



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

ANÁLISIS DEL DISTURBIO EN LA SIERRA DEL AJUSCO Y SU
EFECTO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE UNA POBLACIÓN DE
Crotalus transversus.

TESIS

Que para obtener el título de:

BIÓLOGO

Presenta:

José Luis Mohzo Casillas

Director de tesis:

Dr. Hibraim Adán Pérez Mendoza



Los Reyes Iztacala, Estado de México, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

*"Sólo después de que el último árbol haya sido cortado,
Sólo después de que el último río haya sido envenenado,
Sólo después de que el último pez haya sido pescado,
Sólo entonces descubrirás que el dinero no se puede comer."*

Proverbio Cree

Agradecimientos personales

A mi abuela Oliva, que ya no logró ver mi sueño realizado, pero me motivó siempre a ser mejor persona y me apoyó desde siempre, y que, gracias a que compartía conmigo el amor y la curiosidad por la naturaleza, siempre tuve con quién hablar sobre biología.

A mi madre Irene, que siempre me apoyó en mis decisiones, por escucharme, por la paciencia que ha tenido y por motivarme a hacer lo que más me guste.

A mis hermanas, Michelle y Natalia, por el apoyo y por escucharme cuando las necesité, por demostrarme el valor del trabajo duro y que cuando te propones algo lo puedes lograr.

A mis tíos Martín y Jovita a los que les estaré eternamente agradecido por sus consejos, apoyo y comprensión.

A mi tío Toño, por siempre escuchar y brindarme sus mejores consejos.

Y en general a toda mi familia, que sé que me faltan muchos y que por espacio no podré mencionar pero que saben que agradezco sus consejos y que sin su apoyo no sería quien soy ahora.

A mi director de tesis Hibrain, por las enseñanzas, el apoyo, la paciencia, la amistad y los consejos personales y profesionales que me brindó a lo largo de este proceso.

A mis compañeros de generación Mayra, Mariana (Kika), Aline, Giovanni, Fernanda (Monkey) y Daniel, que me acompañaron a campo, y que, de no ser por ellos, igual habría terminado pero me hubiera tardado más (ja ja ja).

Índice

1. Resumen.....	6
2. Introducción.....	7
3. Objetivo general.....	12
3.1. Objetivos particulares.....	12
4. Materiales y métodos.....	13
4.1. Especie de estudio.....	13
4.2. Sitio de estudio.....	14
4.3. Métodos de campo.....	14
4.3.1. Análisis de disturbio.....	15
4.3.2. Distribución potencial.....	16
5. Resultados.....	19
5.1. Estructura poblacional.....	19
5.2. Análisis de disturbio.....	20
5.3. Distribución potencial con MaxEnt.....	23
6. Discusión.....	47
7. Conclusiones.....	52
8. Bibliografía.....	53
9. Anexo.....	59

Resumen

La caída de árboles, inundaciones y huracanes son alteraciones naturales en las que hay pérdida de fauna, sin embargo, el mayor peligro para la biodiversidad es el disturbio causado por el hombre como la pérdida y fragmentación de hábitat. Uno de los grupos más afectados es la herpetofauna, principalmente las serpientes, puesto que, son de movilidad más restringida, además de la gran cantidad de mitos que existen alrededor de este grupo en particular, y que, gracias a esto son sistemáticamente asesinadas por temor o por tradición. Además la información sobre este grupo es muy limitada en muchas especies, por ejemplo, *C. transversus*. Por tal motivo es necesario conocer el grado de impacto que tiene el hombre sobre la fauna silvestre y las variables ambientales que juegan un papel importante para el establecimiento de la misma. En este trabajo analizamos el grado de disturbio ocasionado por el hombre en una pequeña porción del Parque Nacional Cumbres del Ajusco y su efecto sobre una población de *C. transversus*, además realizamos un análisis de distribución potencial con el programa MaxEnt usando variables de terreno (LiDAR) y variables bioclimáticas, para tener un panorama más claro del área total habitable por esta especie. Se realizó un análisis de disturbio para caracterizar el área en función del grado de disturbio, todos los individuos se marcaron, pesaron y midieron. Obtuvimos un total de 15 individuos marcados y un esfuerzo de muestreo de 140 horas hombre/mes. Nuestros resultados sugieren cierta afinidad de las serpientes a zonas perturbadas posiblemente por la presencia del recurso alimenticio en este caso lagartijas del género *Sceloporus*. En nuestro mapa de distribución potencial obtuvimos un área con las condiciones mínimas de supervivencia aproximada de 179 km² para variables de terreno y 246 km² para variables bioclimáticas, lo que supone un área menor a la propuesta por CONABIO. Concluimos que aún falta mucho por estudiar no solo en esta especie, si no, en varias que aún permanecen desconocidas. La falta de cartografía a alta resolución conlleva a un análisis poco preciso del estatus actual de una especie y por tanto a una sobreestimación de su distribución potencial, posiblemente enmascarando su estado de conservación.

Introducción

Las perturbaciones naturales tales como caídas de árboles, inundaciones, huracanes e incendios son eventos normales en muchos ecosistemas. Estas perturbaciones dan lugar a cambios sucesivos en la estructura del territorio y a la generación de un paisaje heterogéneo (Hansson et al. 1995). Sin embargo, en años recientes ha quedado claro que la frecuencia de perturbación natural y la tasa de cambio climático son a menudo mucho más rápidas que las tasas de recuperación (Primack, 2014).

El mayor peligro para la diversidad biológica es el disturbio causado por el hombre como la pérdida de hábitat, la fragmentación y degradación del mismo (Primack, 2014), ya que esto puede ocasionar aislamiento de poblaciones, eliminando microhábitats necesarios para la reproducción, así como, modificar las interacciones entre especies de una comunidad (Connell, 1978).

Los cambios ocasionados por el desarrollo de actividades humanas se han visto reflejados en la reducción y deterioro del hábitat natural, y como consecuencia han impactado de manera sensible las poblaciones silvestres de todo el mundo (Schlaepfer et al. 2005). Una de las principales causas de pérdida de fauna es por atropellamiento en carreteras, ya que el comportamiento de la fauna aumenta la probabilidad de muerte por esta causa, por el desplazamiento de los animales para la búsqueda de alimento, apareamiento, comportamiento de escape o migración (Denim, 2005).

Uno de los grupos animales más afectados es el de los anfibios y reptiles, ya que a medida que va aumentando la población humana y los hábitats terrestres se contraen, las poblaciones de anfibios y reptiles se están reduciendo en todo el mundo (Gibbons et al. 2000). Dentro de los reptiles, las serpientes han sido uno de los grupos más afectados, ya que son organismos con movilidad limitada y otras características que las hacen vulnerables.

Una de las principales causas de declive de muchas especies de serpientes es la ofidiofobia, una de las zoofobias más comunes. A pesar de que en muchas culturas las serpientes han sido veneradas, en la mayoría simbolizan el mal o se consideran animales engañosos

(Fourcade, 2004). En la cultura prehispánica latinoamericana, las serpientes son temidas porque se cree que tienen la capacidad de alimentarse de la sangre y sentimientos humanos o de la leche de mujeres lactantes (Abarca, 2013). Quizás el ejemplo más evidente de la creencia de que las serpientes son malas, proviene de las religiones cristianas y el relato de la tentación en el Jardín del Edén, en el que Adán y Eva son tentados a consumir la fruta prohibida por una serpiente.

Debido a lo anterior, las serpientes han sido sistemáticamente asesinadas en diferentes partes del mundo y por diferentes métodos, por ejemplo, existen estudios que sugieren que el atropello de herpetofauna es intencional, principalmente por causar miedo en los conductores y representar un peligro para las vidas humanas (Secco et al. 2014). Por tal motivo, la muerte por atropellamiento se ha considerado también como una amenaza grave (Rosen y Lowe, 1994; Rudolph y Burgdorf, 1997)

Otro de los fenómenos sociales que más impactan a este grupo de reptiles, son los rodeos de serpientes (round-ups), uno de los más famosos se realiza anualmente en el condado de Nolan en Sweetwaters al oeste de Texas, E.U. en los cuales se ha llegado a registrar la muerte de hasta 18,000 serpientes en un solo evento de fin de semana (Weir, 1992). Está comprobado que estos eventos están relacionados con el declive de las poblaciones principalmente de *C. adamanteus* y *C. atrox*, y a su vez con el descenso en el tamaño promedio de los individuos (Means, 2008). Además, no solo se ven afectadas las especies de interés, también se ven afectadas otras especies de serpientes venenosas y no venenosas, por ejemplo: *Pituophis melanoleucus*, *Crotalus viridis* y *Arizona elegans* entre otras (Campbell et al. 1989).

Dentro de las serpientes presentes en México, el género *Crotalus*, es un grupo altamente representado ya que de las 37 especies conocidas, 34 se distribuyen en México y de las cuales 22 son endémicas. Estos organismos forman parte importante de las redes tróficas, ya que, al ser depredadores fungen un papel importante en el control biológico de sus presas, sin embargo, varias especies están fuertemente amenazadas (Campbell y Lamar, 2004). Una de las especies de víbora de cascabel menos conocida es *Crotalus transversus* (Taylor, 1944). Esta especie fue reportada por primera vez en la localidad de Tres Cumbres

cerca de Tres Marías en el estado de Morelos (Campbell, 1988). Las serpientes fueron encontradas en verano, en días con lluvia matinal o de un día anterior, y todas se encontraron en laderas orientadas al sur, y ninguna tomando el sol directo; desde su descubrimiento solo se tienen en colecciones 9 ejemplares registrados (Armstrong & Murphy, 1979). Sin embargo, es muy poca la información que se conoce al respecto, ya que no se tienen conocimiento de su historia natural (proporción sexual, edad a la madurez, selección sexual, distribución, abundancia, etc.)

Esta especie se encuentra actualmente enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2014 como especie en peligro de extinción. Sin embargo, existen contradicciones de acuerdo al estatus de preservación de esta especie, ya que en la lista roja de la IUCN se encuentra dentro de la categoría “preocupación menor” bajo el argumento de que, a pesar de tener una distribución restringida, se encuentran en áreas protegidas. Sin embargo, al permitirse actividades dentro de las áreas naturales protegidas en México y al ser una especie con una distribución restringida y que se ha reportado como naturalmente rara, es necesario evaluar el efecto del disturbio humano sobre esta especie. El Ajusco es una de las regiones sobre las que existe mayor presión de cambio de uso del suelo en la ciudad de México, donde la mancha urbana y las actividades productivas como el pastoreo de ganado y la tala clandestina generan condiciones poco favorables para los organismos que ahí habitan. Debido a la virtualmente inexistente información sobre la especie y que el hábitat en que se distribuye está cada vez más deteriorado, resulta urgente conocer el impacto que tienen las actividades humanas antes que desaparezca.

Para evaluar el estado de conservación existen diferentes métodos utilizados para asignar en alguna categoría de riesgo a las especies, con el fin de identificar a las especies prioritarias o en mayor peligro de extinguirse. El método más ampliamente usado en México es el método de evaluación del riesgo de extinción (MER), establecidos por la SEMARNAT en su Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), en donde determina que los criterios para decretar el estado de riesgo de una especie son: la amplitud de la distribución del taxón en México, estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón, vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón e impacto de la actividad humana sobre el taxón. Sin embargo, el estado de conservación reportado en la NOM-059 para muchas

especies es completamente subjetivo, ya que para la mayoría no se ha realizado el MER, por lo que se han basado en el juicio de los expertos para determinar dicho estado de conservación.

Adicionalmente al MER, Rabinowitz (1981) establece que se puede determinar el grado de rareza de una especie en 7 grados, a través de 3 variables: rango geográfico, especificidad del hábitat y tamaño de la población, aunque este método solo está descrito para especies vegetales. Es importante clasificar el tipo de rareza de las especies, ya que una especie puede volverse rara por diferentes causas, y por lo tanto las consecuencias evolutivas y ecológicas pueden ser igual de diversas (Rabinowitz, 1981), además la rareza es un claro indicio de extinción, por lo que los taxones raros son prioritarios para su conservación (Morrone, 2016).

La distribución o el rango geográfico es de suma importancia para determinar el estatus de conservación en una especie y así mismo su representatividad en un área determinada, sin embargo, son muy pocos los trabajos relacionados con la distribución del género *Crotalus* en México (Paredes-García et al. 2011). La distribución de los organismos se entiende mejor desde el punto de vista ecológico y biogeográfico (Ramírez et al. 2009). La distribución ecológica explica la abundancia de los individuos de una especie en un tiempo y lugar determinado, en diversas escalas espaciales (Whittaker, 1960). La biogeografía analiza los patrones de distribución de los organismos a una escala mayor, tomando en cuenta el punto de vista fisiográfico y ecológico (Morrone et al. 2008).

MaxEnt es un software utilizado para modelar los nichos de las especies y su distribución utilizando la técnica llamada máxima entropía. Este programa analiza un conjunto de variables ambientales y datos de presencia del organismo, el modelo extrapola la posible distribución del organismo a zonas donde no se ha reportado su presencia. Cualquier modelo predictivo de distribución potencial de especies está limitado porque no se conoce con certeza la distribución real de las especies (Paredes, 2011), aunado a esto se presenta la problemática de fiabilidad de los datos, es decir, que no sean representativos y/o que los datos no sean demasiado precisos (p. ejemplo: el proceso de georreferenciación sea erróneo o sitúe a la especie fuera de su hábitat nativo), este último punto es de suma importancia ya

que de ello, depende en gran medida, la aproximación de las predicciones a la realidad (Anderson et al. 2003).

Por lo tanto, es de suma importancia reconocer las variables ambientales que juegan un papel importante en la distribución de las serpientes, y entender el impacto que cada una de esas variables tiene sobre una población, por tal motivo en este trabajo se evaluará el grado de disturbio provocado por el hombre en una porción del Parque Nacional Cumbres del Ajusco y su efecto sobre la presencia o ausencia y densidad de especímenes en una población *C. transversus*. De igual manera es necesario conocer la distribución de una especie para tener un panorama mejor sobre su estatus de conservación, sobre todo siendo una especie tan poco estudiada como esta, por lo que se hace más evidente la necesidad de tener un mapa de distribución potencial con las escalas adecuadas para evitar sobreestimar el modelo. Finalmente, esta información permitirá analizar el estado de conservación de esta especie de forma sistemática, ya que su inclusión en los listados de riesgo se realizó bajo la opinión experta y no bajo los criterios establecidos por el método de evaluación de riesgo.

Objetivo general:

Evaluar el grado de disturbio provocado por el hombre en el cerro del Ajusco y su efecto sobre la presencia o ausencia de una población de *C. transversus* y calcular el área de distribución potencial a una escala microtopográfica.

Objetivos particulares:

- Analizar la asociación que tiene el grado de disturbio con la ausencia o presencia de *C. transversus*.
- Descargar una serie de capas de altitud a una escala microtopográfica obtenidas de INEGI, que nos permita realizar un análisis de distribución potencia.
- Modelar la distribución potencial utilizando el programa MaxEnt, las variables de terreno (altitud, orientación y pendiente) y variables bioclimáticas.
- Registrar las características de la población de *C. transversus* a partir de la talla, proporción sexual, peso y número total de organismos.

Materiales y métodos.

Especie de estudio

C. transversus es una víbora de cascabel que no supera los 465 mm de longitud total y una medida promedio al nacer de 150 mm (Klauber, 1972), esta pequeña serpiente de montaña se relaciona con el grupo *intermedius*, el cual se conforma de *C. pricei*, *C. tancitarensis* y *C. intermedius*, las especies en este grupo se definen por tener una cabeza pequeña y delgada, y 21 hileras de escamas dorsales en la parte media del cuerpo (Alvarado & Campbell, 2004). Se puede diferenciar de sus congéneres por: la presencia de ocho a diez escamas supralabiales (generalmente nueve), ocho a nueve escamas infralabiales (generalmente nueve); las escamas supralabiales tres, cuatro y cinco están en contacto con las suboculares, la foseta loreal no tiene contacto con ninguna supralabial y puede presentar de 35-47 franjas transversales café oscuras o negras (Campbell, 1988). Se encuentra en una pequeña porción de la Cordillera volcánica transversal, más en específico en la sierra del Ajusco al sur de la ciudad de México. Generalmente se encuentra en zonas con elevaciones entre 2,900 m.s.n.m. hasta los 3,300 m.s.n.m., pero recientemente fue reportada una población en el estado de México a 12 km del este de Jiquipilco con elevaciones de 3,000 m s.n.m. hasta los 3,600 m s.n.m. (Campbell y Lamar, 2004). Se establece en laderas volcánicas empinadas en áreas relativamente abiertas dominadas por el pino y pajonal, generalmente en laderas orientadas al sur (Armstrong & Murphy); el hábitat ocupado por esta especie ha sido considerado bosque boreal templado (Leopold, 1950).



Figura 1. Fotografía de *C. transversus* tomada in situ. [Fotografía de: José Luis Mohzo C.] (Ajusco. 2016)

Sitio de estudio

La sierra del Ajusco forma parte del Eje Volcánico Transversal y se localiza al sur de la Ciudad de México (19°12'39.28'' N y 99°15'32.23'' O), en ella se encuentra el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, decretado como Área Natural Protegida el 23/09/1936. Comprende un gradiente altitudinal que va desde los 2,900 m s.n.m. hasta los 3900 m s.n.m.; la vegetación en general son bosques mixtos de coníferas y pastizales de gramíneas amacolladas; la temperatura media anual varía entre 5°C y 12°C con una precipitación anual de 1,200 mm.

Métodos de campo

Se realizaron muestreos de junio del 2014 a diciembre del 2017, al inicio del proyecto se realizaron cuatro salidas por mes, saliendo una vez por semana. Sin embargo, el muestreo se modificó a una salida por mes durante cuatro días consecutivos por cuestiones logísticas y duplicando las horas de muestreo de cuatro por salida a ocho. El esfuerzo de muestreo fue de 28 hrs por mes con un promedio de cinco personas por salida, resultando en un total de 140 horas hombre/mes.

Se realizó una búsqueda activa de los organismos desde las 09:00 hasta las 17:00 horas en los sitios en los que comúnmente pueden ser encontrados como debajo de rocas, troncos, entre los macollos de *Muhlenbergia* sp. o sobre los mismos. La búsqueda se realizó en toda el área dedicando la misma cantidad de esfuerzo de muestreo en todas las partes que constituían el sitio de estudio. Al encontrarse con un organismo, se registró el sitio de captura con GPS y fue contenido en un saco para ser manipulado posteriormente y evitar el estrés. El organismo se mantuvo en un periodo breve de cautiverio (menor a 2 días) para marcarlo, el marcado de los organismos se realizó cortando un pedazo de escama ventral siguiendo el código propuesto por Blanchard y Finster (1933); se contaron las escamas de manera ascendente, es decir, de la cola a la cabeza, dejando dos escamas sin contar (el escudo cloacal y la primera escama, ya que estas pueden estar divididas), siendo el organismo número uno el que tuviera la marca en la tercera escama a partir de la cloaca. También se le tomaron medidas como: LHC (longitud hocico-cloaca), LC (longitud de la cola), ANC (ancho de la cabeza), ALC (alto de la cabeza, LCA (longitud de la cabeza) y

peso. Estos datos permiten caracterizar la estructura poblacional por tallas y otros atributos de la especie de estudio. Una vez concluido el muestreo, se identificó cuantos organismos diferentes se observaron durante todo el periodo y a partir de este conteo, se calculó la densidad aparente de *C. transversus*.

Análisis de disturbio

Para realizar el análisis de disturbio se realizaron siete transectos en banda de 50 x 1 m (0.5 m a cada lado de la cinta) ubicados aleatoriamente, utilizando una cinta métrica de dicha longitud siguiendo una línea recta, con ligeras desviaciones debidas a la presencia de vegetación o irregularidades del terreno. Durante el recorrido de los transectos, se registraron siete variables asociadas con el disturbio: 1) frecuencia de excretas de ganado (vaca o borrego): se caminó a lo largo del transecto y se contabilizó el total de las excretas observadas asociadas a fauna no nativa como vacas y borregos, 2) número de senderos: contabilizado como la frecuencia de caminos perfectamente delimitado para paso de ganado o del ser humano, 3) ancho de los senderos: se midió la longitud de senderos para calcular la cobertura de suelo desnudo, el resultado obtenido se utilizó como una medida de porcentaje del suelo sin cobertura vegetal en relación al largo del transecto, 4) número total de pastos amacollados (*Muhlenbergias sp.*), 5) número de pastos forrajeados, 6) número de pastos quemados y 7) frecuencia de ramas con cortes limpios (hechos con alguna herramienta de origen humano como machete) que se consideró como evidencia de extracción de madera para leño. Estas métricas se utilizaron para analizar el grado de disturbio del sitio de estudio y observar si los individuos registrados de *C. transversus* coinciden con dicho disturbio.

El área de estudio se delimitó con GPS y se dividió en función del disturbio inducido por el hombre, las zonas podrán considerarse como: perturbadas, no perturbadas e intermedias; dependiendo de los valores obtenidos a partir del índice de Martorell y Peters (2008). La intensidad total del disturbio es la suma de las métricas. Por lo tanto, el valor para el sitio que presente evidencia casi nula de la intervención humana, será cercano a cero e incrementará conforme aumente el disturbio. Una vez obtenidos los valores, se generará un mapa con la información detallada del disturbio y la delimitación de zonas. Posteriormente

se añadirá una capa al mapa con la información de la presencia de individuos y se caracterizarán las preferencias de hábitat de esta especie.

Distribución potencial

Para la realización de la capa de distribución potencial MaxEnt (versión 3.4.1) tomando en cuenta las variables de orientación, pendiente y altitud obtenidas de la base de datos de INEGI a alta resolución con sensores LiDAR y el paquete de capas bioclimáticas de (Cuervo et al. 2013) para México. El programa utilizado para el procesamiento y preparación de las capas fue Qgis (2.18.3).

Ya que la resolución entre capas bioclimáticas y de relieve era distinta, se elaboraron mapas de manera separada para cada una, las capas bioclimáticas tienen una resolución aproximada de un kilómetro por pixel y las capas obtenidas de sensores LiDAR tienen una resolución de 5 metros por pixel.

Los registros de ocurrencias se obtuvieron de una base de datos en línea de la página web de Gbif, se eliminaron registros duplicados, registros sin coordenadas y registros con coordenadas fuera del territorio mexicano.

Para el procesamiento de las capas bioclimáticas se descargaron en línea las 19 capas bioclimáticas disponibles (Cuervo et al. 2013), estas capas se recortaron tomando como referencia todos los municipios incluidos en el registro histórico de ocurrencias para *C. transversus* e incluyendo los posibles municipios en los que por su movilidad se pudiera distribuir. Además se tomó como criterio de selección un continuo altitudinal que va desde la zona Norte del estado de Morelos que abarca parte del corredor Chichinutzin hasta la zona Nor-oeste del Estado de México

Para realizar el corte se descargó de INEGI la capa de división política municipal resolución 1:50,000, para ser utilizada como capa de máscara se tomaron en cuenta un total de 22 municipios, 12 del estado de México (Isidro Fabela, Naucalpan, Ocoyoacac, Nicolas Romero, Xalatlaco, Huixquilucan, Capulhuac, Atizapan de Zaragoza, Tianguistenco, Lerma, Jilotzingo y Ocuilan), seis de la ciudad de México (Alvaro Obregon, Tlalpan,

Xochimilco, Cuajimalpa de Morelos, La Magdalena Contreras y Milpa Alta) y cuatro del estado de Morelos (Tepoztlan, Huitzilac, Tlalnepantla y Cuernavaca).

Una vez recortadas las capas bioclimáticas, se convirtieron a formato ASCII con la finalidad de volverlas compatibles con el programa MaxEnt, ya que el programa solo acepta este tipo de archivo de entrada.

Los modelos digitales de elevación de tipo terreno a alta resolución (LiDAR ~5 metros) se descargaron de la base de datos de INEGI en formato ASCII, para ser procesados en Qgis. Se descargaron un total de 28 cartas con escala 1:10,000 y al igual que las capas bioclimáticas, se seleccionaron tratando de abarcar todas las zonas de ocurrencias históricas (12 municipios del estado de México, seis de la ciudad de México y cuatro del estado de Morelos)

Después de haber sido seleccionadas las cartas, se unieron las capas quedando una sola cobertura de relieve, esta capa se utilizó para obtener las otras capas de terreno (orientación y pendiente) utilizando las herramientas de análisis de terreno de Qgis. Una vez obtenidas estas capas se alinearon, para evitar que hubiera diferencia entre la extensión de las capas. Por último los rasters fueron alineados y se tradujeron a formato ASCII.

Se realizaron un total de ocho mapas, dos mapas utilizando nuestros registros en campo (uno para las capas bioclimáticas y otro para las capas de variables del terreno), dos utilizando los registros históricos de Gbif, dos utilizando los registros propios y los de Gbif y dos mapas más con las capas bioclimáticas pero para todo el territorio mexicano. Esto con la finalidad de hacer un comparativo entre el área prospectiva que arrojan nuestros datos y el área que arrojan la máxima ocurrencia para *C. transversus*.

Adicional a los análisis que trae por defecto el programa, se seleccionó la opción “crear jackknife para medir la importancia de las variables” (do jackknife to measure variable importance). La prueba de jackknife nos ayuda a determinar la importancia de cada una de las variables, el programa corre reiteradas veces el mismo modelo pero en cada oportunidad excluye cada una de las variables, de igual forma realiza el mismo modelo pero solo

utilizando una variable a la vez. De esta forma nos permite analizar el aporte de cada variable al modelo así como su importancia si esta es eliminada del modelo.

El programa MaxEnt también tiene la opción de crear curvas de respuesta, con el fin de analizar con mayor profundidad como afecta la variable a la presencia del organismo y bajo que rango existe la mayor probabilidad de distribución (entropía).

Resultados

Estructura poblacional

Se encontraron 15 organismos en total. En lo que concierne al 2014 se encontraron seis organismos los cuales fueron registrados entre abril y junio; para el 2015 se registraron solo dos individuos en el mes de Marzo; para el 2016 se encontraron cuatro individuos de los cuales uno se capturó en Mayo, dos en Junio y uno en Septiembre; por último se registraron tres individuos en el año 2017 en el mes de septiembre. Además en el 2014 se capturó una hembra preñada la cual se mantuvo en cautiverio hasta que parió a las crías, se obtuvo un tamaño de camada de tres organismos con una talla promedio al nacer de 148.3 mm. Estos organismos fueron liberados inmediatamente después de haber nacido de manera aleatoria en el área de estudio. En la tabla 1, se observan el total de organismos y las medidas obtenidas en campo.

Tabla 1. Datos de estructura poblacional de *C. transversus*. LHC= Longitud hocico-cloaca; LC= Longitud de la cola; LT= Longitud total; H(p)= Hembra preñada

No. De organismo	LHC (mm)	LC (mm)	LT (mm)	SEXO	PESO (g)	Longitud	Latitud	fecha de encuentro
1	459.6	37.7	497.3	*	56.12	-99.2730	19.2225	29-abr-14
2	329.1	28.6	357.7	Hembra (p)	37.6	-99.2730	19.2225	29-abr-14
3	*	*	*	*	*	-99.2737	19.2233	05-jun-14
4	154.8	16.9	171.7	*	6.01	-99.2734	19.2230	05-jun-14
5	434.9	34.9	469.8	¿Macho?	33.28	-99.2747	19.2227	05-jun-14
6	*	*	*	Hembra	*	-99.2725	19.2234	05-jun-14
7	166	18.96	184.96	Hembra	6.24	-99.2750	19.2214	01-mar-15
8	437	40.72	477.72	Macho	*	-99.2747	19.2218	01-mar-15
9	*	39	*	Hembra	50.4	-99.2743	19.2221	13-may-16
10	*	38.2	*	Macho	22.4	-99.2743	19.2223	07-jun-16
11	*	32.4	*	Macho	18.9	-99.2742	19.2227	07-jun-16
12	*	36.9	*	Hembra	50.3	-99.2740	19.2231	19-sep-16
13	167.4	21.1	188.5	Macho	8.65	-99.2725	19.2234	07-sep-17
14	172.1	19.5	191.6	Hembra	6	-99.2753	19.2223	07-sep-17
15	171.9	23	194.9	Macho	8.14	-99.2756	19.2220	07-sep-17

* sin datos

La densidad observada o aparente en el área de estudio fue de 1.8 ind/ha; a partir de los individuos encontrados obtuvimos una proporción sexual de 1:1 (hembra:macho). El promedio de longitud total de los adultos es de 303 mm, el peso promedio de la población es de 23.38 g, siendo el individuo de mayor peso/talla registrado, una hembra con 56.12 g/497.3 mm y el de menor peso/talla 6.01 g/171 mm en el cual no se determinó el sexo debido a su pequeño tamaño y que el procedimiento de sexado podría causar daños al organismo. Por otra parte, en seis ocasiones se tuvieron registros incompletos ya que los organismos escaparon antes o durante el proceso de medición y por tanto no se tiene la información completa. Sin embargo, considerando el tamaño reducido de muestra con que contamos, decidimos utilizar estos registros para aumentar nuestro poder predictivo en los modelos de distribución potencial.

Análisis de disturbio

En la tabla 2, se muestran las variables consideradas para la caracterización del área en función del disturbio generado por el hombre. Se eliminaron variables a medir del análisis por no ajustarse a nuestra especie de estudio o a las condiciones mismas del hábitat, ya que el análisis está descrito para especies de flora, principalmente cactus. Los datos obtenidos por variable se sumaron y de esta forma se determinó cual era el área más perturbada y la menos perturbada.

Tabla 2. Métricas usadas en la evaluación del grado de disturbio y valor por zona.

b		Zona 1 (medianamente perturbada)	Zona 2 (Altamente perturbada)	Zona 3 (poco perturbada)
w	Frecuencia de plantas cortadas para leño	1	5.67	2.00
t _b	Cobertura de suelo desnudo	98.60	95.90	0
f	Evidencia de fuego en Muhlenbergias	0	1	1
f ¹	Muhlenbergias quemadas (%)	0	7.83	42.42
b	Muhlenbergias c/ evidencia de forrajeo (%)	56.88	43.40	28.15
t _i	Numero de senderos	0.50	2	0
t _i	Senderos por metro	0.01	0.04	0
t _i	Longitud del sendero (cm)	35.00	133.33	0
dc	Num. Total de excretas en el transecto	4	9	7.50
	Suma de métricas	195.99	298.18	81.07

De igual forma observamos que el disturbio entre zonas es muy marcado ya que de la zona menos perturbada a la más perturbada hay una diferencia de 367% y la diferencia entre la zona con menor disturbio y el disturbio intermedio es de 241%. Por otro lado, la mayor parte del aporte del disturbio a la zona poco perturbada está asociada a evidencia de fuego en las Muhlenbergias, lo que podría ser un factor determinante para que los organismos se hayan desplazado de la zona. De igual manera en la zona intermedia se observó que la proporción de excretas en el transecto es mucho menor, lo que también podría ser un factor importante para que el organismo se disperse a zonas con menos ganado, además del hecho que en esta zona fue la única en donde no se encontraron evidencias de Muhlenbergias quemadas.

Realizando el conteo por zona, se observa que en la zona uno, que es la zona con perturbación media, se encontraron un total de seis organismos; en la zona dos, con mayor disturbio se encontraron siete individuos y en la zona tres, con disturbio menor se encontraron dos individuos, esto podría deberse al mismo disturbio o a la cercanía con la carretera. Como se observa en el mapa (figura 2) la mayoría de los organismos se encuentran en la zona uno (perturbación intermedia) y en la zona dos (perturbación más alta). En todos los casos los organismos fueron observados en laderas con orientación hacia el Este y con un intervalo de horario entre las 11:00 y las 14:00 hrs. Cabe aclarar que a pesar de que los individuos sólo se encontraron en este intervalo de tiempo, la búsqueda activa se realizó hasta las 17:00 como está especificado en la sección de métodos y que todas las zonas fueron muestreadas con la misma intensidad.

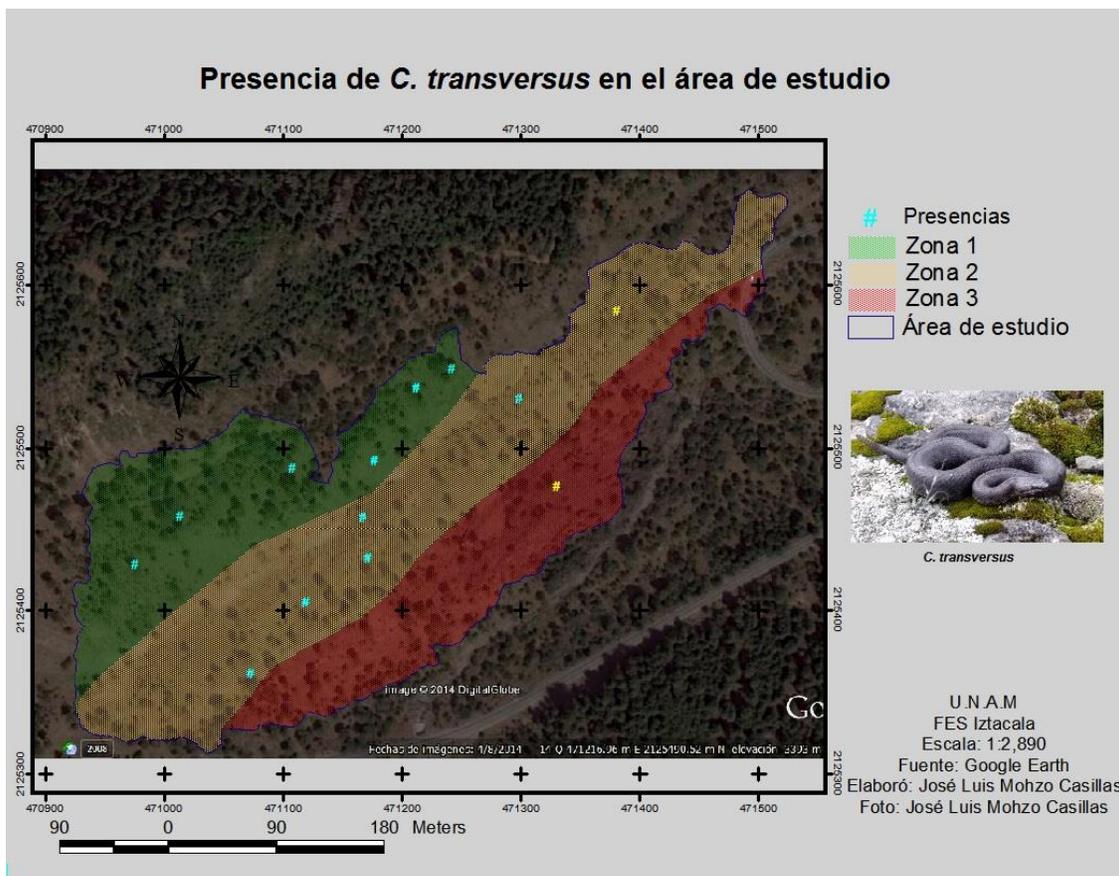


Figura 2. Área de estudio con localización de organismo georreferenciados y división del área en función del disturbio. NOTA: Los puntos amarillos denotan dos registros.

Distribución potencial

En las figuras 3 y 4 se muestra como el área predicha cambia conforme aumenta el umbral acumulativo, para nuestros datos obtenidos en campo, se puede ver la omisión y área predicha para el modelo con sensores LiDAR (fig. 3). También puede observarse que la línea de los datos de prueba no se ajusta muy bien a la omisión predicha.

Como podemos observar en ambas gráficas el área predicha descartada se comporta de manera similar, pero en el mapa realizado con las capas bioclimáticas el área predicha disminuye un poco más rápido, podría deberse simplemente a las diferencias en el tamaño de pixel y en la velocidad del mapa para descartar el área de distribución.

En las gráficas (fig. 7 y 8) se muestra el ajuste de los datos de omisión y área predicha con los datos de presencia máxima (datos propios y registros Gbif), se puede observar que la omisión de los datos de prueba se ajusta mejor a la omisión predicha esto se puede deber a diferencia de las gráficas con ocurrencia min, a que los datos de presencia no están correlacionados espacialmente ya que tenemos los registros de nuestra área de estudio y registros de otras localidades, a diferencia con las gráficas y nuestros registros que están altamente relacionados.

La figura 5 y 6 se ajusta un poco mejor a la tasa de omisión estimada, sin embargo podría deberse a lo mismo que con la figura 7 y 8.

De igual manera podemos observar que las gráficas que mejor se ajusta la omisión en los datos de prueba y entrenamiento a la tasa de omisión estimada son la figura 9 y 10, esto nos indicaría que la omisión en los datos de prueba y entrenamiento se comportan como se esperaría en el modelo, esto podría significar que el algoritmo no está excluyendo área invadible por error en el muestreo.

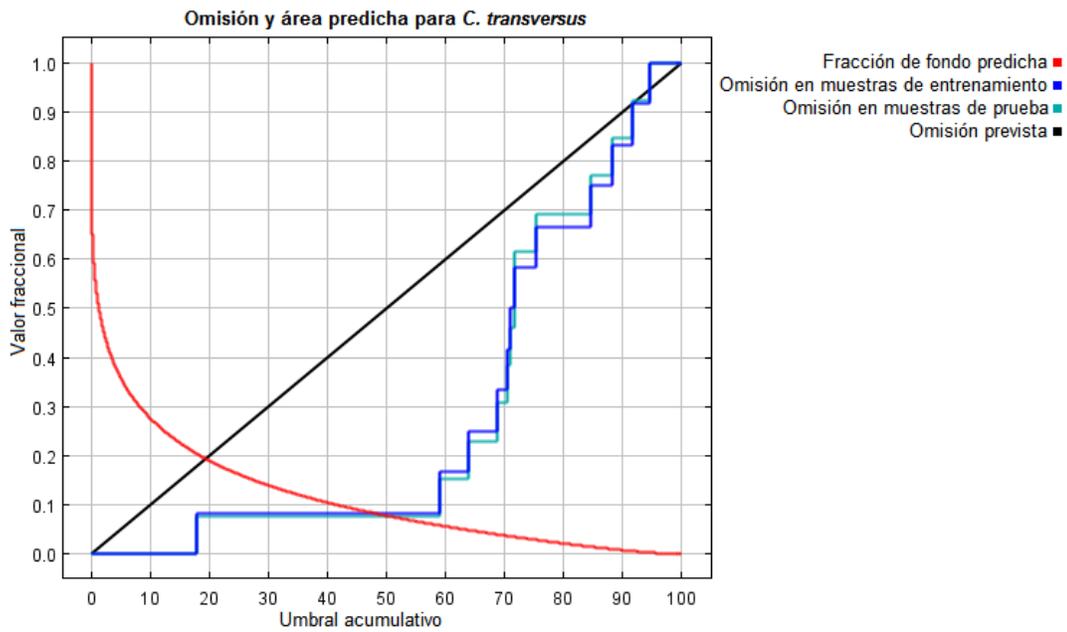


Figura 3. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento usando nuestros datos obtenidos en campo y las variables de terreno (LiDAR)

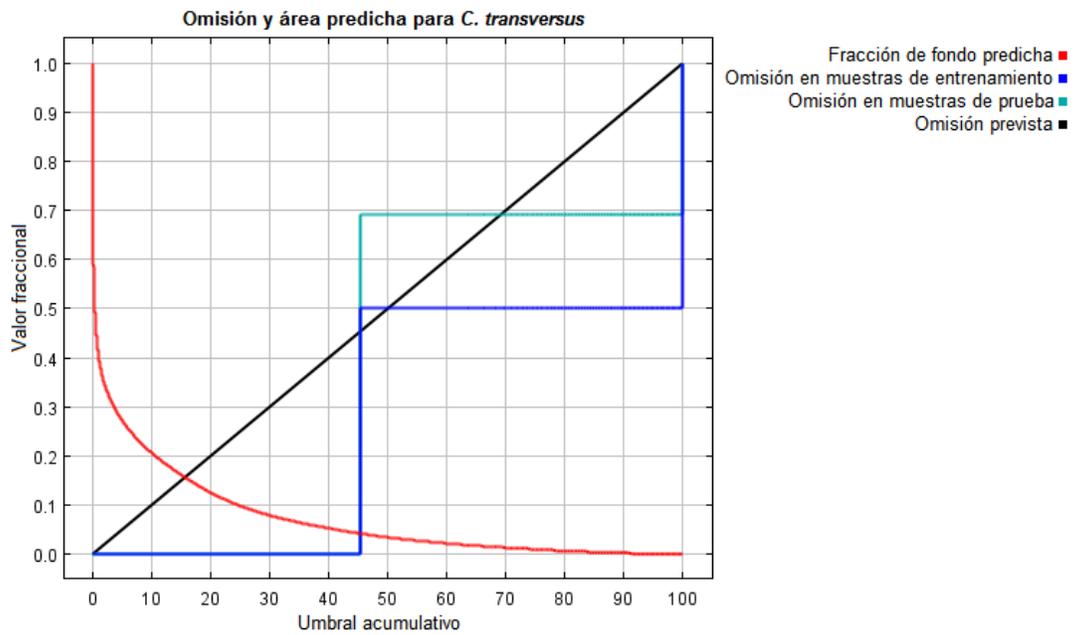


Figura 4. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento usando nuestros datos obtenidos en campo y las variables bioclimáticas

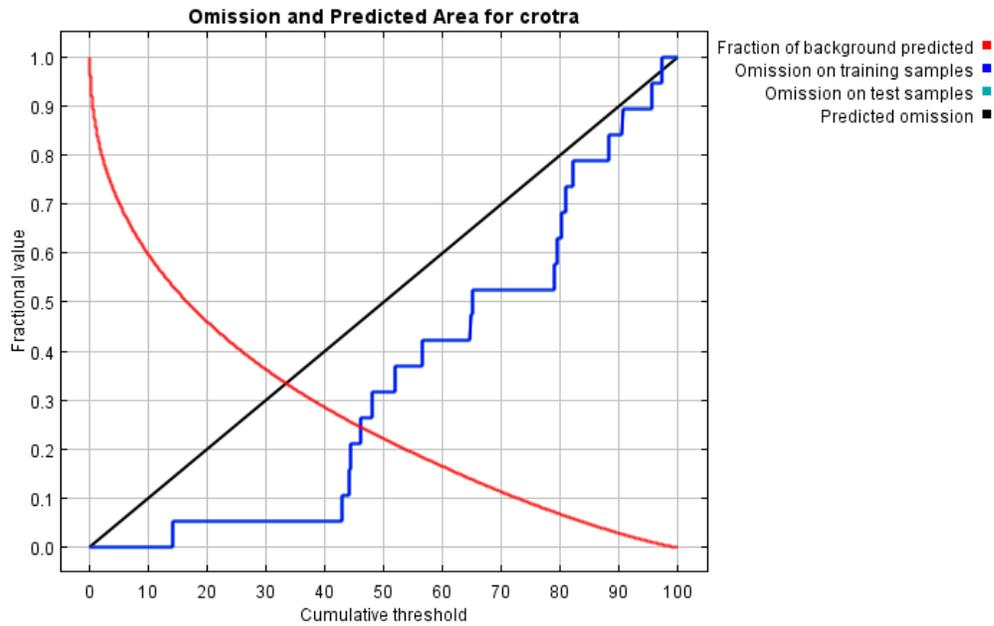


Figura 5. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento usando los registros de Gbif y las variables de terreno (LiDAR).

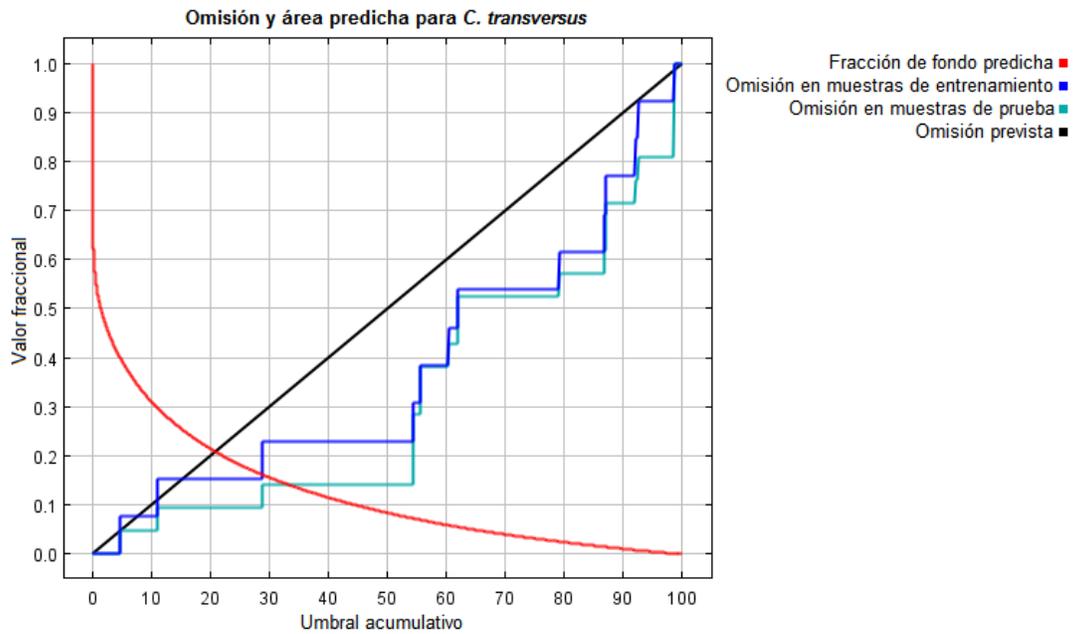


Figura 6. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento usando los registros de Gbif y las variables bioclimáticas.

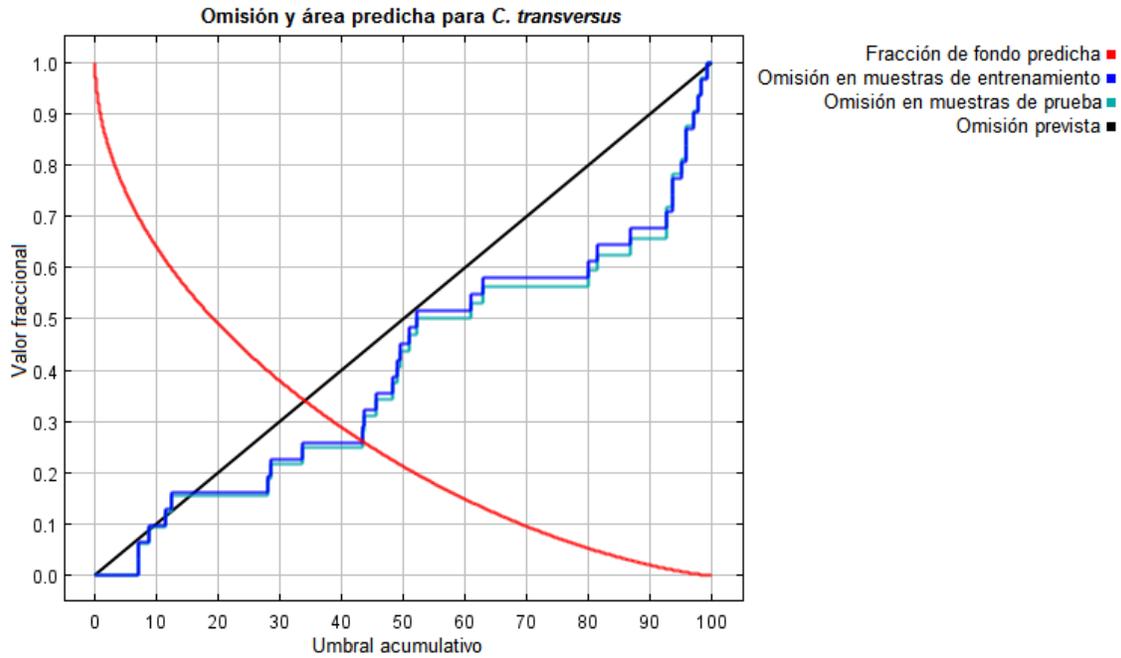


Figura 7. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento usando la máxima ocurrencia y las variables de terreno (LiDAR)

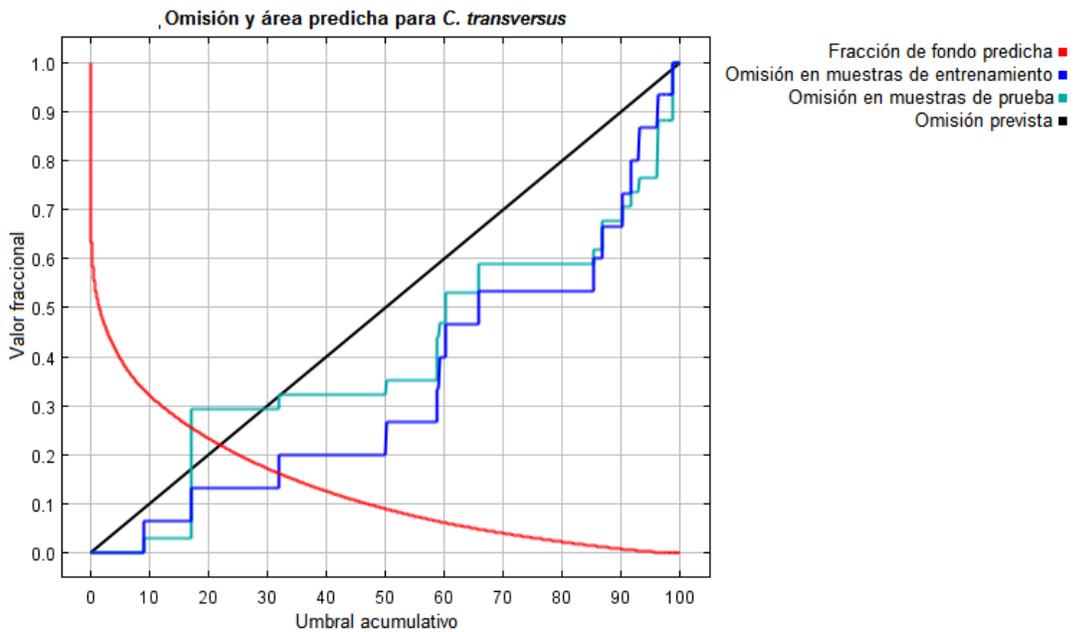


Figura 8. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento usando la máxima ocurrencia y variables bioclimáticas.

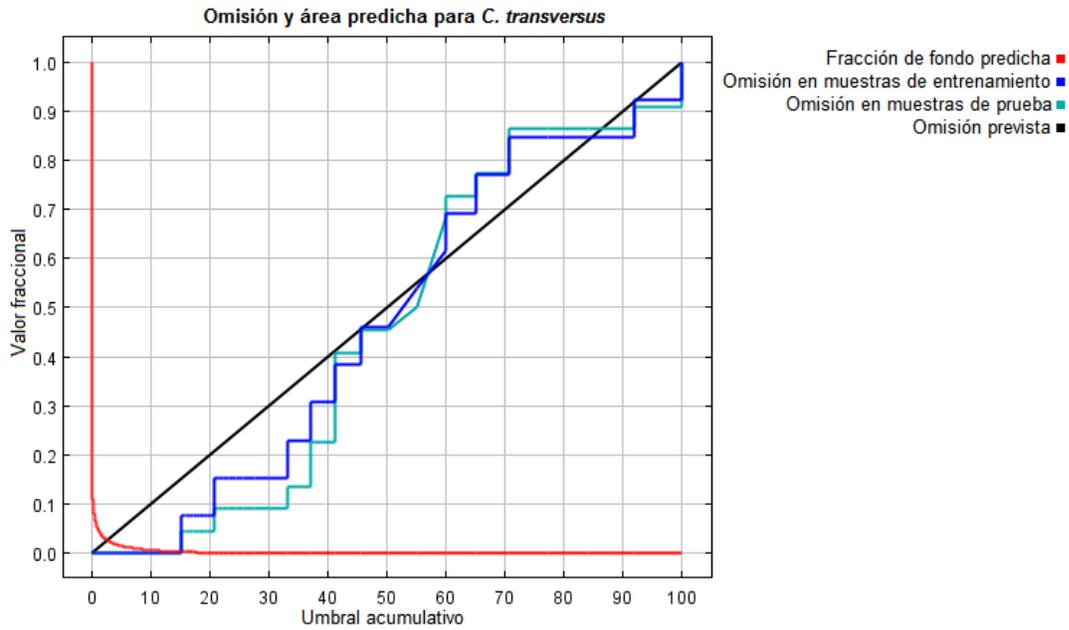


Figura 9. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento para el modelo con variables bioclimáticas (mapa completo de México) con registros de Gbif

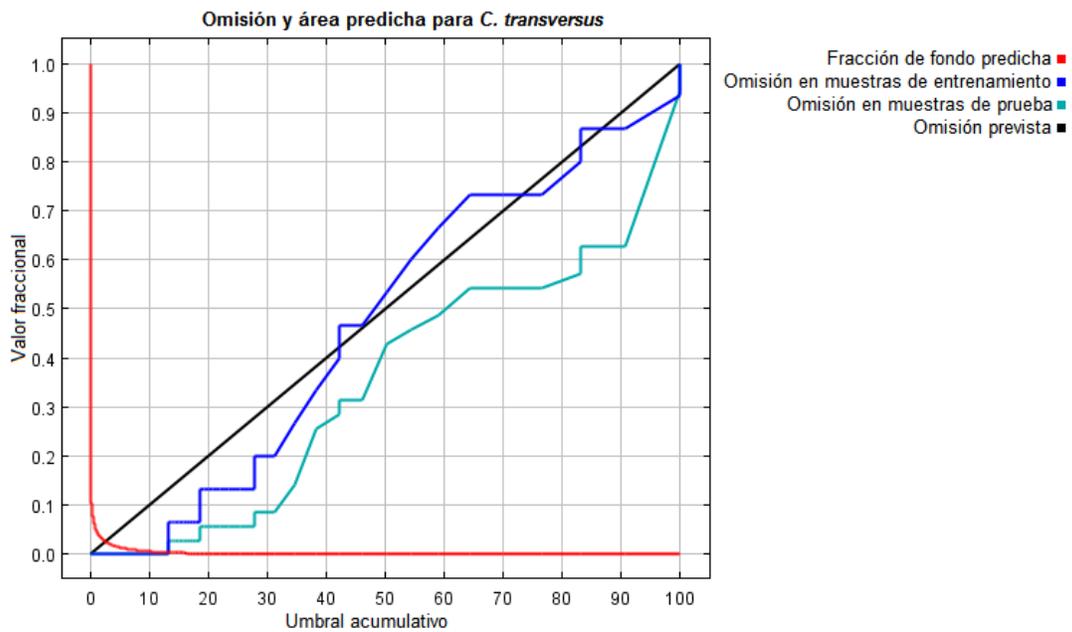


Figura 10. Omisión de los datos de prueba y entrenamiento para el modelo con variables bioclimáticas (mapa completo de México) y la máxima ocurrencia.

En las siguientes gráficas (Fig. 11 - Fig. 18) se observa la curva operada por el receptor (ROC) y el área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés), la cual nos muestra que tan bien se desempeña el modelo. Mientras más cercano a uno sea el valor del AUC, mejor desempeño tendrá. La línea roja nos indica que tanto se ajusta el modelo a los datos de entrenamiento, por su parte, la línea azul nos muestra que tan bueno es el modelo para predecir las presencias contenidas en los datos de prueba.

De acuerdo con las siguientes gráficas los modelos que mejor se desempeñaron fueron los realizados con nuestros registros en campo, para el modelo con las variables de terreno con sensores LiDAR obtuvimos un valor de AUC= 0.956 para los datos de entrenamiento y para los datos de prueba AUC= 0.957 (ver fig. 11), para el modelo con las variables bioclimáticas obtuvimos para los datos de entrenamiento un valor de AUC= 0.979 y para los datos de prueba AUC=0.971 (fig. 12); en contraste los modelos que tuvieron el valor más bajo de AUC para las variables de terreno LiDAR fue el realizado con todos los registros (ocurrencia máxima), se obtuvo un valor de AUC para los datos de entrenamiento y prueba de 0.783 y 0.790 respectivamente (fig. 15), y para el modelo con las variables bioclimáticas el peor fue el realizado con todos los registros obteniendo un valor de AUC para los datos de entrenamiento y de prueba de 0.925 y 0.899 respectivamente (fig. 16).

Con respecto a las figuras 13 y 14, se obtuvieron valores medios de AUC para datos de entrenamiento y de prueba en variables de terreno (LiDAR) y bioclimáticas, utilizando solo los registros Gbif, el valor de AUC para los datos de prueba para estas gráficas fueron de 0.848 para la figura 13 y 0.930 para la figura 14.

Por ultimo en las figuras 17 y 18 se puede observar los mapas con registros de Gbif y variables bioclimáticas para todo el terreno, así como el mapa de ocurrencia máxima y variables bioclimáticas de todo el territorio mexicano.

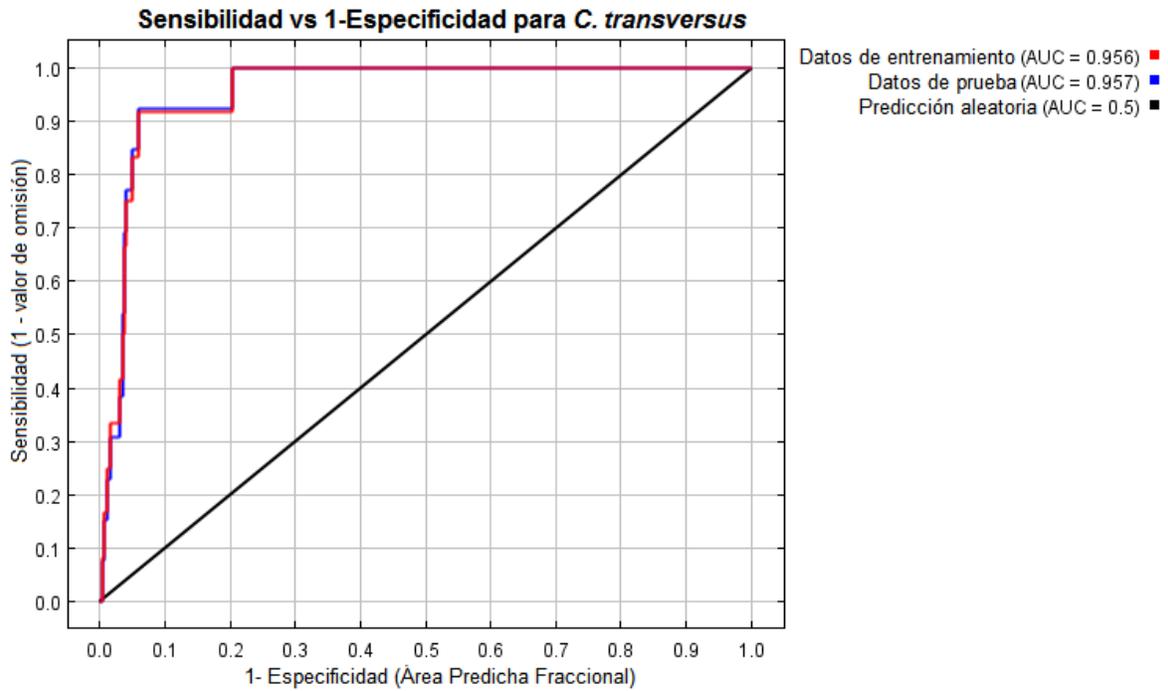


Figura 11. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para nuestros registros y variables de terreno (LiDAR)

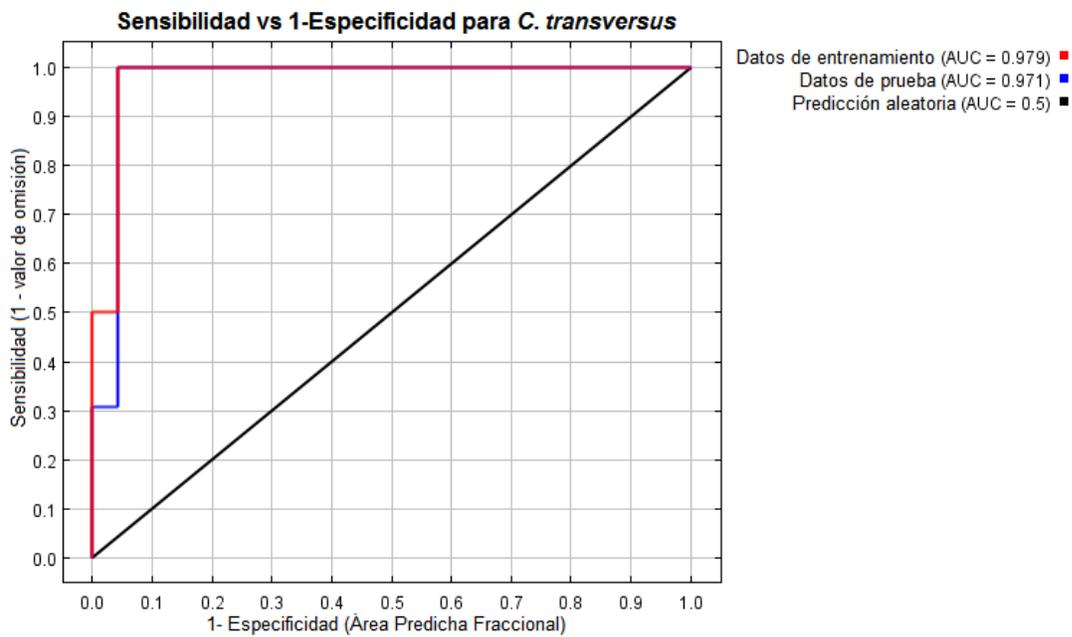


Figura 12. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para nuestros registros y variables bioclimáticas.

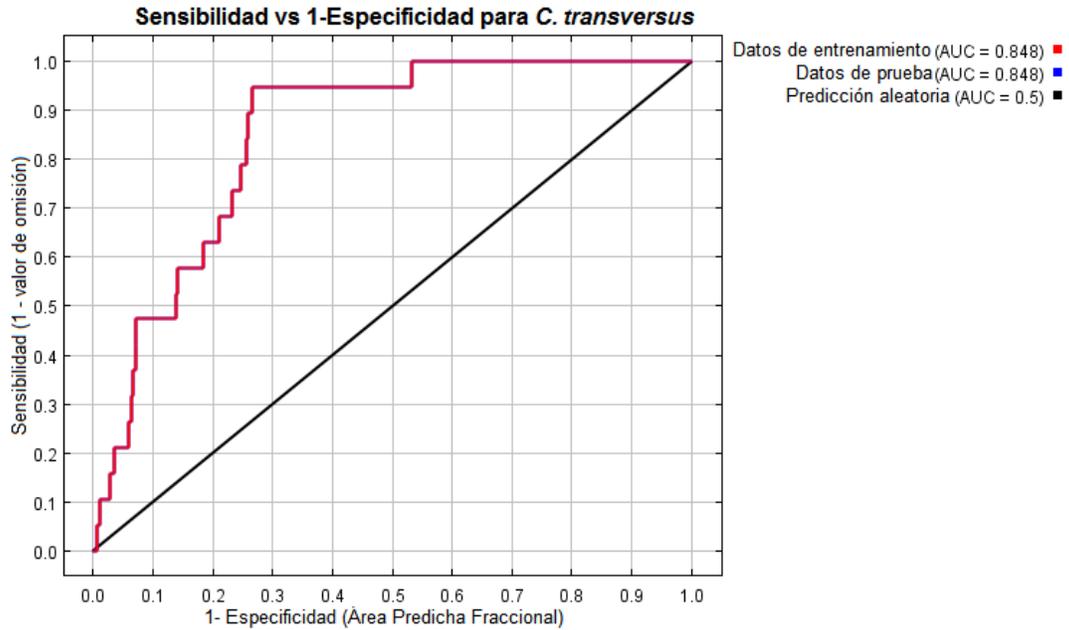


Figura 13. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para registros Gbif y variables de terreno (LiDAR)

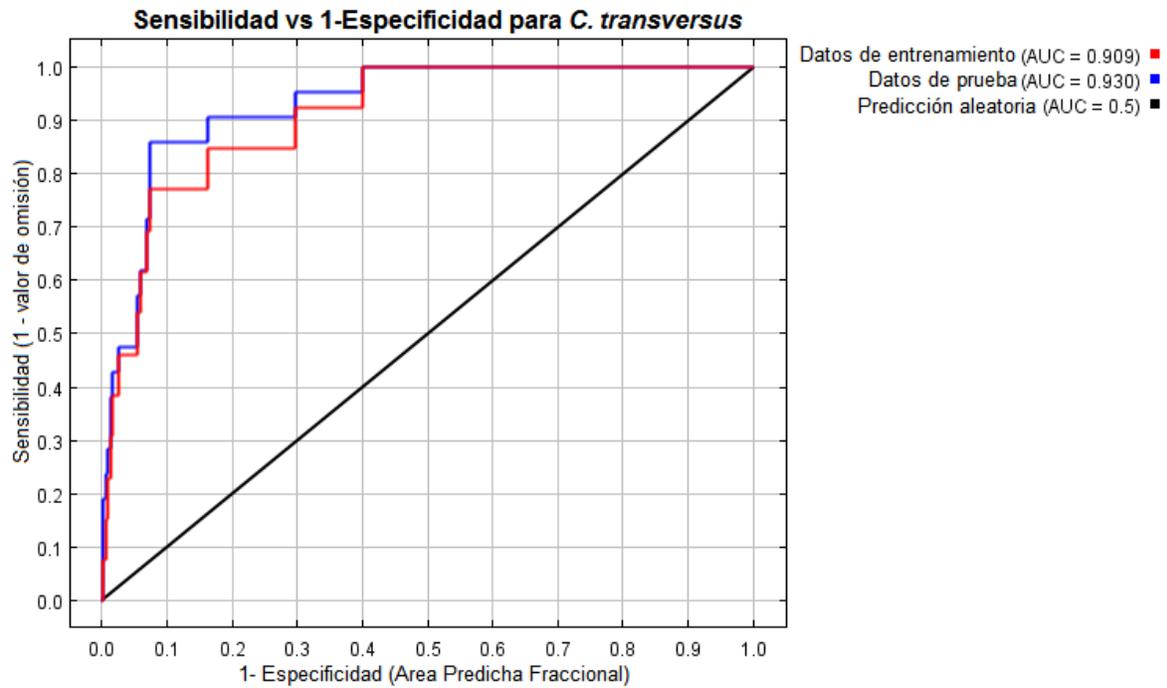


Figura 14. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para registros Gbif y variables bioclimáticas.

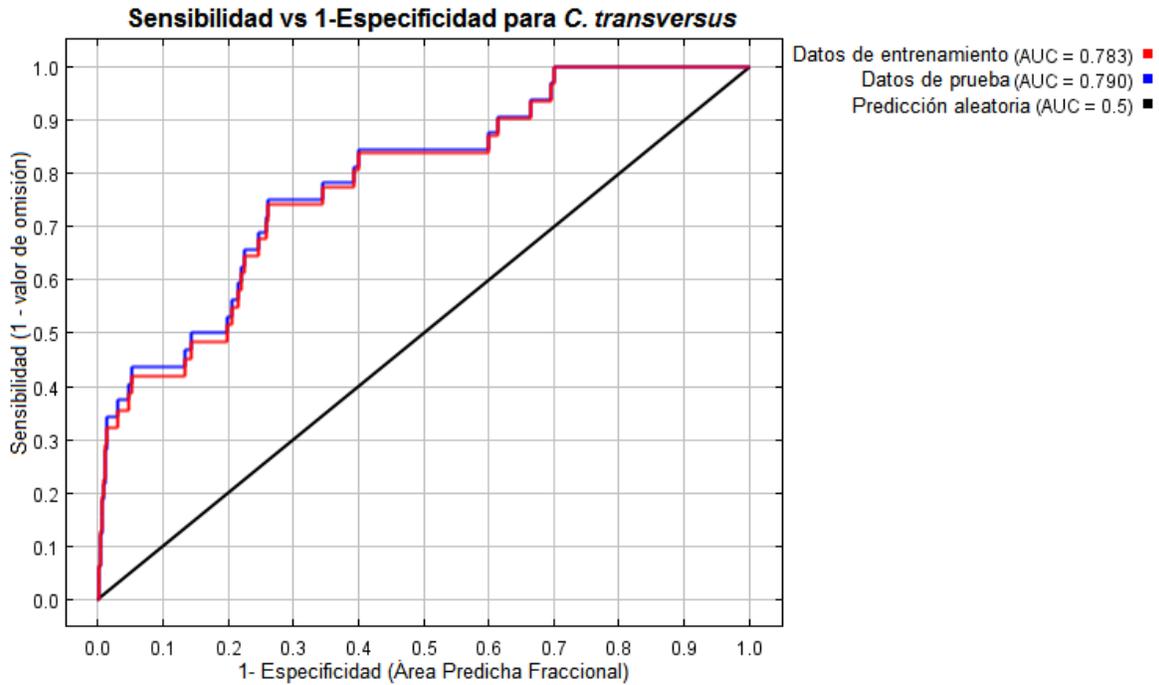


Figura 15. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para máxima ocurrencia y variables de terreno (LiDAR)

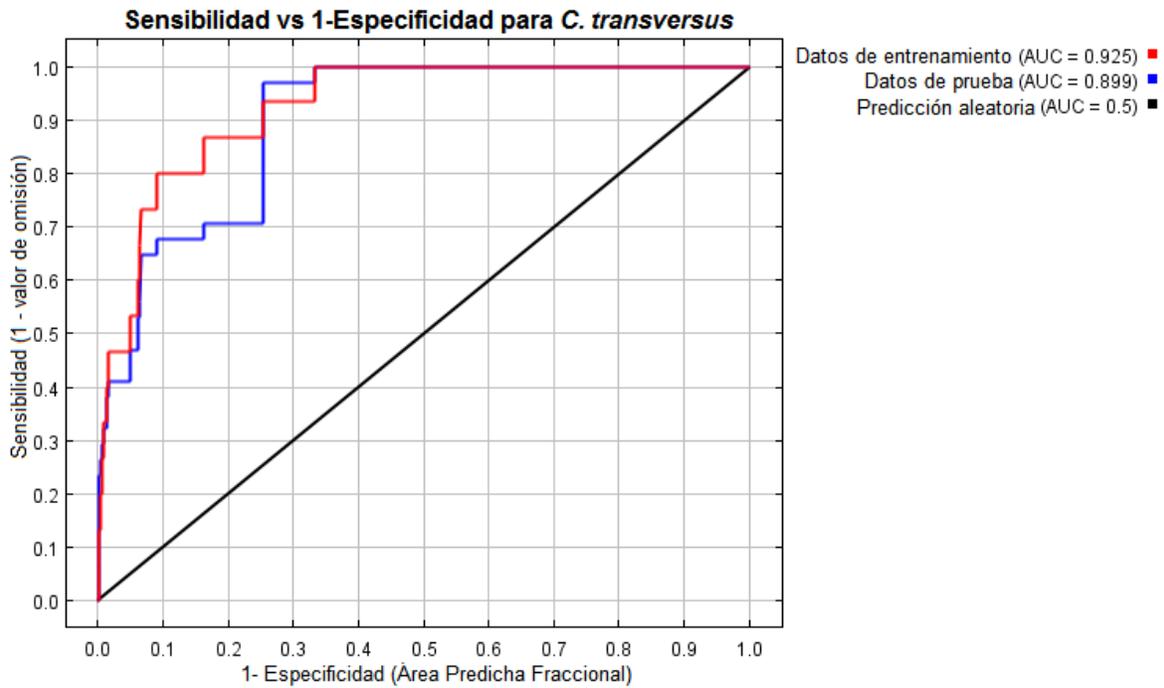


Figura 16. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para máxima ocurrencia y variables bioclimáticas.



Figura 17. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para registros Gbif y variables bioclimáticas (mapa completo de México).

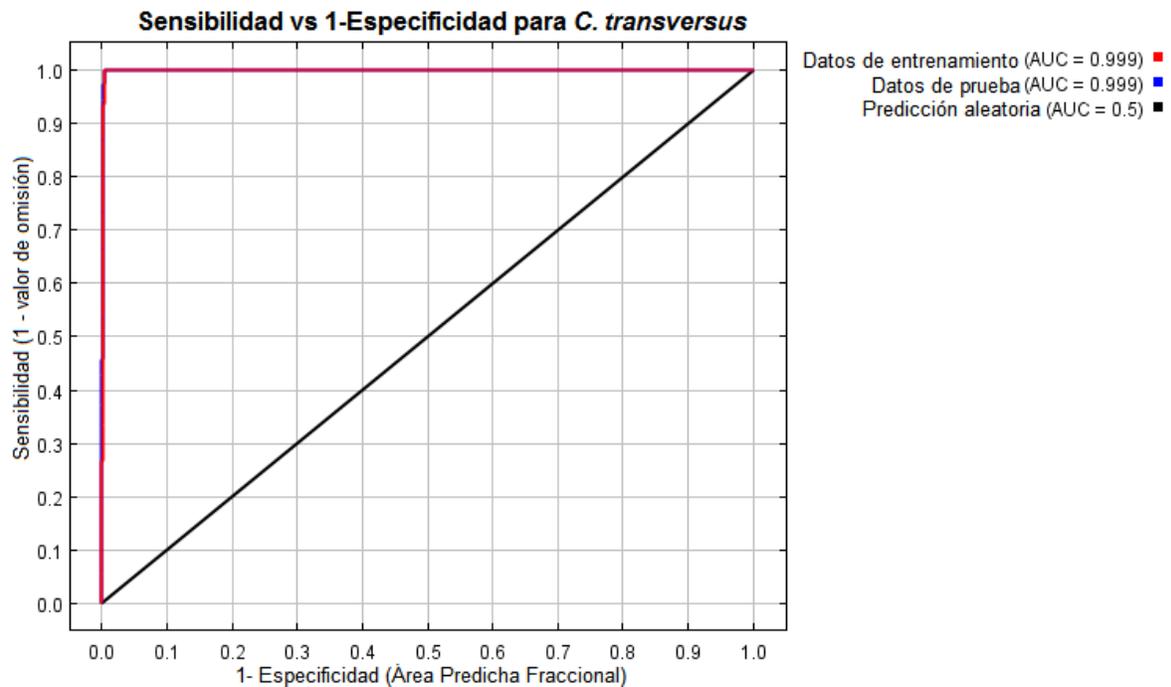


Figura 18. Grafica de ROC (Curva operada por el receptor) para máxima ocurrencia y variables bioclimáticas (mapa completo de México).

Pruebas de jackknife

Registros propios y sensores LiDAR

En la figura 19 podemos observar que la variable con mayor aporte al modelo es la altitud, esta variable por sí sola podría predecir la probabilidad de distribución de la especie; contrariamente en las variables restantes, al ser omitidas no decrece drásticamente la ganancia del entrenamiento.

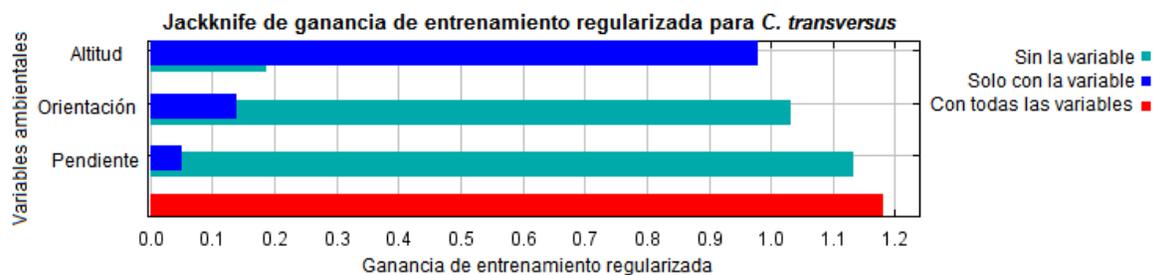


Figura 19. Gráfica de jackknife de la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento.

En la figura 20 tenemos graficada la ganancia de los datos de prueba, como se puede observar en la gráfica anterior la altitud es la variable que por sí sola puede predecir la distribución de los datos de prueba, para estas tres variables podemos observar que la pendiente no es un factor determinante en la distribución de *C. transversus*.

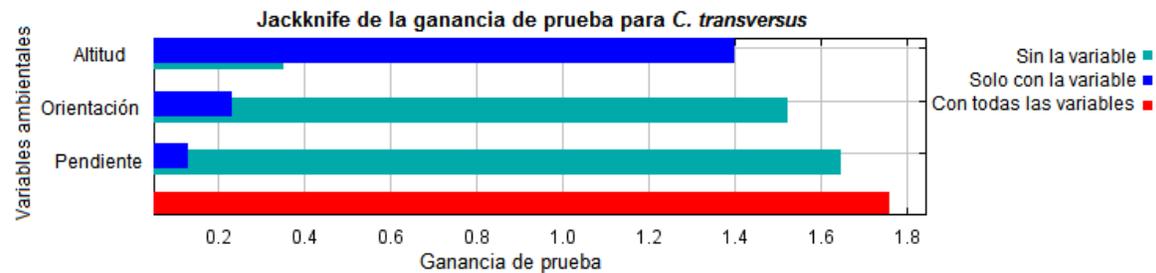


Figura 20. Gráfica de jackknife de la ganancia de las muestras de prueba.

En la figura 21 observamos el AUC para los datos de prueba y aunque hay una menor disminución al quitar la variable de altitud sigue siendo la más importante y la que mejor ajusta la predicción del modelo.

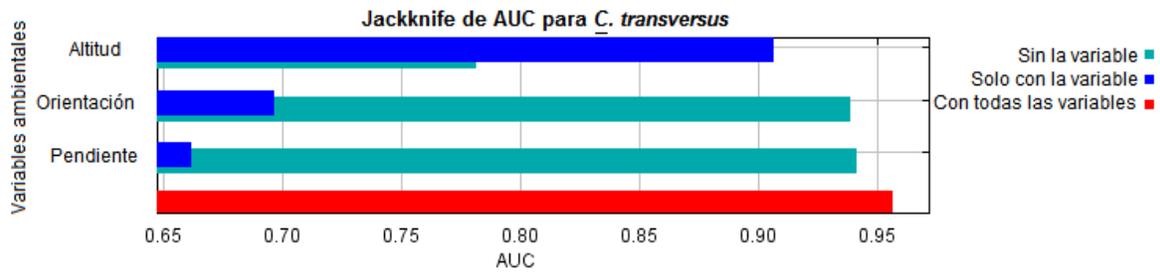


Figura 21. Gráfica de jackknife del AUC para los datos de prueba.

Registros propios y capas bioclimáticas

Para el modelo realizado con las capas bioclimáticas (figura 22), podemos observar que la variable que mayor ganancia aporta al modelo por sí sola es bio6 (temperatura min del mes más frío), por su parte la variable bio15 (estacionalidad de la precipitación,) es la variable que al ser eliminada reduce la ganancia con respecto a las demás variables que no disminuye la ganancia del entrenamiento. Para ver a detalle el significado de cada variable bioclimática ver Anexo 1.

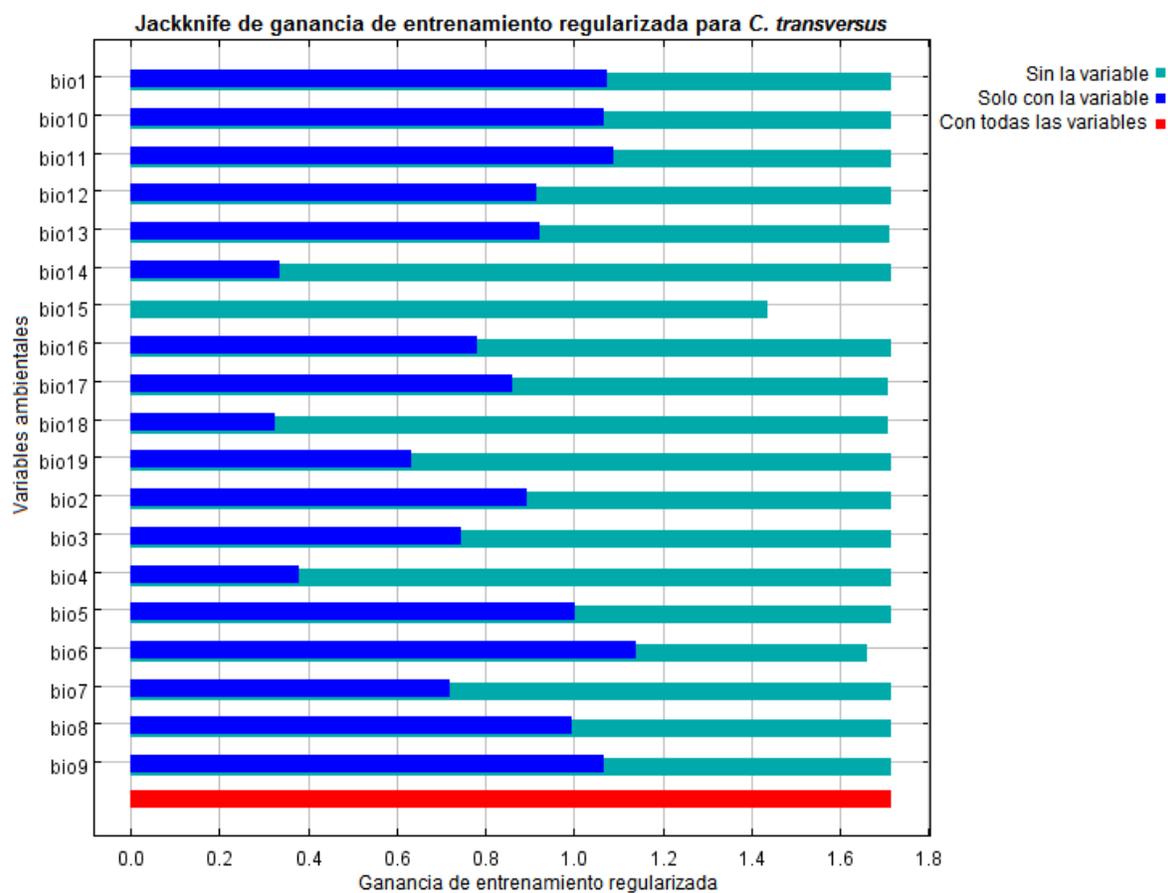


Figura 22. Grafica de jackknife de la ganancia regularizada para los datos de entrenamiento.

En las siguiente gráfica (figura 23) se puede observar la ganancia para los datos de prueba, de igual forma se puede apreciar que al ser eliminada la variable bio15 la ganancia de la prueba disminuye, por sí sola no tiene gran aporte a la ganancia o al AUC pero si contiene información importante para aumentar la ganancia del modelo.

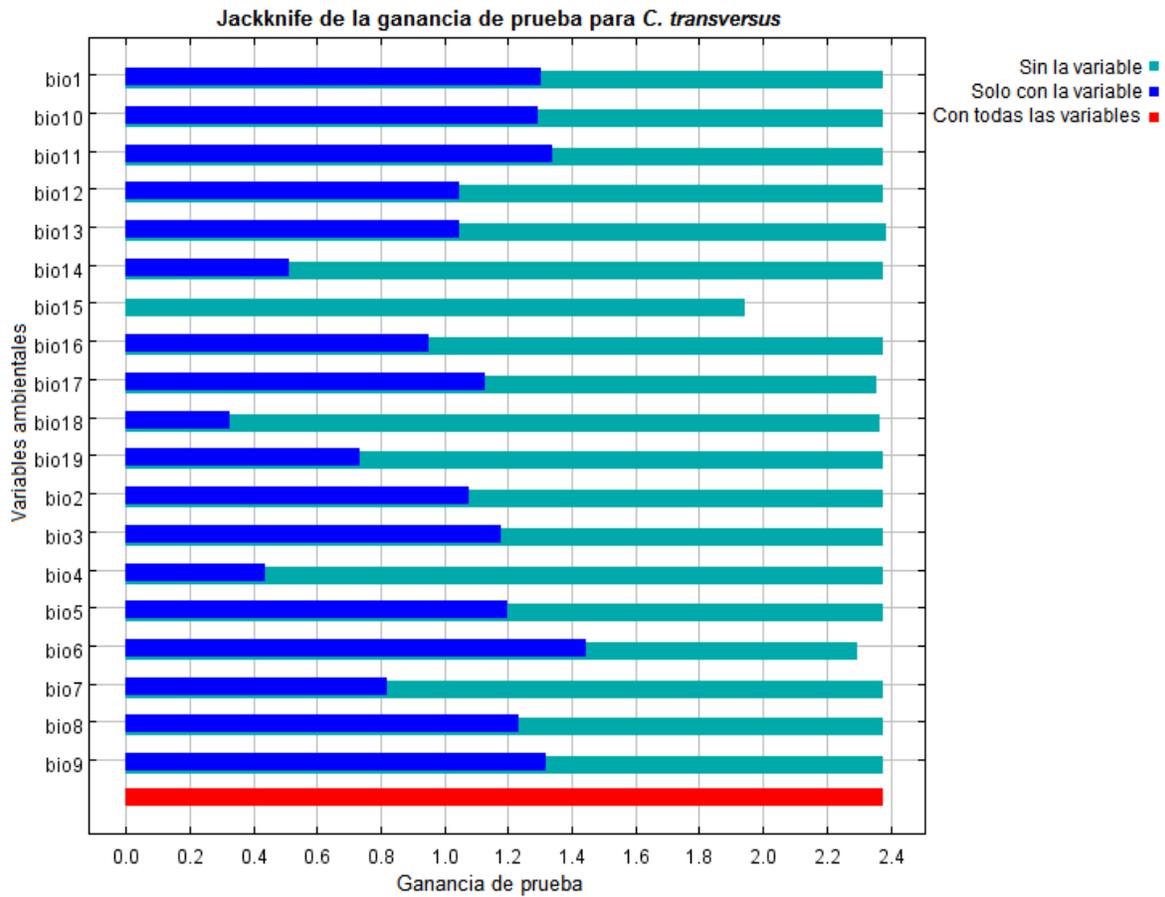


Figura 23. Gráfica de jackknife de la ganancia de los datos de prueba.

Registros Gbif y sensores LiDAR

En las siguiente gráfica de jackknife (figura 24), podemos observar que las variables de terreno se comportan de manera similar que en los modelos con los datos de ocurrencias obtenidos por nosotros en el campo. Una vez más la variable que mejor aporta a la ganancia del entrenamiento es la altitud, de igual forma es la que contiene la información más relevante ya que al suprimirla reduce drásticamente la ganancia del entrenamiento.

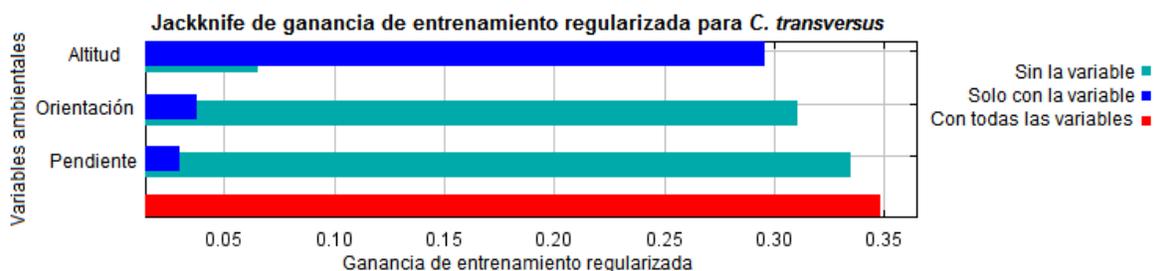


Figura 24. Gráfica de jackknife de la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento y variables de terreno (LiDAR)

Por otro lado, la variable que menos aporta a la ganancia de las muestras de prueba de la especie es la pendiente, seguida de la orientación (figura 25 y 26).

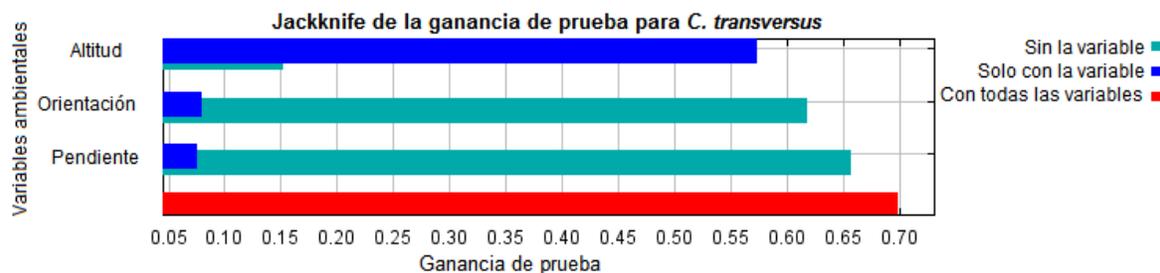


Figura 25. Gráfica de jackknife de la ganancia para las muestras de prueba y variables de terreno (LiDAR).

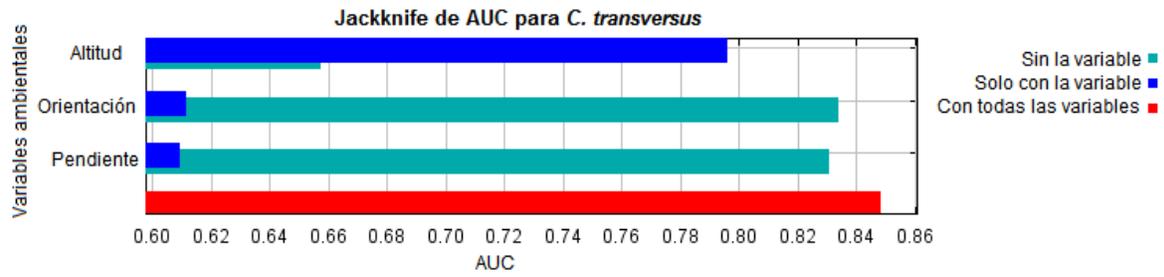


Figura 26. Gráfica de jackknife de AUC para las muestras de prueba y variables de terreno (LiDAR).

Registros Gbif y capas bioclimáticas

Para la prueba de jackknife con las variables bioclimáticas (figura 27) se observa que muy pocas variables aportan gran cantidad de información al modelo como la bio4 (estacionalidad de temperatura) que es una medida de variación de temperatura, sin embargo, podemos observar que en muy pocos casos al omitir alguna variable el valor de la ganancia disminuye, esto se puede deber principalmente a que ninguna variable contiene información que no esté contenida en otra variable, es decir, que las variables están altamente correlacionadas, y por tal motivo no es posible determinar de manera precisa que variable es más importante para la distribución.

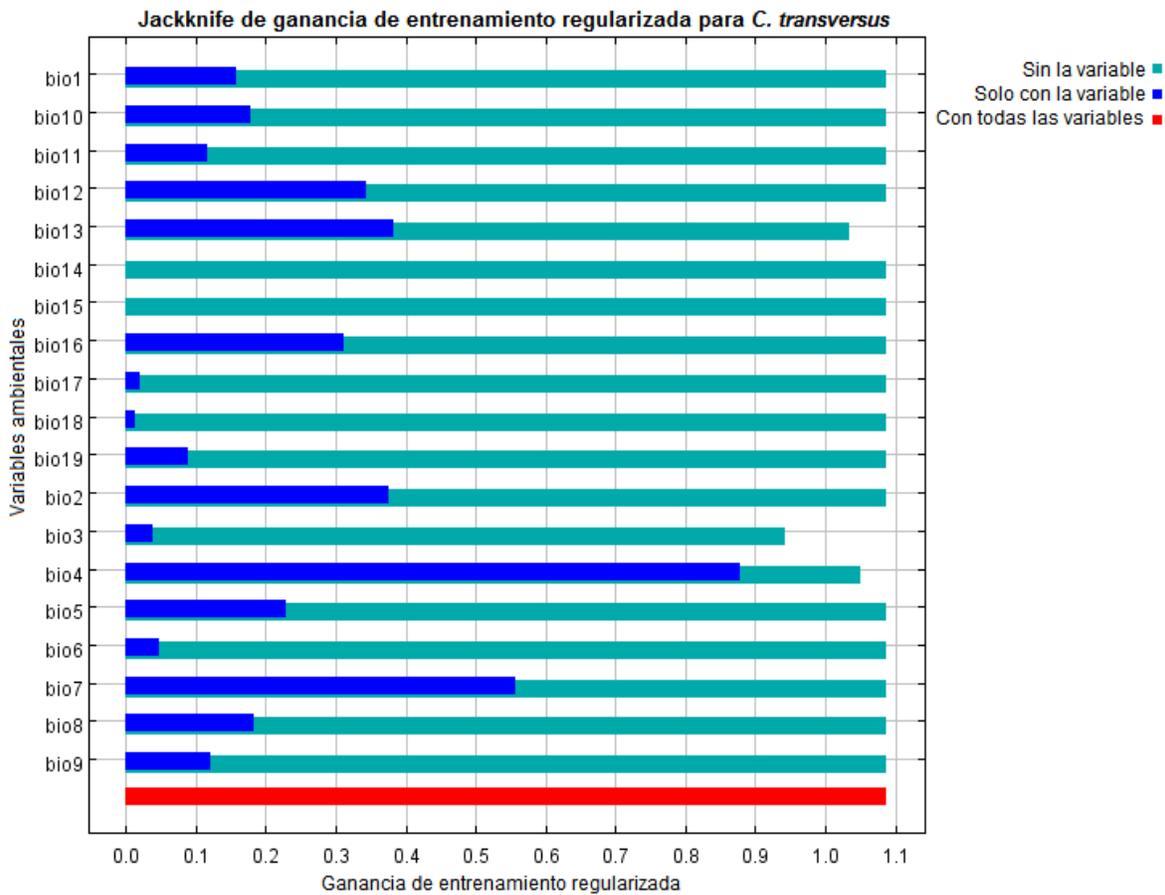


Figura 27. Prueba de jackknife para la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento y variables bioclimáticas.

Curvas de respuesta

En el caso de la variable de altitud en el modelo creado con nuestros registros, se puede observar que el organismo tiene mayor probabilidad de distribución en el rango altitudinal de 3300 – 3700 aproximadamente, teniendo la mayor probabilidad en los 3500 msnm (figura 28).

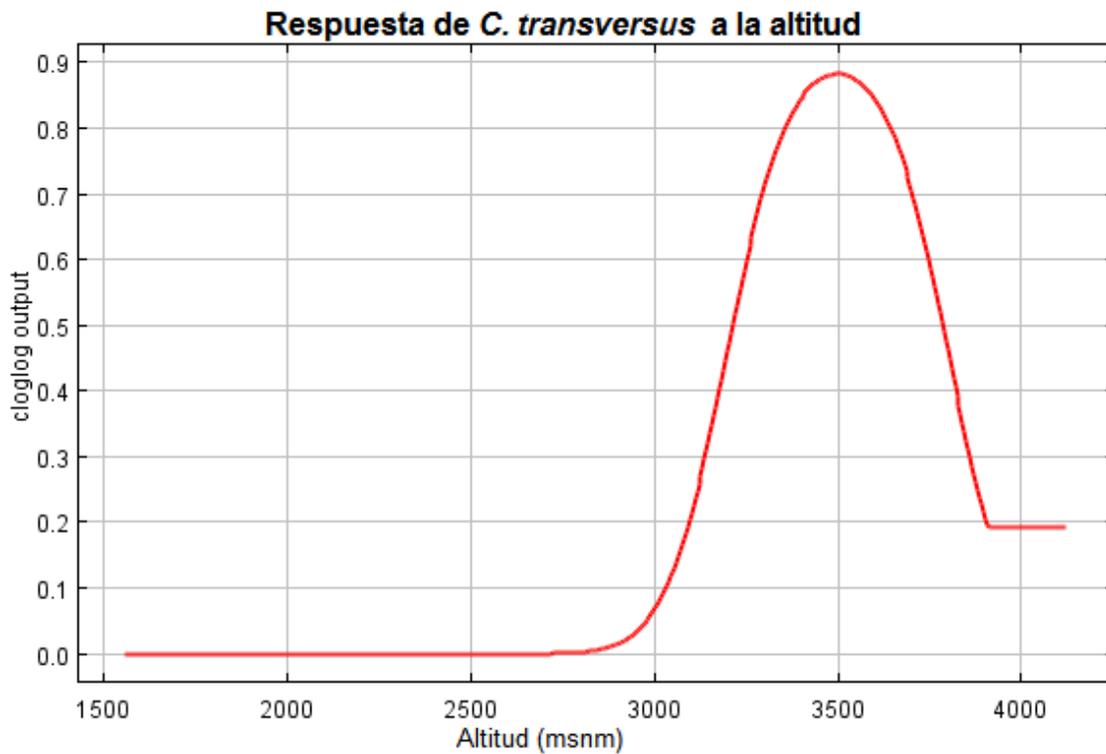


Figura 28. Curva de respuesta para altitud usando nuestros registros.

Para la variable orientación se puede observar que la mayor probabilidad de distribución se encuentra en laderas con orientación $-30^\circ - 145^\circ$ Azimutales (figura 29), teniendo un pico de máxima entropía en una orientación Norte y comenzando a disminuir en una orientación Sur-Este. Esto no concuerda del todo con lo observado en campo, puesto que todos los organismos observados fueron vistos en laderas con orientación Sur-Este.

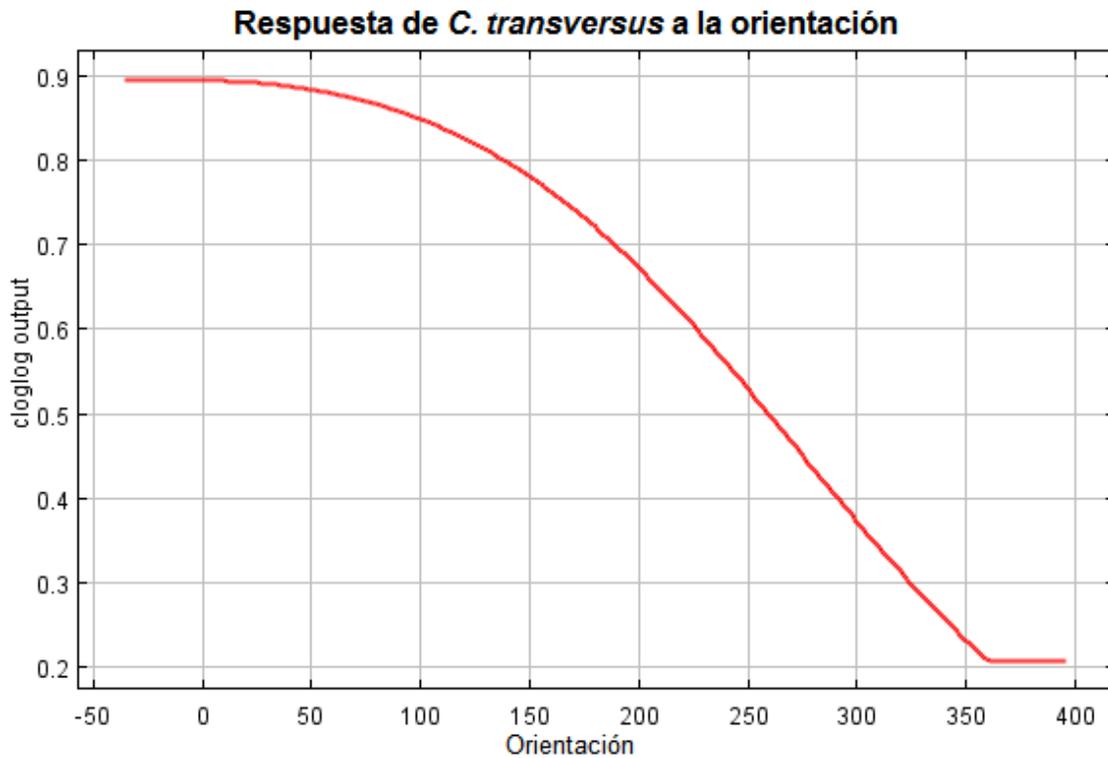


Figura 29. Curva de respuesta para la variable orientación usando nuestros registros

Por último para la variable de la pendiente observamos que la mayor probabilidad de distribución se encuentra en pendientes mayores a 35° (figura 30).

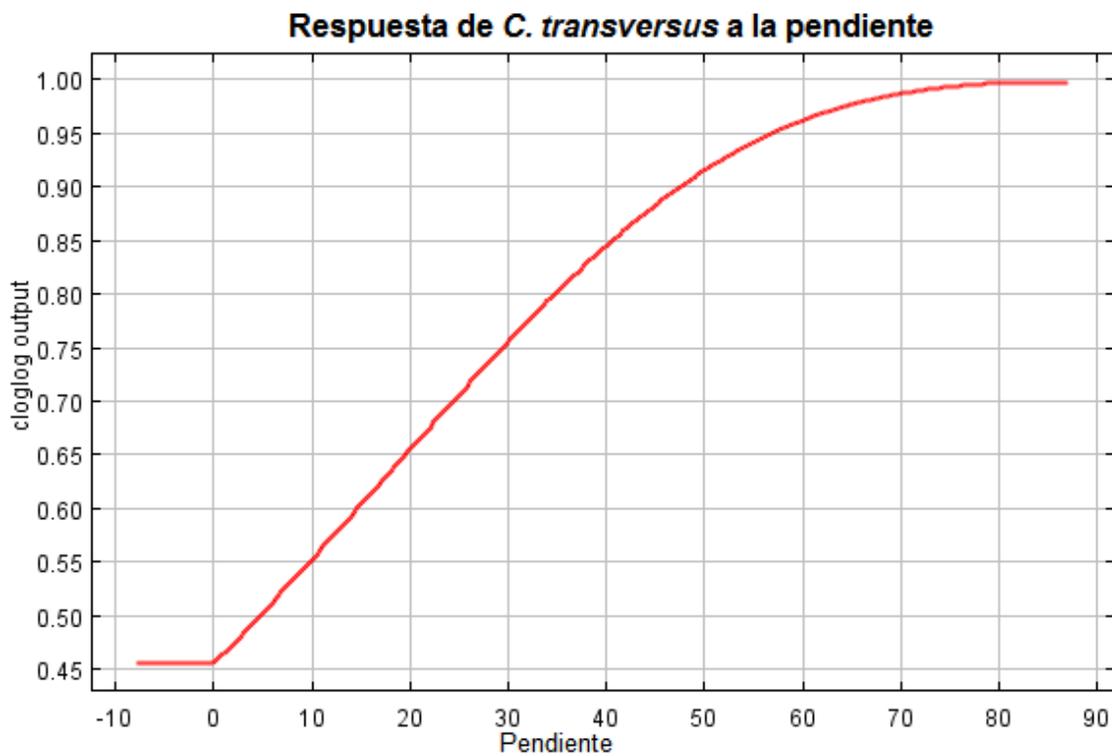


Figura 30. Curva de respuesta para la pendiente usando nuestros registros.

Mapas de distribución potencial

El área total de los 22 municipios fue de 3515.34 km² de la cual solo 150.6 km² tienen una probabilidad $\geq 0.5 < 0.8$ que nosotros consideramos como el área con las mínimas condiciones necesarias para que el organismo se encuentre; para la mayor probabilidad de encuentro que sería ≥ 0.8 solo obtuvimos un total de 96.38 km².

En la figura 31 se observa el mapa de distribución potencial para los datos obtenidos en campo usando las variables bioclimáticas, los municipios o delegaciones que contaron con una alta probabilidad de distribución (≥ 0.8) fueron: Tlalpan, Xalatlaco, La Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, Ocoyoacac, Tianguistenco, Huitzilac.

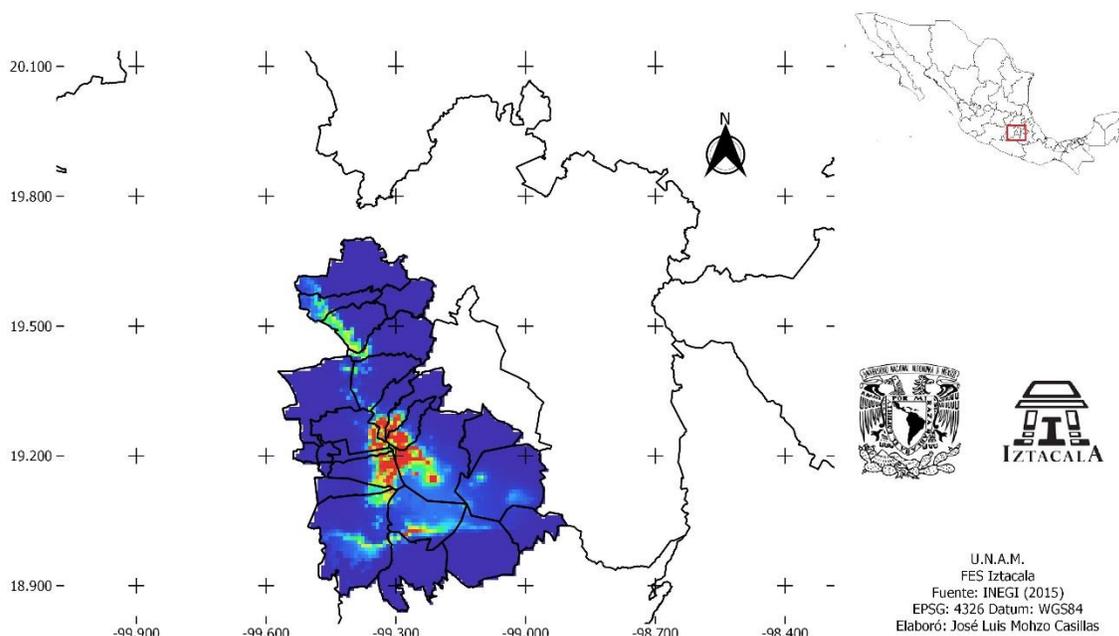


Figura 31. Mapa de distribución potencial de *C. transversus* con nuestros registros y las variables bioclimáticas, y con división política estatal y municipal de área proyectada.

En cuanto a la probabilidad de distribución de *C. transversus* en los diferentes municipios utilizando las variables de terreno (LiDAR) obtuvimos proyecciones muy similares, ya que los municipios o delegaciones que presentaron una alta probabilidad de distribución fueron: Tlalpan, Xalatlaco, Ocuilan, Ocoyoacac, La Magdalena Contreras, Cuajimalpa de Morelos. De igual forma la delegación de Milpa Alta así como los municipios de Tianguistengo, Huixquilucan, Naucalpan de Juarez y Jilotzingo presentaron zonas con alta probabilidad, aunque el área con alta probabilidad es muy pequeña con respecto al territorio total del municipio (figura 32).

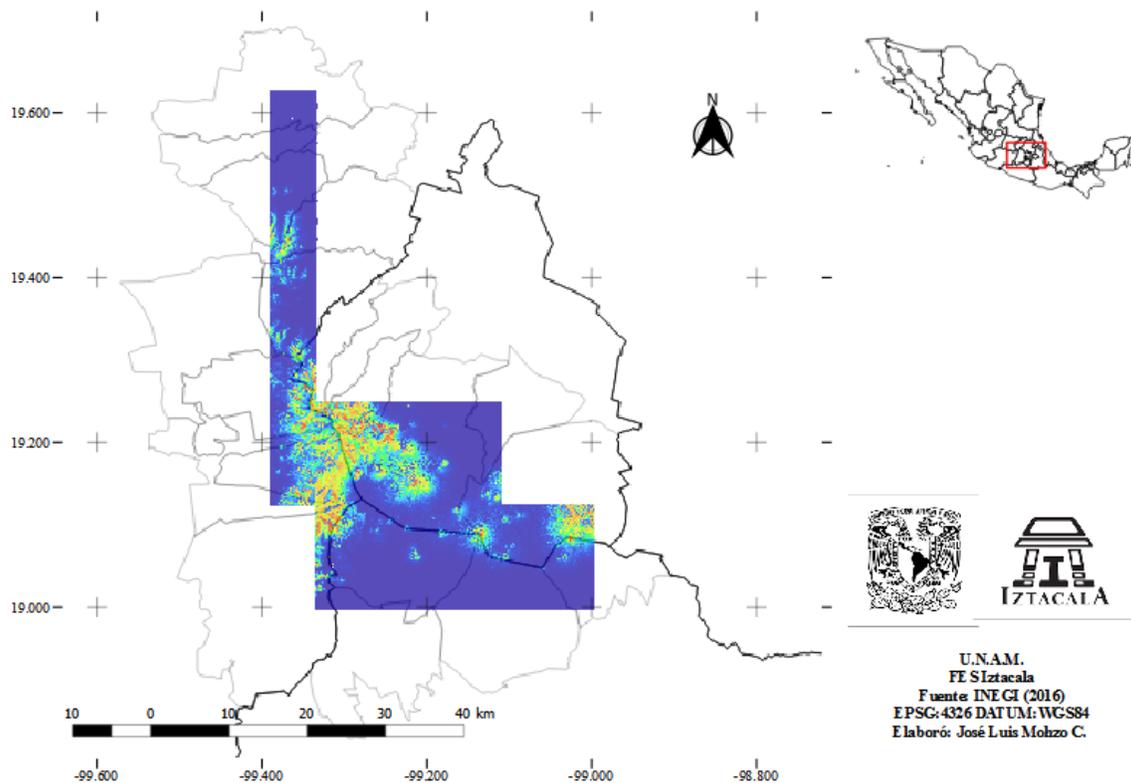


Figura 32. Mapa de distribución potencial de *C. transversus* con variables de terreno (LiDAR), y con división estatal y municipal del área proyectada.

Al igual que con el mapa de distribución potencial realizado con las variables bioclimáticas, se reclasificaron los mapas resultantes para determinar el área con mayor probabilidad de distribución (≥ 0.8). Del área total que fueron 1241.22 Km² el área con las mínimas condiciones necesarias ($\geq 0.5 < 0.8$) fue de 115 Km² y por último el área con la mayor probabilidad de distribución ≥ 0.8 fue de 64.5 Km².

En ambos casos el área estimada total para la especie supone una superficie menor al 1% del territorio mexicano, aun tomando en cuenta el área estimada con probabilidad por encima de 0.5 de probabilidad, es decir, tomando en cuenta las condiciones mínimas con las que el organismo se puede encontrar, queda por debajo de esta superficie.

De igual forma realizando el cálculo del área de distribución potencia de CONABIO propuesta para *C. transversus* es de aproximadamente 6256 Km², esta área es menor al 1% del territorio mexicano aunque la diferencia entre ambos polígonos de distribución es muy marcada (figura 33).

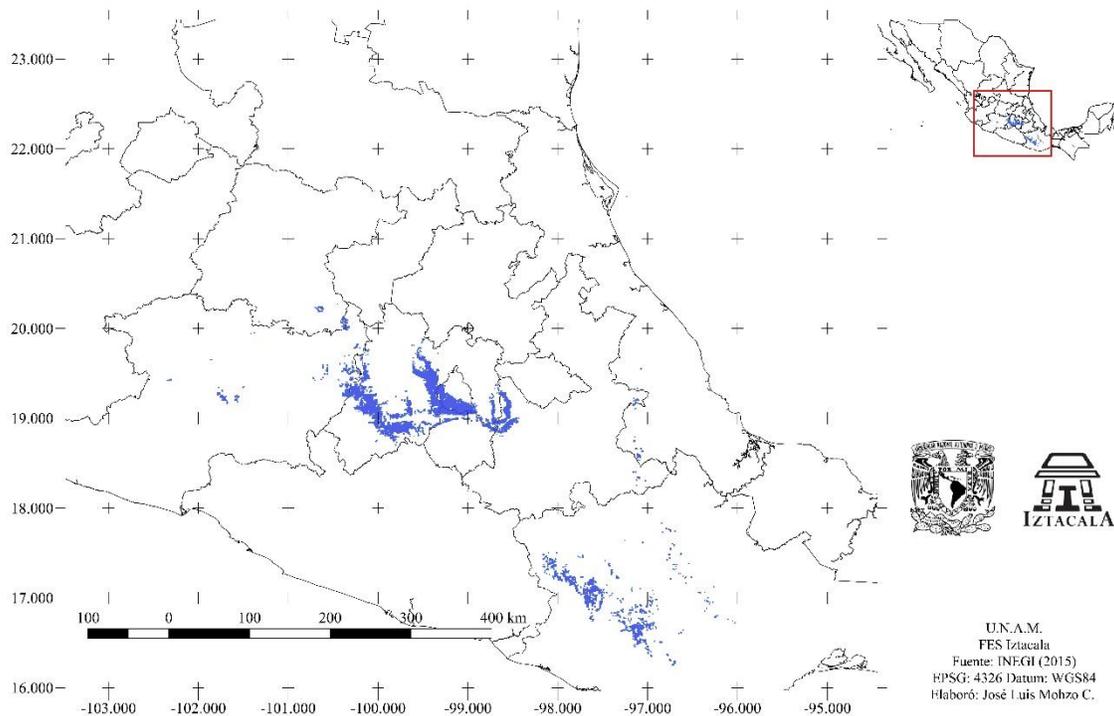


Figura 33. Mapa de distribución potencial de *C. transversus* tomada de CONABIO (2015) y división política estatal.

Realizando la comparación con nuestro mapa de distribución potencial, se puede observar que en el mapa propuesto por CONABIO el área prospectiva se extiende hasta estados de la república donde no existen registros de nuestra especie, como por ejemplo, el estado de Oaxaca, Michoacán de Ocampo, Puebla, Veracruz y Querétaro, aunque estos últimos tres el área predicha es muy baja.

Discusión

Las serpientes del genero *Crotalus* en general ocupan diversos tipos de vegetación, pero principalmente bosque de pino-encino y encino, matorral xerófilo y bosque mesófilo de montaña (Paredes, 2011). Las serpientes del grupo *C. intermedius* principalmente se distribuyen en bosques de pino-encino y su diversificación es una consecuencia de la fragmentación de estos hábitat en el pleistoceno (Bryson et al. 2011). Dentro de este grupo, *C. transversus* es una de las especies menos conocidas, lo cual fue constatado en este trabajo en el cual a pesar de encontrar varios individuos casi como los que existen en colecciones científicas (Campbell, 1988), son menos de 20 individuos a lo largo de un muestreo de 4 años.

Sin embargo, este trabajo presenta por primera vez información importante sobre la proporción sexual (1:1) ya que no se tiene ningún registro para la especie. No obstante, es consistente con lo reportado para *C. pricei* (Prival et al. 2002), la cual también forma parte del grupo intermedius. Además, registramos al individuo más grande reportado para la especie con una longitud total de 497.3 mm, ya que el individuo considerado más grande anteriormente medía 465 mm de longitud total (Campbell, 1988).

Por otro lado, se logró capturar una hembra preñada, lo que nos permitió obtener datos del tamaño de camada, el cual fue de 3 organismos. Hasta ahora, el tamaño de camada para esta especie era desconocido, sin embargo, difiere del reportado para *C. tancitarensis*, (especie hermana). Para esta última especie, se ha reportado un tamaño de camada de 5 neonatos (3 hembras y 2 machos) (Alvarado-Díaz et al. 2007). Las diferencias en el tamaño de camada entre ambas especies puede deberse a muchos factores locales, como la abundancia y disponibilidad de alimento, patrones de mortalidad juvenil o adulta, entre otros (Pérez-Mendoza et al. 2014). La talla al nacer observada en este estudio (148 mm), esto es similar a lo reportado por Klauber (1972), que reporta un promedio de talla al nacer de 150 mm. Además, son tallas similares a las del grupo intermedius (McCraine, 1991), toda esta información es de suma importancia para este tipo de especies en el que la información que se conoce es muy limitada.

El lapso con mayor probabilidad de encuentros a lo largo del año fue el período comprendido entre abril-junio, esto principalmente se puede deber al pico de actividad para las serpientes (Pérez-Mendoza et al. 2018), ya que en este período los machos salen en busca de pareja para aparearse o por la disponibilidad de alimento, mientras que las hembras se encuentran en la última etapa de la gestación y por tanto también son más fáciles de detectar.

Con base en la distribución de los organismos dentro de nuestra zona de estudio, la presencia de estos individuos en las zonas con mayor perturbación sugiere cierta afinidad de la especie a zonas perturbadas, esto puede deberse principalmente a la fauna asociada al hombre, o al recurso alimenticio, en este caso lagartijas de la especie *Sceloporus grammicus* (Campbell, 1988), ya que se ha demostrado que la baja cantidad de árboles y la cantidad de arbustos o árboles de menor tamaño (estratos bajos) está asociado con algunas lagartijas (Gallina-Tessaro, 2011) y con esto la cantidad de incidencia de luz disponible para termorregular (Campbell y Lamar, 2004).

De acuerdo a la teoría del disturbio intermedio, podemos inferir que al haber un disturbio medianamente frecuente y no tan severo puede disminuir la población de las especies más dominantes dando lugar a las especies menos competitivas de aumentar su número y distribución en el sitio de estudio (Curtis et al. 2008). Por ejemplo, *C. triseriatus* es una especie con una amplia distribución y que tiende a ser abundante, la cual comparte hábitat con especies de este grupo como *C. transversus* y *C. tancitarensis* (Armstrong & Murphy, 1979; Alvarado-Diaz & Campbell, 2004), por tal motivo, podría competir con estas especies por el recurso alimenticio.

A pesar del efecto positivo del disturbio intermedio, la vulnerabilidad de las especies de serpientes al disturbio puede estar influida por diferentes factores. Por ejemplo, la existencia de caminos cubiertos con asfalto pueden generar el declive de sus poblaciones (Bernardino, 1991). Por otra parte, el disturbio puede estar asociado con una mayor heterogeneidad ambiental que se traduce en una mayor diversidad de ambientes térmicos,

lo cual permitiría a especies que son termoreguladoras activas, tener una mayor variedad de sitios para termorregular. Lo que pudimos observar en campo es que estas serpientes generalmente se encontraban tomando el sol entre el pasto o a lado de una roca (difícilmente tomando el sol directo) (Armstrong & Murphy, 1979), además de que tuvieron mayor actividad en días nublados y con neblina densa. Queda por estudiarse la termorregulación en esta especie, ya que todas las especies de víboras de cascabel se consideran heliotermas (ganan calor por exposición directa a radiación solar), lo que no coincide con nuestras observaciones en campo, este comportamiento se acercaría más a un comportamiento de tipo tigmotermo, es decir, que prefieren obtener calor por contacto con algún sustrato caliente (Zug et al. 2001).

Recientemente han ido tomando peso áreas emergentes como la ecología de carreteras, que se dedican a explicar el impacto que tienen las carreteras sobre las poblaciones de serpientes en relación a la muerte por atropellamiento, ya que se han documentado en estudios de reptiles, principalmente lagartijas, que algunas especies evitan este tipo de caminos, lo que supondría una barrera de flujo genético, reduciendo la diversidad genética de la población (Row et al. 2007). Podríamos esperar que *C. transversus* sea una especie que evite cruzar este tipo de barreras ya que se ha reportado que especies con mayor longitud son más propensas a cruzar las carreteras a diferencia de especies más pequeñas que lo evitan (Andrews & Gibbons, 2005)

Para la distribución potencial pudimos observar que en las figuras 2 y 3 a diferencia de las figuras 6 y 7 la omisión de los datos de prueba no se ajusta tan bien a la omisión predicha esto principalmente se puede deber a que nuestros datos de presencias usados para entrenamiento del modelo y para prueba están correlacionados espacialmente ya que todos derivan de la misma zona de estudio y el programa no detecta un amplio espectro de variables idóneas en las que el organismo se pueda distribuir (Phillips et al. 2010)

En cuanto a la orientación nosotros encontramos que las serpientes se encontraban en laderas encontradas hacia sur, sur-este lo cual concuerda con lo expuesto por Armstrong & Murphy (1979), sin embargo, esto fue contrario a lo obtenido por el programa MaxEnt que predice que la mayor entropía se encuentra en laderas orientadas hacia el Norte, lo que supondría un error en el muestreo ya sea por la precisión de los datos de coordenadas o bien en los datos obtenidos de sensores LiDAR.

De acuerdo a lo obtenido, la prueba de jackknife (fig. 26) nos indica que la sensibilidad de la especie a los cambios de altitud es muy alta ya que el rango de dispersión es muy bajo (400 m) (Campbell & Lamar, 2004) aunque supera el intervalo de altitud propuesto por Armstrong & Murphy (1979). La afinidad de la especie a zonas tan altas puede deberse a que sea una especie exitosa en la termorregulación, ya que se ha reportado que a estas altitudes existen valores medios de calidad térmica y temperatura operativa, aunque también este factor está altamente asociado a zonas abiertas con cobertura vegetal no tan densa (Lara-Reséndiz et al. 2014).

Lo anterior también puede deberse a hábitos termoconformistas, es decir, que es altamente dependiente a las temperaturas microambientales lo que supondría que la disponibilidad de recursos térmicos no es muy elevada (Villavicencio et al. 2012), ya que las temperaturas fluctúan demasiado entre el día y la noche y los picos de temperatura no permanecen estables por mucho tiempo. Esto queda apoyado de igual forma por Armstrong & Murphy (1979) en donde mencionan que se mantuvieron organismos en cautiverio en diferentes intervalos de temperatura, 26.5°C durante el día a 10°C durante la noche, 25-27 en el día a 20°C en la noche y temperaturas menor a 20°C durante todo el día, en el cual todos los organismos se veían afectados por estos tres intervalos de temperatura.

En cuanto a la variable de pendiente los resultados arrojados por el programa MaxEnt se acercan mucho a lo esperado, ya que muchas especies del género *Crotalus* (p. ejemplo *C. pricei*, *C. intermedius*, *C. transversus*) a menudo habitan en zonas con laderas muy empinadas (Armstrong & Murphy, 1979; Campbell & Lamar, 2004)

Lo que pudimos observar en nuestra población estudiada es que si bien el número de organismos es similar a los registrados en colecciones, la frecuencia de encuentros por año es muy baja lo que sugiere que esta especie tiene hábitos de vida aún desconocidos. Además, cabe resaltar que la especie se encuentra como “preocupación menor” en las lista roja de la IUCN por encontrarse dentro de los polígonos de áreas naturales protegidas como el Parque Nacional Cumbres del Ajusco y Lagunas de Zempoala (Flores-Villela, 2007), sin embargo, lo que pudimos observar es que estos organismos no se encontraban dentro del área sujeta a protección y el mapa de distribución potencial indica que su pico de probabilidad de distribución no cae dentro de algún polígono de conservación. Esto se puede deber a que desafortunadamente la mayoría de las áreas naturales protegidas son decretadas por motivos diferentes a la conservación de especies y con objetivos de conservación muy poco claros, esto generalmente se traduce polígonos de conservación que generalmente no incluyen el rango total de distribución de la especie protegiendo solamente las zonas circundantes a su distribución real (Urbina et al. 2009), lo que conlleva a que los organismos estén más expuestos a las actividades humana.

La interpolación de bases de datos climatológicas a nivel regional y con mayor resolución, es de suma importancia ya que proporciona información más completa y robusta que ayuden a respaldar la investigación científica y la toma de decisiones (Cuervo-Robayo et al. 2014). El presente estudio es una clara muestra de los retos que presenta la biología en el campo de la conservación, la baja resolución en las variables bioclimáticas puede crear un sesgo en la información y sobreestimar el área de distribución potencial de una especie

Además cabe resaltar que estos datos de presencias en Gbif pudieron ser casuales y no representa como tal la preferencia de hábitat de los organismos. De igual forma se debe considerar que el nicho realizado de las especies puede ser menor al nicho fundamental debido a la influencia del ser humano o de interacciones bióticas (competencia, depredación, etc.) (Phillips et al. 2006).

Conclusiones

- *C. transversus* es una especie que tiene cierta preferencia por ambientes medianamente perturbados por la disponibilidad de microhabitats para termorregular.
- De acuerdo al análisis de distribución potencial en el programa MaxEnt, *C. transversus* no excede el 1% del territorio mexicano, esto sugiere que es una especie muy rara por lo cual se debería reevaluar el estado de conservación propuesto por la IUCN.
- El área de distribución obtenida con variables microtopográficas fue mucho menor, en comparación con las capas bioclimáticas, principalmente por la resolución de las capas.
- La poca disponibilidad de capas a alta resolución complica la tarea de hacer un análisis predictivo más exacto.
- Ya que existe muy poca información sobre esta especie, es necesario continuar realizando estudios que ayuden a comprenderla mejor.

Bibliografía

- Abarca, J. G., (2013), ECOBIOSIS: Mitos y realidades sobre las serpientes , Museo Nacional de Costa Rica, Tomado de: <http://ecobiosis.museocostarica.go.cr/recursos/ZOOLOGIA/BiologiaCultural/serpientes/serpientes.aspx>, consultado el día 8/05/2017
- Alvarado, D. J. y J. Campbell 2004. *A new montane rattlesnakes (Viperidae) from Michoacán, México*. Herpetologica, 60(2), 281-286.
- Alvarado-Díaz J., Estrada-Virgen A. e I. Suazo-Ortuño. (2007). *Natural History Notes on Crotalus tancitarensis (Serpentes: Viperidae)*. Herpetological Review, 38(2), 155–157.
- Andrews, K. M. y J. W. Gibbons. (2005). *How Do Highways Influence Snake Movement? Behavioral Responses to Roads and Vehicles*. Copeia, Vol. 2005, No. 4 (Dec. 15, 2005), pp. 772-782
- Armstrong, B. L. y J. B. Murphy. (1979). *The Natural History of Mexican Rattlesnakes*. Kansas: Museum of Natural History University of Kansas Lawrence.
- Bernardino, F.S. Jr. y G. H. Dalrymple. (1991). *Seasonal activity and road mortality of the snakes of the Pa-hay-okee wetlands of Everglades National Park, USA*. Biological Conservation 1992, 62, 71-75.
- Blanchard, F.N. y E. B. Finster. (1933). *A method of making living snakes for future recognition, with a discussion of some problems and results*. Ecology 14:334-347.
- Campbell, J.A. (1988). *Crotalus transversus Taylor Cross-banded Mountain Rattlesnakes*. Catalogue of Amphibians and Reptiles. pp 450.1-450.3.

- Campbell, J.A., Formanowicz, D. R., y E. D. Brodie. (1989). *Potential impact of rattlesnake roundups on natural populations*. The Texas Journal of Science 41:301–317.
- Campbell J.A. y W.W. Lamar. (2004). *The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere*. Ithaca, New York.: Cornell University Press.
- Connell, J. (1978). *Diversity in tropical rain forest and coral reefs*. *JStor* 199:1302-1310
- Cuervo-Robayo, A.P., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M.A., Venegas-Barrera, C.S., Manjarrez, J. y E. Martínez-Meyer. (2013). *An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico*. *International Journal of Climatology*. 10.1002/joc.3848.
- Curtis, H. et al. (2008). *Biología: Interacciones en las comunidades*. Ed. Panamericana. 936 -937 pp.
- Denim, M, J., (2005). *Factors influencing the road mortality of snakes on the Upper Snake River Plain, Idaho*. Recent Work, Road Ecology Center, John Muir Institute of the Environment, UC Davis
- Gallina-Tesaro, S. (2011). *Capítulo 12: Características y evaluación del hábitat*. En Gallina-Tesaro, S. (Ed. 1a), *Manual de técnicas del estudio de fauna*. (pp. 255-283). Xalapa, México. INECOL.
- Flores-Villela, O. y J. A. Campbell. (2007). *Crotalus transversus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*: e.T64337A12771695.
- Fourcade, P. (2004). Mitología. En Bauchot, R. *Serpientes*. (pp. 185-194). Madrid: Tekal Ediciones.

- Gibbons, J., Scott, J., Ryan, T., Buhlmann, K., Tuberville, T., Metts, B., Greene, J., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S. y C. Winne. (2000). *The global decline of reptiles, Déjà Vu Amphibians*. BioScience 50:653-666
- Hansson, L., Fahrig, L. y G. Merriam. (1995) (eds.). *Mosaic landscapes and ecological processes*. Chapman & Hall.
- Klauber, L. (1972). *Rattlesnakes: their habits life histories and influence on mankind*. Second ed., Univ. California Press, Berkeley and Los angeles.
- Leopold, A. S. (1950). *Vegetation zones of México*. Ecology 31(4):507-518
- Martorell, C. y E. Peters. (2008). *Disturbance-Response Analysis: a Method for Rapid Assessment of the Threat to Species in Disturbed Areas*. Conservation Biology 23:377-387.
- McCraine, J. R. (1980). *Crotalus pricei Van Denburgh Twin-spotted rattlesnake*. Catalogue of American Amphibians and Reptiles. pp 266.1 - 266.2
- Means, D.B. (2008). *Effects of rattlesnake roundups on the eastern diamondback rattlesnake (Crotalus adamanteus)*. Herpetological Conservation and Biology 4(2):132-141.
- Morrone, J. y T. Escalante. (2016), *Introducción a la biogeografía*, México, D.F., Ed. U.N.A.M.
- Paredes, D., Ramírez, A. y M. Martínez. (2011). *Distribución y representatividad de las especies del género Crotalus en las áreas naturales protegidas de México*. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 689-700.
- Perez-Mendoza H. A., Sanabria-Tobón S. R., Jaramillo-Alba J. L., Solano-Zavaleta I., Vazquez-Vega L. F. y A. H. Vega-Perez. (2018). *Reproductive Traits of Dusky*

Rattlesnakes (Crotalus triseriatus) in Central México. Journal of Herpetology, Vol. 52, No. 1, 6–11, 2018

- Perez-Mendoza H. A., Zuñiga-Vega J. J., Martorell C., Zurita-Gutierrez Y. H., Solano-Zavaleta I., Hernandez-Rosas A.L. y A. Molina-Moctezuma. (2014). *Patterns of spatio-temporal variation in the survival rates of a viviparous lizard: the interacting effects of sex, reproductive trade-offs, aridity, and human-induced disturbance.* Popul Ecol 56:605–618
- Phillips, S., (2010). *A brief tutorial on Maxent.* Lessons in Conservation, Vol. 3, pp. 108-135
- Primack, R.B. (2014). *Essentials of conservation biology.* 6º Ed. Sinauer, Sunderland Maryland, E.U.A. 603 pp.
- Prival D.B., Matthew J. G., Swann D. E., Schwalbe C. R. y M. J. Schroff (2002). *Natural History of a Northern Population of Twin-Spotted Rattlesnakes, Crotalus pricei.* Journal of Herpetology, Vol. 36, No. 4, pp. 598–607, 2002
- Rabinowitz, D. (1981). *Seven forms of rarity.* The Biological Aspects of Rare Plant Conservation. (pp. 205-217
- Ramirez, A., Hernandez, U., García, U. O., Leyte, A. y L. Canseco. (2009). *Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación.*, México, D.F., Ed. CONABIO.
- Rosen, P. y C. Lowe. (1994). *Highway mortality of snakes in the Sonoran desert of southern Arizona.* Biological Conservation 68. 143-148.

- Row, J. R., Blouin-Demers, G. y P. J. Weatherhead. (2007). *Demographic effects of road mortality in black ratsnakes (Elaphe obsoleta)*. Elsevier. Biological conservation, 137, pp. 117 –124.
- Rudolph, D.C. y S. J. Burgdorf. (1997). *Timber rattlesnakes and Louisiana pine snakes of the West Gulf Coast Plain: hypotheses of decline*. Texas Journal of Science 49 (suppl. 3): 111-122.
- Schlaepfer, M., Hoover, C. y K. Dodd. (2005). *Challenges in Evaluating the Impact of the Trade in Amphibians and Reptiles on Wild Populations*. BioScience 55:256-264.
- Secco, H., Ratton, P., Castro, E., Lucas, P. S. y A. Bager. (2014). *Intentional snake road-kill: a case study using fake snakes on a Brazilian road*. Tropical Conservation Science Vol.7 (3):561-571. Available online: www.tropicalconservationscience.org
- Urbina-Cardona, J. N. y O. Flores-Villela. (2009). *Ecological-Niche Modeling and prioritization of Conservation-Area Networks for Mexican Herpetofauna*. Conservation Biology, Volume 24, No. 4, 1031–1041.
- Villavicencio H. J., Acosta J. C., Blanco G. M. y J. A. Marinero. (2012). *Ecología térmica de la lagartija endémica Liolaemus eleodori (Iguania: Liolaemidae) en el Parque Nacional San Guillermo, San Juan, Argentina*. Multequina vol.21 no.1
- Weir, J. (1992). *The Sweetwater Rattlesnake Round-Up: A Case Study in Environmental Ethics*. Conservation Biology, Vol. 6, No. 1 (Mar., 1992), pp. 116-127.
- Whittaker, R. H., (1960) *Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California*. Ecological Monographs, 30, 279-338.

- Zug GR., L. J. Vitt y J. P. Caldwell. 2001. *Herpetology: An introductory biology on amphibians and reptiles*. Segunda edición. Academic Press, San Diego, California, E.E.U.U.

Anexo

Anexo 1. Código con nombre de las variables bioclimáticas (Cuervo-Robayo et al. 2013).

Código	Nombre
Bio01	Temperatura media anual
Bio02	Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima)
Bio03	Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100)
Bio04	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)
Bio05	Temperatura máxima del mes más caliente
Bio06	Temperatura mínima del mes más frío
Bio07	Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6)
Bio08	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio09	Temperatura media del trimestre más seco
Bio10	Temperatura media del trimestre >más caliente
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio12	Precipitación total anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más caliente
Bio19	Precipitación del trimestre más frío