valor de AUC lo que nos indica que el modelo funciona bien para poder mapear los lugares donde la probabilidad de que *C. apicalis* se encuentra distribuido, esto respecto a las variables bioclimáticas que al juntarse dan las condiciones adecuadas para la presencia y desarrollo de *C. apicalis*.



La distribución de la probabilidad de encontrar *C. apicalis*, modelada a partir de las variables bioclimáticas que mencionaste previamente, revela un patrón distintivo en México. Principalmente, se concentra en la zona de transición mexicana y en la región biogeográfica neotropical que abarca México, Centroamérica y el Caribe. En estas áreas, se observa una mayor probabilidad de encontrar esta especie en los hábitats mapeados.

Esta distribución geográfica de la zona de transición mexicana y la región neotropical sugiere una asociación directa entre las condiciones ambientales representadas por las variables bioclimáticas y la presencia de *C. apicalis*. Las variables como el rango diurno medio (BIO2), la temperatura media del trimestre más cálido (BIO10), la precipitación del mes más húmedo (BIO13), entre otras que fueron utilizadas en el modelado, desempeñan un papel crucial en la determinación y delimitación del hábitat adecuado para esta especie.

En particular, las áreas costeras en México, Centroamérica y el Caribe parecen ser puntos clave de concentración para la presencia de *C. apicalis*, lo que podría estar influenciado por las condiciones específicas de estas zonas en términos de las variables bioclimáticas analizadas. Por ejemplo, la temperatura media del trimestre más cálido (BIO10) y la precipitación del mes más húmedo (BIO13) podrían ser factores determinantes en la selección de hábitats adecuados para esta especie en las regiones costeras.

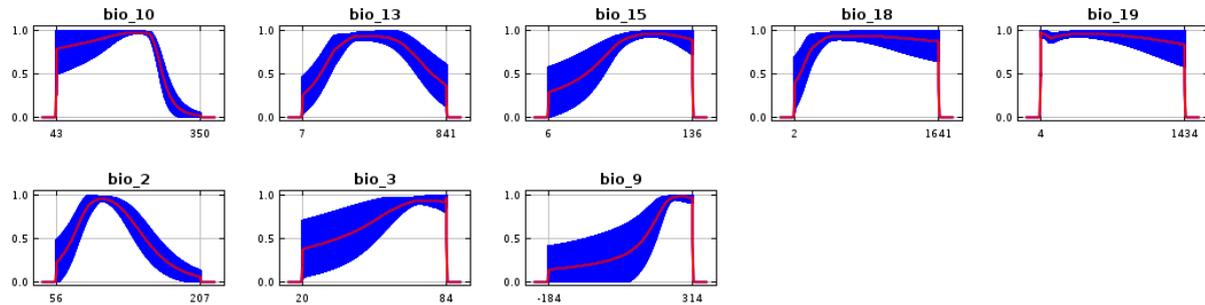


En el modelado de nicho, se crearon mapas utilizando capas del pasado que revelan una mayor concentración en el mapa de calor de la probabilidad de encontrar *C. apicalis*. Asimismo, se observa una expansión más significativa hacia la zona paleártica.

Los mapas generados a partir de capas históricas mantienen el patrón predominante de alta probabilidad de encontrar *C. apicalis* en la zona de transición y neotropical de México, el Caribe y Centroamérica. Específicamente, estas áreas, especialmente las zonas costeras, mantienen una alta probabilidad de albergar a *C. apicalis* basada en el conjunto de variables bioclimáticas consideradas.

Aunque se observa una mayor colonización o expansión hacia la región paleártica en los mapas históricos, este movimiento no sugiere una disminución en la probabilidad de encontrar *C. apicalis* en las áreas identificadas como más habituales para esta especie. En cambio, resalta la capacidad de adaptación o movilidad histórica de *C. apicalis* hacia nuevas áreas, manteniendo aún su preferencia por la zona de transición mexicana y neotropical en México, el Caribe y Centroamérica como hábitat principal.

Las siguientes curvas brindan información sobre cómo cada variable bioclimática individual influye en la probabilidad de presencia de *C. apicalis*.



BIO2 (Rango diurno medio): *C. apicalis* muestra una respuesta en forma de meseta en valores previos a la media del rango diurno. La probabilidad de presencia aumenta, se mantiene estable en un rango y luego disminuye a medida que el rango diurno se aleja de la media.

BIO3 (Isotermicidad): La probabilidad de presencia de *C. apicalis* es baja para valores bajos de isotermicidad. A medida que aumenta la isotermicidad, la probabilidad de presencia también aumenta, mostrando un incremento significativo en la respuesta a medida que los valores de esta variable se elevan.

BIO9 (Temperatura media del trimestre más seco): Al igual que con BIO3, la probabilidad de presencia de *C. apicalis* es baja para valores bajos de temperatura media en el trimestre más seco. Sin embargo, a medida que la temperatura en este trimestre se incrementa, la probabilidad de presencia de *Cladonota* también aumenta, mostrando una respuesta creciente a medida que los valores de esta variable aumentan.

BIO10 (Temperatura media del trimestre más cálido): *C. apicalis* tiene una alta probabilidad de presencia cuando los niveles de esta variable son bajos. A medida que aumenta la temperatura en este trimestre, la probabilidad de presencia de *C. apicalis* disminuye.

BIO13 (Precipitación del mes más húmedo): La probabilidad de presencia de *C. apicalis* es baja tanto para valores altos como bajos de precipitación en el mes más húmedo. Sin embargo, mantiene una probabilidad media estable en valores intermedios de precipitación.

BIO15 (Estacionalidad de la precipitación): La probabilidad de presencia de *C. apicalis* es baja en valores bajos y altos de estacionalidad de la precipitación, pero aumenta en valores medios.

BIO18 (Precipitación del trimestre más cálido): La probabilidad de presencia de *C. apicalis* es baja para valores bajos de precipitación en el trimestre cálido. A medida que aumenta la precipitación, la probabilidad de presencia también aumenta y se mantiene estable.

BIO19 (Precipitación del trimestre más frío): La probabilidad de presencia de *C. apicalis* se mantiene relativamente estable, pero aumenta la variabilidad (desviación estándar) de la

respuesta a valores altos de precipitación en el trimestre frío. Esto podría indicar que su presencia es menos predecible o más variable en estas condiciones.

Los siguientes porcentajes representan la contribución de cada variable al modelo de predicción de la presencia de *Cladonota*, lo que indica la importancia relativa de cada una en la capacidad del modelo para predecir su presencia.

<b>Variable</b>	<b>Percent contribution</b>
bio_3	47.8
bio_13	35.9
bio_10	5.4
bio_2	4.7
bio_15	2.9
bio_19	1.5
bio_9	1.1
bio_18	0.7

BIO3 (Isotermicidad): Contribuye significativamente con un 47.8% a la capacidad del modelo para predecir la presencia de *Cladonota*. Es la variable más influyente en el modelo.

BIO13 (Precipitación del mes más húmedo): Contribuye con un 35.9% a la predicción de la presencia de *Cladonota*, siendo la segunda variable más importante en el modelo.

BIO10 (Temperatura media del trimestre más cálido): Contribuye con un 5.4% a la capacidad predictiva del modelo.

BIO2 (Rango diurno medio): Representa el 4.7% de la contribución al modelo.

BIO15 (Estacionalidad de la precipitación): Contribuye con un 2.9%.

BIO19 (Precipitación del trimestre más frío): Su contribución al modelo es del 1.5%.

BIO9 (Temperatura media del trimestre más seco): Representa un 1.1% de la contribución al modelo.

BIO18 (Precipitación del trimestre más cálido): Tiene la menor contribución al modelo, con un 0.7%.

Estos porcentajes indican qué variables son más influyentes en la predicción de la presencia de *Cladonota* según el modelo, otorgando mayor peso a BIO3 (Isotermicidad) y BIO13 (Precipitación del mes más húmedo) como las variables más relevantes para la predicción.

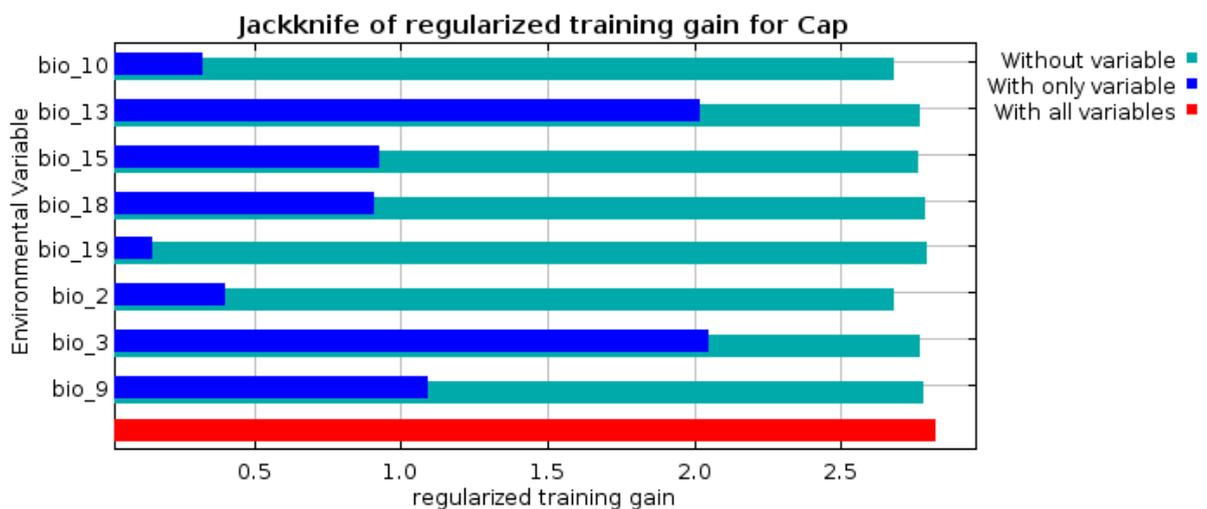
Aunque algunas variables pueden mostrar multicolinealidad (mayores VIF), su contribución al modelo puede variar. Mientras que algunas variables con alto VIF aún tienen una contribución significativa, otras con VIF bajo tienen una contribución menor al modelo de predicción de la presencia de Cladonota, es importante resaltar que por ejemplo, BIO3 muestra un VIF de 5.102, indicando una moderada multicolinealidad. Sin embargo, esta variable tiene una contribución sustancial al modelo (47.8%), lo que sugiere que, a pesar de la multicolinealidad, su impacto en la predicción es significativo.

Por otro lado, BIO9 exhibe un VIF bajo de 1.518, lo que indica una baja multicolinealidad. No obstante, su contribución al modelo es relativamente baja (1.1%). A pesar de su baja multicolinealidad, parece tener un impacto menor en la predicción.

En contraste, BIO10 tiene un VIF alto de 5.797, señalando una mayor multicolinealidad. A pesar de esto, su contribución al modelo es relativamente baja (5.4%). Esto sugiere que, a pesar de su influencia redundante con otras variables, su contribución al modelo es menos significativa en comparación con variables con menor multicolinealidad.

Por último, BIO13 tiene un VIF moderado de 2.943. Aunque muestra cierta multicolinealidad, su contribución al modelo es considerable (35.9%), lo que indica que su influencia en la predicción es relevante a pesar de la multicolinealidad detectada.

En la siguiente gráfica se puede observar la importancia de cada variable y el comportamiento del modelo dependiendo si solo se toma en cuenta una de las variables y cómo se comporta con las demás menos una de ellas.



En el análisis se evidencia que BIO3 (Isotermicidad) y BIO13 (Precipitación del mes más húmedo) sobresalen como las variables más influyentes individualmente en el modelo. Estas variables tienen un impacto considerable por sí mismas en la explicación del modelo. BIO3 representa la uniformidad de la temperatura a lo largo del año, indicando la estabilidad térmica en un área determinada, mientras que BIO13 describe la cantidad de precipitación durante el mes más húmedo, siendo crucial para la disponibilidad de agua y la vegetación.

Sin embargo, su exclusión no genera un cambio sustancial en la capacidad general del modelo para explicar la distribución de *Cladonota*. Aunque son informativas de manera independiente, su ausencia no afecta significativamente la capacidad global del modelo para predecir la presencia de la especie.

Por otro lado, BIO2 (Rango diurno medio), a pesar de explicar solo el 4.7% del modelo, muestra ser crucial para el modelo en conjunto. Esta variable representa la diferencia entre la temperatura máxima y mínima promedio diaria, ofreciendo información sobre la variabilidad térmica diaria en una región. Al eliminar esta variable, se observa una reducción notable en la capacidad del modelo para explicar la distribución de *Cladonota*. Aunque su contribución individual parece ser baja, su exclusión genera un decremento significativo en la capacidad del modelo, sugiriendo que aporta información única que es fundamental para comprender la distribución de esta especie.

## CONCLUSIÓN

En el modelado de nicho ecológico realizado para predecir la distribución de *C. apicalis*, se identificaron variables bioclimáticas clave que influyen en su presencia. Variables como la isothermicidad (BIO3), la precipitación del mes más húmedo (BIO13) y el rango diurno medio (BIO2) mostraron diferentes niveles de contribución al modelo.

Se evidenció que BIO3 y BIO13, aunque son importantes individualmente, su exclusión no afectó significativamente la capacidad general del modelo para predecir la distribución de *Cladonota*. Mientras tanto, a pesar de tener una contribución aparentemente menor, BIO2 resultó esencial para el modelo en su conjunto, demostrando su impacto significativo en la capacidad predictiva del modelo.

La combinación de estas variables bioclimáticas proporcionó una visión detallada de los factores ambientales que influyen en la distribución de *C. apicalis*. La predicción del modelo resaltó áreas específicas de alta probabilidad de presencia de la especie, particularmente en las zonas de transición mexicana y en la región biogeográfica neotropical.

Este estudio ofrece información valiosa sobre cómo las variables ambientales afectan la distribución de *C. apicalis*, permitiendo comprender mejor los factores que impulsan la presencia de la especie, lo que puede ser fundamental para su conservación y manejo en su hábitat natural.

## REFERENCIAS

- Cladonota Stål, 1869 in GBIF Secretariat (2022). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2023-08-28.
- Flynn, D. J. (2018). Review of the Genus Cladonota Stål (Hemiptera: Membracidae: Membracinae: Hypsoprorini) with Keys, Illustrations of Adults, and Known Nymphs, and Description of a New Species from Costa Rica. I. Introduction and Subgenus Falculifera McKamey. Proceedings of the Entomological Society of Washington, 120(4), 725. <https://doi.org/10.4289/0013-8797.120.4.725>
- Flynn, D. J. (2019). Review of the Genus Cladonota Stål with Keys, Illustrations of Adults, and Description of a New Species from Ecuador (Hemiptera: Membracidae: Membracinae: Hypsoprorini). Ii. Subgenus Cladonota Stål. Proceedings of the Entomological Society of Washington, 121(3), 405. <https://doi.org/10.4289/0013-8797.121.3.405>
- GBIF.org (09 October 2023) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.nsanw5>
- Guisan, Antoine & Thuiller, Wilfried & Zimmermann, Niklaus. (2017). Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R. 10.1017/9781139028271.
- Rodríguez Juárez, J., & Pinedo-Escatel, J. A. (2018). Sinopsis de membrácidos (Hemiptera: Membracidae) en México y su distribución en el país.