

Informe final* del Proyecto JM017
Modelos de distribución de especies de peces del centro de México

Responsable: Dr. Omar Domínguez Domínguez
Institución: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Biología
Laboratorio de Biología Acuática
Dirección: Av. Francisco J. Mújica s/n, Felicitas del Río, Morelia, Mich, 58040, México
Teléfono/Fax: (443) 3 95 15 00, Fax: 443 3167412
Fecha de inicio: Julio 13, 2012.
Fecha de término: Junio 19, 2017.
Principales resultados: Bases de datos, cartografía, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Domínguez-Domínguez O. y J. M. Ortega-Rodríguez. 2017. Modelos de distribución de especies de peces del centro de México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JM017.** Ciudad de México.

Resumen:

Los modelos de distribución potencial de especies a partir de datos curatoriales utilizando algoritmos específicos es una herramienta ampliamente utilizada, está siendo utilizada de manera rutinaria en los planes de conservación y manejo. Debido a la falta de datos a gran escala y de alta calidad de ambientes acuáticos, ha resultado en una pobre utilización de estas metodologías en organismos acuáticos, sin embargo, los pocos trabajos existentes para organismos acuáticos han dado resultados satisfactorios. El Centro de México es uno de los altiplanos tropicales más extensos del mundo, siendo además una zona de suma importancia en cuanto a diversidad de especies de peces de agua dulce, donde el 70% de las aproximadamente 100 especies de peces que existen son endémicas, por lo que está considerada por el World Conservation Monitoring Center como una de las regiones más importantes del mundo para la conservación de las especies de peces dulceacuícolas, mientras que algunas de ellas representan un importante recurso pesquero y cultural para muchos habitantes de las zonas lacustres. Sin embargo, los impactos humanos en esta zona son severos, siendo la zona más densamente poblada e industrializada de México, por lo que la gran mayoría de sus cuerpos de agua están contaminados y la mayoría de las especies de peces están en alguna categoría de riesgo. Por todo lo anterior, las investigaciones enfocadas a grupos de especies poco estudiadas y en grave riesgo, como los peces, son tareas urgentes, siendo el modelaje de la distribución potencial una herramienta importante a ser utilizada en el difícil camino a la conservación y sustentabilidad de los recursos ictiofaunísticos de esta región de México.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES DE PECES DEL CENTRO DE MÉXICO

CONABIO PROYECTO JM017

INFORME
MAYO 2017

DATOS GENERALES

Responsable Técnico: Dr. Omar Domínguez Domínguez

Corresponsable: Dr. Juan Manuel Ortega Rodríguez

Colaboradora Biól. Georgina Palacios Morales

Colaboradora Biól. Larissa Ortega Guzmán

INDICE	
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. METODOLOGIA DE TRABAJO	5
LOCALIDADES DE PRESENCIA	5
VARIABLES AMBIENTALES	11
Obtención de las variables	12
Colinealidad	15
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA REGION A MODELAR	18
MODELAJE DE LAS ESPECIES	23
Modelos MaxEnt	23
DESEMPEÑO DE LOS MODELOS	25
3. RESULTADOS	27
MODELOS AJUSTADOS	31
4. CONCLUSIONES	33
5. REFERENCIAS	35
ANEXOS	37
ANEXO 1. Distribución de las localidades con respecto a cuencas y regiones hidrográficas	37
ANEXO 2. Perfil ecográfico de las especies	45
ANEXO 3. Estadística descriptiva de las especies	54

RESUMEN

Los peces son el grupo de vertebrados más numerosos del planeta, así como el más amenazado. El centro de México presenta una inusual riqueza de especies de peces con un alto índice de endemismos, pero a la vez es de las zonas más degradadas del país, por lo que es considerado un punto caliente para la conservación de la diversidad íctica a nivel mundial. En décadas recientes se ha dado un auge en el interés sobre el modelaje de la distribución de las especies. Esto es el resultado del surgimiento de una creciente necesidad por la información referente a la distribución geográfica de la biodiversidad, así como por el desarrollo de nuevas técnicas y de datos apropiados para enfrentar esta demanda de información. Es por ello que el presente proyecto se enfoca en el modelado de la distribución de 70 especies de peces nativos del centro de México, de los cuales 69 (99%) son endémicas de la zona de estudio, de estas, 32 están enlistadas en la Norma Oficial Mexicana del 2010 y 17 en la lista roja de la UICN en alguna categoría de riesgo, mientras que 22 tienen importancia pesquera. A pesar que el modelaje de la distribución de especies de organismos acuáticos es escasa, los pocos trabajos realizados demuestran que es un método factible con las capas climáticas existentes en México, (Drake y Lodge, 2006; Domínguez-Domínguez et al., 2007; Costa y Schlupp, 2010). Se eliminaron un total de 28 especies, para las cuales no había el número suficiente de localidades de presencia. Se obtuvieron 42 modelos para las especies restantes, los cuales presentan buena capacidad predictiva, de acuerdo a la prueba desempeño aplicada. Se determinó que el mejor método para modelar este grupo fue MaxEnt, por lo que la entrega final de resultados se circunscribió a este conjunto de modelos y metadatos. El principal problema para modelar las especies incluidas en este proyecto fue la carencia de variables ambientales apropiadas para organismos con la historia de vida de los aquí considerados. Adicionalmente, la biogeografía de las especies es compleja, especialmente porque varias de las especies presentan distribuciones disyuntas que abarcan desde diferentes cuencas de la misma región hidrológica, hasta regiones hidrológicas separadas o incluso habitan en distintas provincias biogeográficas.

1. INTRODUCCIÓN

Para los biólogos, los ictiólogos y los que desarrollan las políticas de conservación y aprovechamiento de las especies, existe una creciente necesidad de entender la distribución de las especies acuáticas a escalas que van de lo local hasta lo global, así como de una mejor comprensión de los parámetros que la influyen. Entre las principales preocupaciones, se encuentra la respuesta de las especies a la alteración del paisaje por parte de los seres humanos, al cambio climático y a la eficacia de las estrategias de conservación.

El grupo más diverso de entre los vertebrados es el conformado por los peces de agua dulce con más de 10, 000 especies descritas. Los hábitats acuáticos han sido degradados a un nivel sin precedentes durante los últimos 20 años, provocando que las poblaciones de estos peces hayan disminuido drásticamente, llevando consigo a muchas especies a la extinción o al borde de esta, mientras que un gran número de pesquerías han colapsado (Lyons et al., 1998). Considerándose que aproximadamente un 20% de las especies conocidas estén amenazadas severamente (Duncan et al., 2001).

El Centro de México (sensu Domínguez-Domínguez y Pérez-Ponce de León, 2009) es uno de los altiplanos tropicales más extensos del mundo, siendo además una zona de suma importancia para muchas especies de peces de agua dulce. Esta zona es geológicamente compleja, con características limnológicas y bióticas únicas (Lyons et al., 2000). Debido a que se encuentra ubicada entre las zonas biogeográficas Neártica y Neotropical, es considerada una zona de transición, en la cual se sustenta una diversidad única de peces, contando con fauna representativa de ambas regiones. El centro de México presenta un importante número de endemismos, dentro del grupo de los peces, el 70% de las aproximadamente 100 especies nativas son endémicas, por lo que está considerada por el World Conservation Monitoring Center como una de las regiones más importantes del mundo para la conservación de las especies de peces dulceacuícolas (Domínguez-Domínguez et al., 2007b).

Los lagos del centro de México tienen un importante papel en la sociedad, presentando con un alto valor cultural, económico y biológico. Los recursos naturales provenientes

de estos ecosistemas acuáticos han sido usados desde la antigüedad por las grandes culturas precolombinas. Las modificaciones antropogénicas con mayor impacto en estos ecosistemas comenzaron con la llegada de los españoles, sin embargo, desde 1900 la mayoría de estos lagos han sido substancialmente reducidos e inclusive eliminados a causa de modificaciones hidrológicas o por la extracción de agua, mientras que algunos de ellos han sido severamente eutrofizados (Lyons et al., 2000). En la actualidad, los cuerpos de agua en estos ecosistemas están siendo degradados por la severa contaminación del agua, deforestaciones a las cuencas, modificaciones y fragmentación del hábitat, además de la introducción de especies exóticas y la sobrepesca (Domínguez-Domínguez et al., 2006b). Los manantiales, ojos de agua y humedales han sido drenados, entubados o pavimentados durante la expansión urbana (Duncan et al., 2001).

En décadas recientes se ha dado un auge en el interés sobre el modelaje de la distribución de las especies. Esto es el resultado del surgimiento de una creciente necesidad por la información referente a la distribución geográfica de la biodiversidad, así como por el desarrollo de nuevas técnicas y de datos apropiados para enfrentar esta demanda de información. Es por ello que el presente proyecto se enfoca en el modelado de la distribución de 70 especies de peces nativos del centro de México, de los cuales 69 (99%) son endémicas de la zona de estudio, de estas, 32 están enlistadas en la Norma Oficial Mexicana del 2010 y 17 en la lista roja de la UICN en alguna categoría de riesgo, mientras que 22 tienen importancia pesquera, ya sea comercial o de autosustento. Incluso algunas de ellas, como el género *Chirostoma* y *Algansea*, revisten importancia cultural para los habitantes de las riveras de los lagos de esta zona de México.

A pesar que el modelaje de la distribución de especies de organismos acuáticos es escasa, los pocos trabajos realizados demuestran que es un método factible con las capas climáticas existentes en México, registrándose una efectividad en la predicción que va del 95 al 98% en las especies de peces que se han modelado (Drake y Lodge, 2006; Domínguez-Domínguez et al., 2007; Costa y Schlupp, 2010). En otras partes del mundo también se han utilizado con éxito el modelaje de distribución de especies acuáticas, con una efectividad de la predicción mayor al 95% (Heikkinen et al., 2009;

Mynsberge et al., 2009), por lo que, los modelos predictivos para organismos acuáticos cada vez son más numerosos, a pesar de la escases de capas propias del medio acuático en la mayor parte del mundo.

2. METODOLOGIA DE TRABAJO

LOCALIDADES DE PRESENCIA

Para definir las localidades que se usaron para obtener los modelos de nicho ecológico se consultaron cinco fuentes de información en manos del Laboratorio de Biología Acuática de la Facultad de Biología, UMSNH (cuadro 1), partir de las cuales, después de un proceso minucioso de depuración y corroboración de la correcta localización de los puntos de muestreo mediante el programa Google Earth, se definieron 843 localidades únicas en base a sus coordenadas geográficas. En la figura 1 se muestra la distribución espacial de las mismas. Es importante aclarar que las localidades utilizadas fueron, con excepción de las provenientes de la Universidad de Michigan (UM) y del Instituto Politécnico Nacional (IPN), obtenidas en diferentes proyectos con trabajo de campo y todas fueron referenciadas mediante el uso de receptores GPS, para el caso de la UM y el IPN, todas las localidades utilizadas fueron corroboradas o corregidas con el programa Google Earth. También es pertinente señalar que las otras localidades fueron revisadas y corregidas en su geo-referencia y en su nomenclatura taxonómica en un trabajo previo realizado por Pedraza Marrón (2011), del Laboratorio de Biología Acuática de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el cual fue el punto de partida para realizar los análisis posteriores.

Debido a que algunas localidades de la base de datos, al ser obtenidas en campo, no contenían información del municipio al cual pertenecían, se realizó un cruzamiento de las mismas con las Áreas Geoestadísticas Municipales versión 5.0A, 2010 (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/>), a fin de actualizar el campo correspondiente de la base de datos.

Mediante el SIG se realizó cruzamiento de las localidades de presencia con el conjunto de variables ambientales para obtener una matriz con el perfil ecogeográfico de las especies, la cual fue procesada con el programa Statistica 10®. Se obtuvieron los valores mínimo, máximo, media y desviación estándar (D.E.), así como diagramas del tipo “Box-Whisker” para cada variable y las especies.

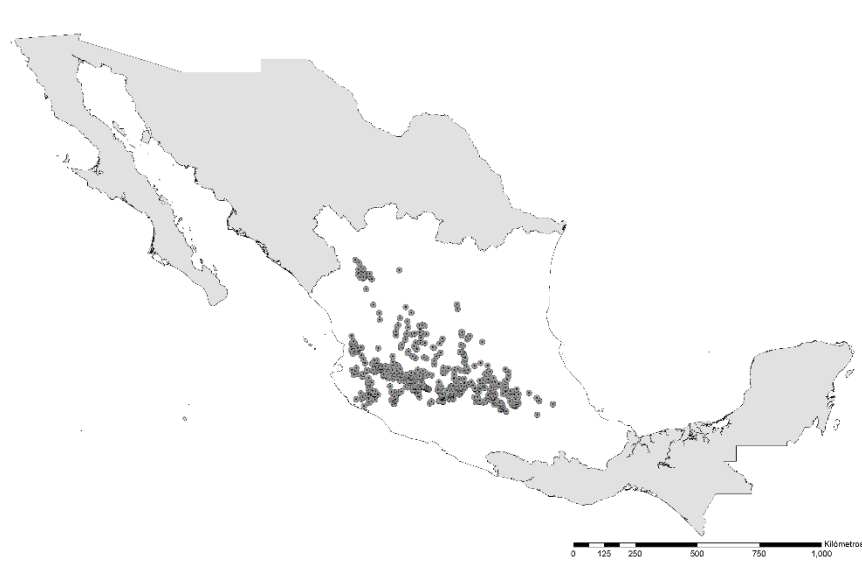


Figura 1. Distribución de las localidades de presencia.

Cuadro 1. Colecciones consultadas.

COLECCIÓN

CPUM- Colección de Peces de la Universidad Michoacana

IPN- Colección de Peces del Instituto Politécnico Nacional

LYONS- Registros privados del Dr. Jhon Lyons

MATT- Registros Privados del Dr. Matt Helmuth

UMMZ- Colección de Peces de la Universidad de Michigan

El total de localidades recopilado para este estudio fue de 843, distribuidas entre las 70 especies propuestas originalmente. Sin embargo, se decidió que para aquellas especies con 1 a 4 localidades (28), no se harían modelos. En el siguiente cuadro se enlistan las especies no modeladas y aquellas para las que si se realizaron modelos.

Cuadro 2. Listado de especies y número de localidades.

Especies para las cuales no se hicieron modelos	
<i>Chapalichthys peraticus</i>	1
<i>Chirostoma bartoni</i>	1
<i>Chirostoma labarcae</i>	1
<i>Chirostoma melanococcus</i>	1
<i>Zoogoneticus tequila</i>	1
<i>Allotoca goslinei</i>	2
<i>Allotoca meeki</i>	2
<i>Allotoca regalis</i>	2
<i>Allotoca zacapuensis</i>	2
<i>Chirostoma aculeatum</i>	2
<i>Chirostoma chapalae</i>	2
<i>Chirostoma sphyraena</i>	2
<i>Skiffia bilineata</i>	2
<i>Tetrapleurodon spadicea</i>	2
<i>Allodontichthys polylepis</i>	3
<i>Chapalichthys pardalis</i>	3
<i>Notropis calientis</i>	3
<i>Notropis marhabatiensis</i>	3
<i>Skiffia francesae</i>	3
<i>Allodontichthys hubbsi</i>	4
<i>Allotoca catarinae</i>	4
<i>Allotoca diazi</i>	4
<i>Allotoca maculata</i>	4
<i>Chirostoma consocium</i>	4
<i>Chirostoma patzcuaro</i>	4
<i>Hubbsina turneri</i>	4
<i>Tetrapleurodon geminis</i>	4
<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i>	4
Subtotal de especies	28
Subtotal de localidades	74
Especies modelas sensu Pearson et al., 2007	
<i>Ameca splendens</i>	5
<i>Xenophorus captivus</i>	5
<i>Yuriria chapalae</i>	5
<i>Algansea popoche</i>	6
<i>Notropis amecae</i>	6
<i>Chirostoma riojai</i>	7
<i>Xenotoca eiseni</i>	7
<i>Xenotoca melanosoma</i>	7
<i>Algansea lacustris</i>	8

<i>Characodon lateralis</i>	8
<i>Chirostoma estor</i>	8
<i>Algansea aphansea</i>	9
<i>Algansea barbata</i>	9
<i>Allodontichthys tamazulae</i>	9
<i>Chirostoma attenuatum</i>	9
<i>Chirostoma lucius</i>	9
<i>Moxostoma austrinum</i>	9
<i>Xenotaenia resolanae</i>	10
<i>Yuriria amatlana</i>	10
<i>Algansea monticola</i>	12
<i>Chirostoma arge</i>	12
Subtotal de especies	21
Subtotal de localidades	170
Especies modelas sensu Phillips et al., 2004, 2006	
<i>Algansea amecae</i>	14
<i>Algansea avia</i>	14
<i>Girardinichthys viviparus</i>	14
<i>Yuriria alta</i>	14
<i>Algansea tincella</i>	15
<i>Allodontichthys zonistius</i>	15
<i>Xenotoca variata</i>	15
<i>Characodon audax</i>	16
<i>Skiffia lermiae</i>	16
<i>Chirostoma humboldtianum</i>	19
<i>Skiffia multipunctata</i>	19
<i>Chapalichthys encaustus</i>	20
<i>Allotoca dugesii</i>	21
<i>Ictalurus dugesii</i>	21
<i>Allophorus robustus</i>	24
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>	28
<i>Zoogoneticus purhepechus</i>	29
<i>Notropis sallaei</i>	43
<i>Chirostoma jordani</i>	47
<i>Poeciliopsis infans</i>	83
<i>Goodea atripinnis</i>	112
Subtotal de especies	21
Subtotal de localidades	769
TOTAL DE ESPECIES	70
TOTAL DE LOCALIDADES	843

En el cuadro 3 se presenta el hábitat para cada una de las 42 especies que fueron seleccionadas para modelaje.

Cuadro 3. Hábitat de las especies.

ESPECIES	LAGOS	RIOS	ARROYOS	MANANTIALES
<i>Algansea amecae</i>		X		
<i>Algansea aphanes</i>		X		
<i>Algansea avia</i>		X	X	
<i>Algansea barbata</i>	X	X		
<i>Algansea lacustris</i>	X			
<i>Algansea monticola</i>		X		
<i>Algansea popoche</i>	X			
<i>Algansea tincella</i>		X	X	
<i>Allodontichthys tamazulae</i>		X		
<i>Allodontichthys zonistius</i>		X	X	
<i>Allophorus robustus</i>	X	X	X	
<i>Allotoca dugesii</i>			X	X
<i>Ameca splendens</i>			X	X
<i>Chapalichthys encaustus</i>	X			X
<i>Characodon audax</i>				X
<i>Characodon lateralis</i>				X
<i>Chirostoma arge</i>		X	X	
<i>Chirostoma attenuatum</i>	X			
<i>Chirostoma estor</i>	X			
<i>Chirostoma humboldtianum</i>	X			
<i>Chirostoma jordani</i>	X		X	
<i>Chirostoma lucius</i>	X			
<i>Chirostoma riojai</i>		X		X
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>			X	X
<i>Girardinichthys viviparus</i>	X			
<i>Goodea atripinis</i>	X	X	X	
<i>Ictalurus dugesii</i>	X	X		
<i>Moxostoma austrinum</i>		X		
<i>Notropis amecae</i>			X	
<i>Notropis sallaei</i>			X	X
<i>Poeciliopsis infans</i>	X			X
<i>Skiffia lermæ</i>	X			X
<i>Skiffia multipunctata</i>	X			X
<i>Xenophorus captivus</i>			X	X
<i>Xenotaenia resolanae</i>		X		
<i>Xenotoca eiseni</i>		X	X	X
<i>Xenotoca melanosoma</i>				X

ESPECIES	LAGOS	RIOS	ARROYOS	MANANTIALES
<i>Xenotoca variata</i>	X	X	X	X
<i>Yuriria alta</i>		X	X	
<i>Yuriria amatlana</i>		X		
<i>Yuriria chapalae</i>	X			
<i>Zoogoneticus purhepechus</i>			X	X

VARIABLES AMBIENTALES

Para desarrollar los modelos de distribución potencial, se utilizó un conjunto de variables ambientales que fueron obtenidas a partir de diversas fuentes y, en algunos casos, generadas expresamente para este trabajo (Cuadro 4). En el siguiente cuadro se muestra la lista de las variables utilizadas.

Cuadro 4. Listado de variables ambientales.

Variable	Descripción
Topográficas	
SLOPE	Pendiente (grados)
TPI	Topographic Position Index (adimensional)
Climáticas	
TMAXWM	Temperatura máxima promedio del mes más cálido (°C*10)
TMINCM	Temperatura mínima promedio del mes más frío (°C*10)
PPEC	Precipitación de la época de crecimiento (mm) (abril a septiembre)
Hidrológicas	
DHL	Distancia a corrientes perennes e intermitentes (escala byte)
DHA	Distancia a cuerpos de agua (escala byte)

Los parámetros de cobertura de las variables se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Parámetros espaciales de las variables ambientales.

UL corner longitude	106° 29' 23.7356" W
UL corner latitude	26° 36' 16.5793" N
UR corner longitude	94° 39' 53.7527" W
UR corner latitude	26° 36' 16.5793" N
LR corner longitude	94° 39' 53.7527" W
LR corner latitude	16° 41' 16.5936" N
LL corner longitude	106° 29' 23.7356" W
LL corner latitude	16° 41' 16.5936" N
Proyección	Geográfica (Latitud/Longitud)
Datum	WGS84
Unidades de proyección	Arc degrees
Código EPSG	EPSG:4326
Área de Cobertura	1,350,034 km ²
No. Columnas	1420
No. Renglones	1191
Pixel X (arc degrees)	0.008333333
Pixel Y (arc degrees)	0.008333333
Pixel X (metros)	≈ 1000
Pixel Y (metros)	≈ 1000

Las coordenadas que definen los límites de las variables corresponden al área mostrada en la figura 1.

Obtención de las variables

Variables climáticas

Estas fueron adquiridas del portal del Moscow Forestry Sciences Laboratory (<http://charcoal.cnre.vt.edu/climate/current/>), correspondientes al período climático normal de 1961 a 1990. La cobertura original de las variables era de los -177° a los -52° de longitud y de los 13.9° a los 80° de latitud, correspondiente a toda Norteamérica. Posteriormente, mediante un SIG se hizo un recorte para el área de estudio (ver cuadro anterior), tomando como referencia el área definida por las cuencas hidrológicas.

Variables topográficas

Estas se generaron a partir de un modelo digital de elevaciones (MDE) con resolución de aproximadamente 1000 metros (0.0083333333 arc degrees), el cual se obtuvo de la base de datos Worldclim (<http://www.worldclim.org/current>). Este fue recortado para ajustarlo al área de trabajo, tal como se hizo para las variables climáticas. Para obtener la variable pendiente (SLOPE), se utilizó la extensión DEM Surface Tools para ArcGIS 10 (Jennes, 2013). Esta se calculó a partir de los gradientes direccionales Este-Oeste (G) y Norte-Sur (H), en la dirección de máxima pendiente, mediante la siguiente fórmula, donde S es la pendiente en grados:

$$S = \text{atan} \sqrt{G^2 + H^2 \left(\frac{180}{\pi} \right)}$$

El Topographic Position Index (TPI), se obtuvo mediante la extensión Land Facet Corridor Designer (Jenness *et al.*, 2013). El TPI es la diferencia entre el valor de elevación de una celda y la elevación promedio de las celdas vecinas. Valores positivos en una celda indican que esta se encuentra en una posición más alta que las celdas circundantes, mientras que valores negativos indican lo contrario, tal como se muestra en la figura 2 (tomada de Jenness *et al.*, 2013). Esta variable, en combinación con la pendiente, indica la ubicación de una localidad en el contexto de las topoformas.

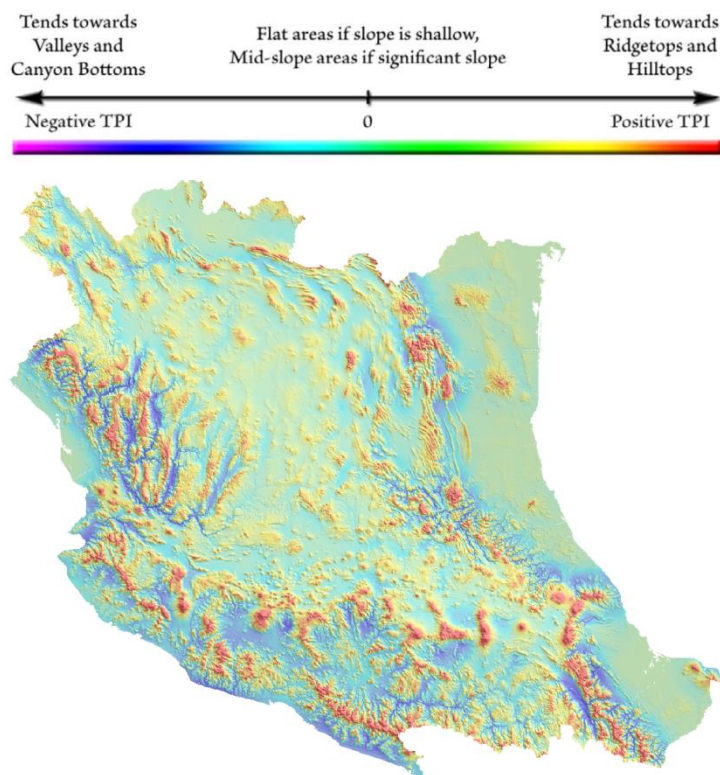


Figura 2. Significado de los valores del TPI (arriba)
Mapa de TPI (abajo).

Variables hídricas

Se descendieron las redes hidrográficas y la de cuerpos de agua, de 69 cuencas a partir del portal de INEGI (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/Topografia/Descarga.aspx>), a escala 1:50,000, edición 2.0, que cubrían la porción central de México (ver figura 1)

Considerando que las especies objeto de este trabajo se distribuyen en sistemas lóticos y lénticos, se decidió que se generarían dos variables en las que se ponderara la distancia a estos objetos geográficos. Mediante un SIG se calculó la distancia lineal en todas las direcciones posibles y, posteriormente, se hizo la conversión de la misma a valores en una escala byte (0 a 255), mediante una función de pertenencia a conjuntos difusos de tipo lineal monotónica descendente. Esto permitió asignar un valor mayor a las áreas más cercanas a ríos y lagos, así como valores decrecientes en función de la

distancia a los mismos. La escala de valores byte permite obtener archivos que ocupan menor espacio de almacenamiento, ya que cada pixel solo almacena un byte. En la figura 3 se aprecian los mapas resultantes de este proceso. Los valores iguales o cercanos a 255 indican cercanía a los sistemas lóticos o lénticos, mientras que valores pequeños se asocian a sitios cada vez más alejados a los mismos. El efecto que esto tiene es de asignar un mayor peso a los sitios en donde las especies han sido observadas, permitiendo que los modelos se ajusten más a las condiciones en que habitan las especies.

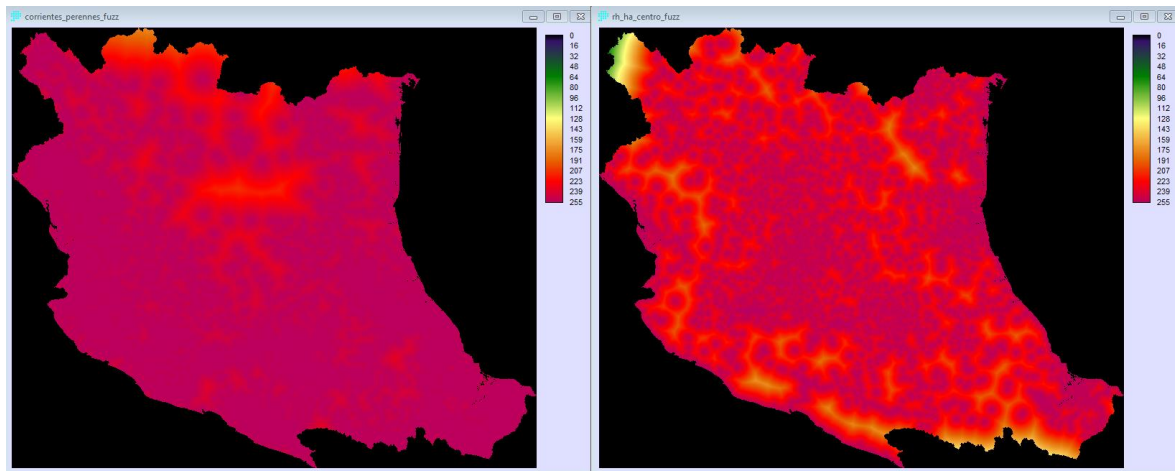


Figura 3. Variables hidrográficas: DHL (izquierda); DHA (derecha).

Colinealidad

Para evitar la colinealidad se realizó un análisis de correlación entre las variables mediante el uso del conjunto de scripts presentados en el SDMtoolbox (Brown, 2014). Los resultados se muestran en la figura 4.

STATISTICS of INDIVIDUAL LAYERS					
Layer		MIN	MAX	MEAN	STD
1	SLOPE	0.0000	41.0000	3.6573	4.4314
2	TMAXWM	49.0000	413.0000	311.7901	37.8394
3	TMINCM	-68.0000	197.0000	71.2873	50.0062
4	PPEC	149.0000	3318.0000	691.6554	368.1217
5	TPI	-1236.0000	3240.0000	-1.9445	297.6593
6	DHL	175.0000	255.0000	248.4987	9.1312
7	DHA	61.0000	255.0000	234.3056	18.4595

COVARIANCE MATRIX							
Layer	1	2	3	4	5	6	7
1	11.42403	-18.98925	10.25707	279.10569	200.53725	5.09789	-14.29391
2	-18.98925	837.68318	705.58042	498.22878	-3842.53668	-6.08727	99.01229
3	10.25707	705.58042	1462.97803	6401.41737	-2841.05878	86.32412	77.11344
4	279.10569	498.22878	6401.41737	79281.78198	1666.73426	964.23128	-283.04985
5	200.53725	-3842.53668	-2841.05878	1666.73426	51824.13501	-59.96576	-740.50741
6	5.09789	-6.08727	86.32412	964.23128	-59.96576	48.78066	-2.18842
7	-14.29391	99.01229	77.11344	-283.04985	-740.50741	-2.18842	199.35453

CORRELATION MATRIX							
Layer	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00000	-0.19411	0.07934	0.29327	0.26063	0.21595	-0.29952
2	-0.19411	1.00000	0.63736	0.06114	-0.58319	-0.03011	0.24229
3	0.07934	0.63736	1.00000	0.59439	-0.32628	0.32314	0.14279
4	0.29327	0.06114	0.59439	1.00000	0.02600	0.49031	-0.07120
5	0.26063	-0.58319	-0.32628	0.02600	1.00000	-0.03771	-0.23038
6	0.21595	-0.03011	0.32314	0.49031	-0.03771	1.00000	-0.02219
7	-0.29952	0.24229	0.14279	-0.07120	-0.23038	-0.02219	1.00000

Figura 4. En donde: 1 = Pendiente, 2 = TMAXWM, 3 = TMINCM, 4 = PPEC, 5 = TPI, 6 = DHL y 7 = DHA

En todos los casos, la correlación entre variables fue menor a 0.65.

Justificar el uso de las variables anteriores para su aplicación a la generación de modelos de distribución de las especies consideradas en este proyecto no es sencillo. Se revisó la literatura para tratar de establecer si existe un consenso en cuanto a qué variables son más apropiadas para un estudio como este, sin embargo, las propuestas son diversas y en algunos casos se encontró que se utilizaron variables difíciles de obtener o producir para las condiciones de México, principalmente debido a la escasez de información. En el cuadro 6 se muestra un resumen de las diversas propuestas de

conjuntos de variables para modelar la distribución de especies acuáticas similares a las de este trabajo.

Cuadro 6. Resumen de diversas propuestas de variables usadas para modelar la distribución de especies acuáticas.

Referencia	Número de variables	Listado de las variables
McNyset, 2005	13	Annual average high temperatura, Aspect, Average surface slope, Depth to seasonally high water table, Elevation, Flow accumulation, January average high temperature, July average high temperature, July average precipitation, Potential vegetation coverage, Soil organic matter content, Strahler stream order, Wetness index.
Domínguez-Domínguez et al., 2006	14	Elevation, Slope, Aspect, Flow accumulation and Flow direction, Topographic index, Annual mean temperatura, minimum, máximo, and mean temperatura and anual precipitation.
Herborg et al., 2007a	9	Wetness Index, Slope, River discharge, Ground frost frequency, Maximum air temperature, Mean air temperature, Minimum air temperature, Wet day index, Mean daily precipitation.
Herborg et al., 2007b	12	Ground frost frequency, Precipitation, Wet day frequency, Slope, Aspect, Topographic index, spring ocean surface temperature, river discharge, mean river temperature y temperature media, minima y maxima del air.
Sharm and Jackson, 2007	--	Monthly air temperature data
Hopkins and Burr, 2009	25	Percent proportion of agricultural land use, Percent proportion of pasture land use, Percent proportion of forest land cover, Percent proportion of developed/exposed land use, Number of agricultural patches per 100 hectares, Number of pasture patches per 100 hectares, Number of forest patches per 100 hectares, Number of developed/exposed patches per 100 hectares, Mean agriculture patch size in hectares, Mean pasture patch size in hectares, Mean forest patch size in hectares, Mean developed/exposed patch size in hectares, Total patch density per 100 hectares, Probability of adjacent cells being the same LULC type, Percent proportion of fine-loamy soils, Percent proportion of fine soils, Percent proportion of fine-silty soils, Percent proportion of clayey soils, Percent proportion of coarse-silty soils, Percent proportion of loamy-skeletal soils, Percent proportion of alluvium/coal measure, Percent proportion of flysch, Percent proportion of molasses, Percent proportion of shale carbonate, Percent proportion of shelf carbonate.
Kulhanek et al., 2011	9	Maximum air temperature, Minimum air temperature, Growth degree days, Annual precipitation, Lake area, Maximum depth, Total nitrogen, Total alkalinity, Carlson's trophic state index.

Un aspecto importante a señalar, es que en algunos casos, la selección de las variables se basa en el conocimiento de la tolerancia fisiológica y las preferencias del hábitat de las especies, cuando estas se conocen (Kulhanek et al., 2011). En otros casos (McNyset, 2005; Herborg et al., 2007b), se parte de un número grande de variables y se establece algún método de optimización que permita determinar que variables, por ejemplo, minimizan el error de omisión en los modelos, seleccionando aquellas que se mantienen debajo de cierto umbral, lo cual reduce el número de variables a usar en el modelaje.

En el caso de este proyecto, la selección de las variables se basó, en parte, en Domínguez-Domínguez *et al.*, (2006), considerando la información disponible, pero se incluyen otras variables no usadas en ese trabajo.

Como se mencionó previamente, se presenta un comparativo de variables usadas en diferentes estudios. Destaca la heterogeneidad de propuestas, pero en la mayoría de los casos, son medidas indirectas de las condiciones ambientales las que son utilizadas para desarrollar los modelos. Es importante señalar que debido a la escases de variables ambientales apropiadas, no se seleccionaron conjuntos de variables particulares para cada especie modelada. Sin embargo, como se presentará en los resultados, las variables ambientales usadas contribuyen de manera diferente en cada caso.

Criterio de selección de la región a modelar (M)

A fin de determinar cuál es la **M** más apropiada, las localidades de presencia fueron cruzadas contra tres tipos de información: (1) regiones hidrológicas, (2) cuencas y (3) provincias biogeográficas de México (CONABIO, 1997). Las dos primeras en función de la naturaleza de las especies y su relación con los rasgos hidrológicos continentales y la última por ser un sistema de regionalización de consenso, que integra la distribución de diversos organismos, aunada a los aspectos morfotectónicos.

En el anexo 1 se muestra la distribución de las localidades de cada especie con respecto a las regiones y las cuencas hidrológicas. Cabe aclarar que se incluyen las 70 especies.

Un aspecto que resalta del cuadro anterior es que varias especies presentan distribuciones disyuntas. Además de que existen especies ampliamente distribuidas y especies con distribución restringida, por ejemplo, *Poeciliopsis infans* se encuentra en 4 regiones hidrológicas y en 15 cuencas distintas, mientras que *Xenotaenia resolanae*, se presentan en una sola región hidrológica y en una cuenca (figura 5).

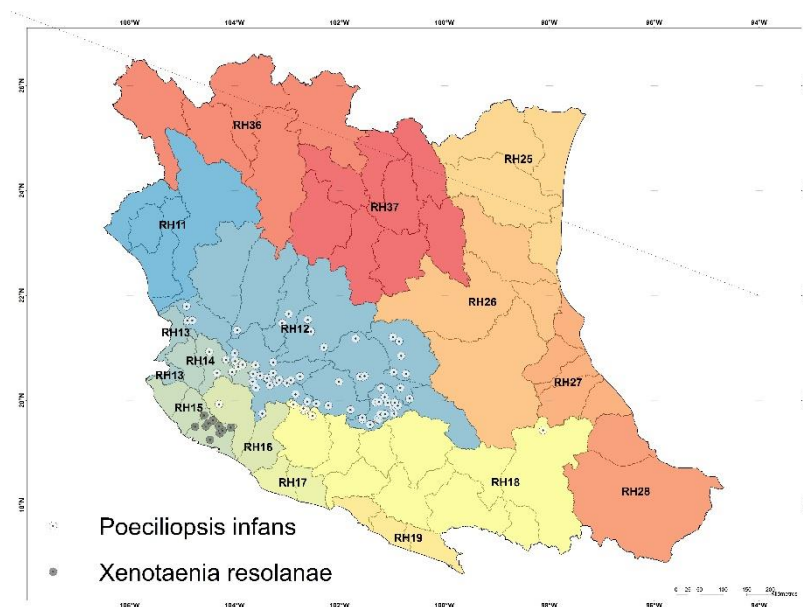


Figura 5. Ejemplos de las diferencias en la amplitud de las áreas de distribución de dos especies por regiones hidrológicas.

Por lo que, tenemos que 42 especies están restringidas a una región hidrológica, mientras que 13 especies se presentan en dos, 10 especies en tres, 3 especies en cuatro regiones y 2 especies en 5 regiones. Lo anterior se vuelve más complicado si se considera la distribución de las especies con respecto a las cuencas hidrológicas.

Al intersectar las localidades con las Provincias Biogeográficas, el resultado es similar a lo que ocurre con los rasgos hidrológicos, en total 40 especies se presentan en una sola provincia, 22 en dos provincias, 5 especies en tres provincias y 3 especies en cuatro provincias biogeográficas (figura 6).

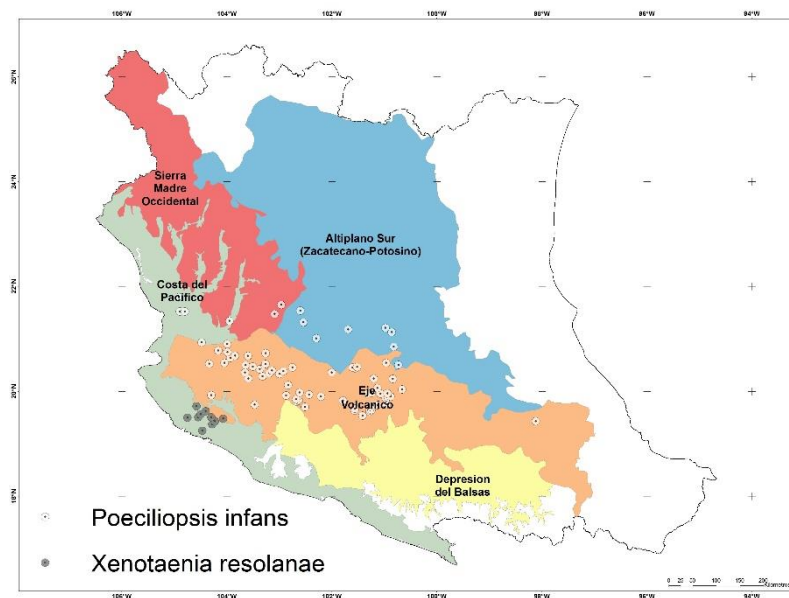


Figura 6. Ejemplos de las diferencias en la amplitud de las áreas de distribución de dos especies por provincias biogeográficas.

Lo anterior plantea un problema al tratar de decidir el área a modelar. En principio, partimos de la idea de que las especies aquí consideradas tienen una capacidad de dispersión limitada, del tipo correspondiente a lo que se denomina “Mundo de Wallace” (<http://nicho.conabio.gob.mx/conceptos-y-teoria/diagrama-bam/casos-extremos-del-bam>), siendo esta capacidad limitada de dispersión la principal limitante para hacer una estimación del área ocupada. Los peces no son capaces de dispersarse sobre la superficie terrestre, solo lo hacen por medio de corredores acuáticos y solo cruzan los

límites entre cuencas cuando estas se conectan por eventos geológicos o por medios artificiales. Así, tanto la dispersión como la vicariancia son aspectos que se encuentran subyacentes a los patrones biogeográficos de los peces dulceacuícolas. En estos casos, el nicho fundamental (A en el diagrama BAM), contendrá al área ocupada (figura 7). Esto representa un problema complicado para los algoritmos de modelaje. En todo caso, al usar únicamente datos de presencia, la estimación obtenida se aproxima a la representación del componente A del diagrama BAM. El tener especies que se distribuyen en varias regiones o cuencas hidrográficas, en donde los límites físicos (divisorias de las cuencas), conforman barreras a la dispersión, hace complicado establecer una hipótesis que permita hacer un post-procesamiento de los modelos para tener una aproximación al área ocupada. Por tanto, definir los límites de la M es una decisión difícil. Está fuera del ámbito de este trabajo el explicar la complejidad de los patrones de distribución de las especies aquí modeladas (ver Miller, 2009), pero a fin de presentar los resultados del proceso de modelaje, se tomó la decisión de ajustar los modelos siguiendo la propuesta de Domínguez-Domínguez et al., (2006), quienes presentan una zonificación de 23 regiones biogeográficas para los goodeidos. Este último ajuste nos permite eliminar aquellas áreas en las que, por la características limitadas de dispersiva de los peces, sería prácticamente imposible encontrarlos. En la figura 8 se presenta un ejemplo de como se hizo el ajuste.

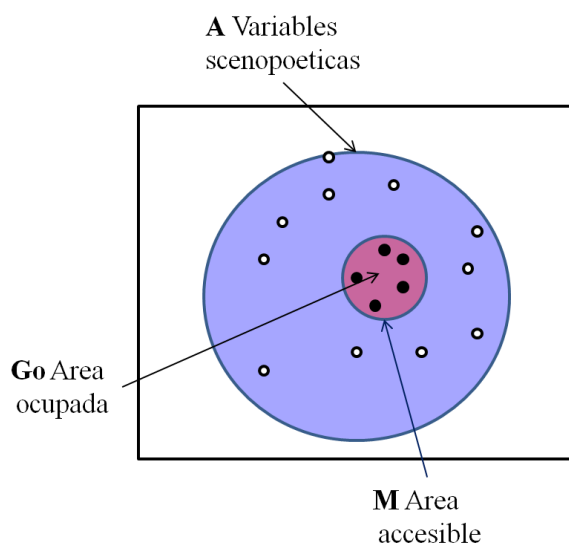
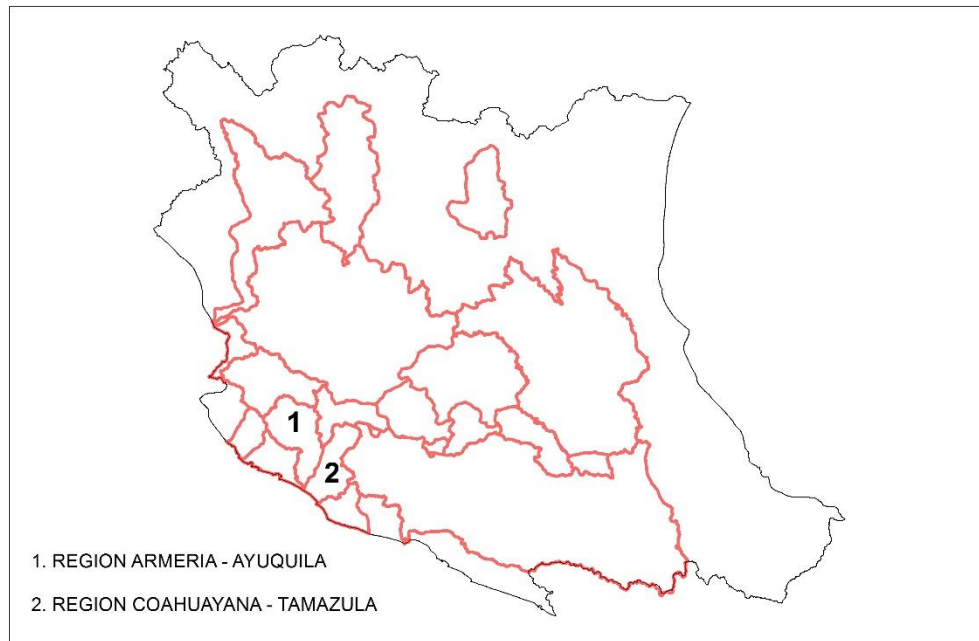


Figura 7. Mundo de Wallace (tomado de: <http://nicho.conabio.gob.mx/conceptos-y-teoria/diagrama-bam/casos-extremos-del-bam>)

(a)



(b)

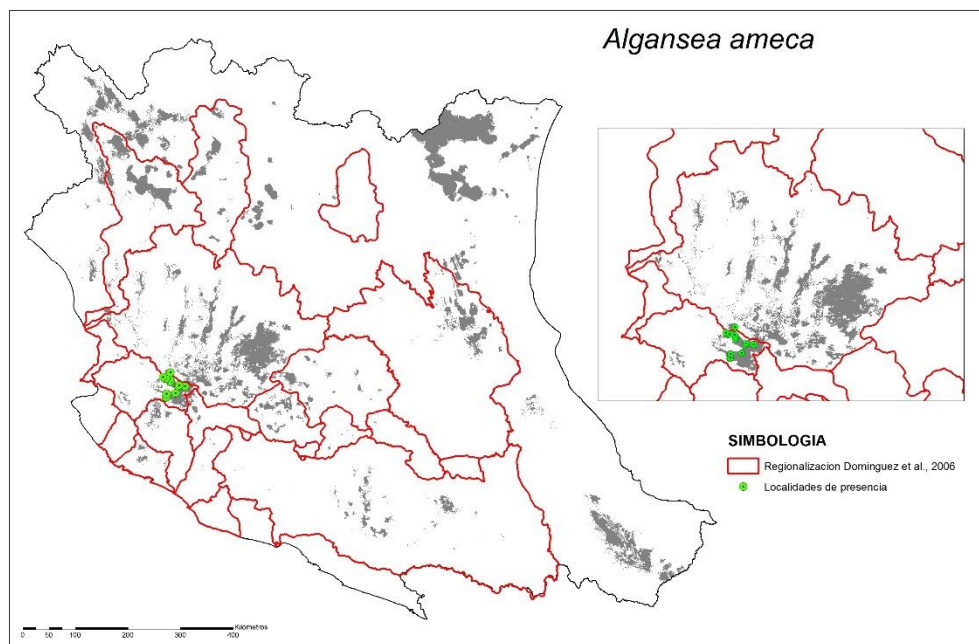


Figura 8. (a) Ejemplo del ajuste de los modelos para eliminar áreas de sobrepredicción. Las líneas rojas representan las regiones biogeográficas para goodeidos sensu Domínguez-Domínguez et al., 2006. (b) Los círculos verdes representan las localidades de presencia de la especie. La figura en el recuadro de la derecha representa el modelo final, después de los ajustes.

PERFIL ECOGEOGRAFICO DE LAS ESPECIES

Mediante el programa Statistica 10®, se realizó un análisis del comportamiento de las localidades de presencia de las especies en cada una de las siete variables utilizadas para el modelaje (Cuadro 7). Se consideraron solo las 56 especies que tenían más de 3 localidades y la estadística descriptiva por especie se muestra en el Anexo.

Cuadro 7.- Variables en el modelaje:

Variable	Descripción
SLOPE	Pendiente (grados)
TMAXWM	Temperatura máxima del mes más caliente (°C*10)
TMINCM	Temperatura mínima del mes más frío (°C*10)
PPEC	Precipitación de la época de crecimiento (mm)
TPI	Topographic Position Index (adimensional)
DHL	Distancia a corrientes perennes e intermitentes (escala byte de aptitud)
DHA	Distancia a cuerpos de agua (escala byte de aptitud)

Modelaje de las especies

A partir de la revisión de los 843 registros de presencia, se decidió que solo se modelaría aquellas especies que tuvieran un número mínimo de 5 localidades de presencia, esto debido a la falta de soporte de las predicciones cuando el número de localidades es menor a 5. En el cuadro 2 se enlistan las especies modeladas y las excluidas.

Modelos Maxent

Las 42 especies con más de cinco registros de presencia fueron divididas en dos grupos, aquellas que tenían entre 5 y 12 localidades de presencia (21 especies) y aquellas que contaban con más de 12 localidades para modelar. Las localidades de estas últimas se dividieron al azar en dos grupos, donde uno de ellos (70%) se utilizó para obtener el modelo (entrenamiento) y el otro conjunto (30%) para probar su desempeño predictivo (prueba). Para aquellas especies con números de localidades entre 5 y 12, se implementó una técnica de modelaje sensu Pearson *et al.*, 2006, en la

cual se realizó un proceso de jackknifing, configurando las réplicas necesarias para cada especie en el software Maxent.

Los modelos se obtuvieron con el software Maxent v3.3.3k, con los parámetros estándar para las especies con localidades ≥ 14 , tal como se muestra en las capturas de pantalla de la interface del programa (Figura 9), mientras que para las especies con ≤ 12 y ≥ 5 localidades de presencia, se hicieron los ajustes correspondientes a Maxent, para que corriera las réplicas necesarias para cada especie con el jackknifing.

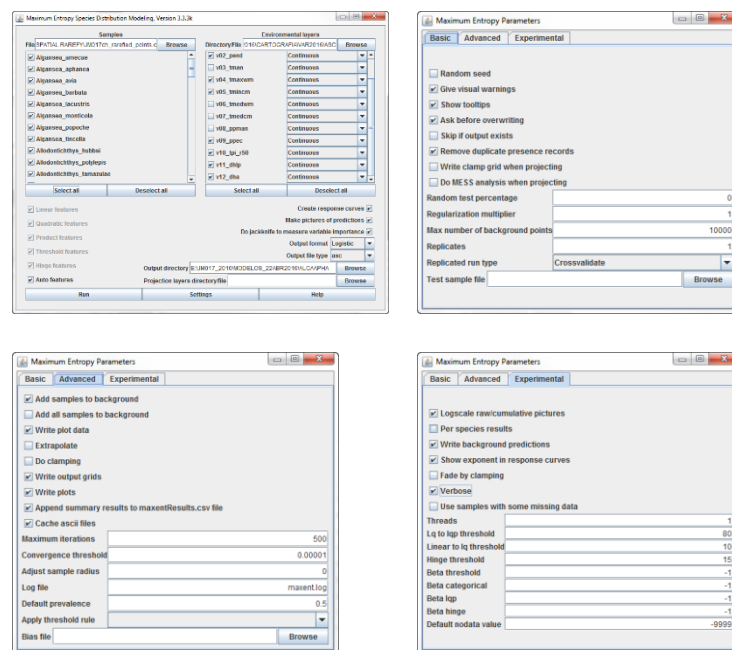


Figura 9. Configuración del software Maxent.

Desempeño de los modelos

Para probar el desempeño de los modelos que se generaron para especies que tuvieron entre 5 y 12 localidades únicas se siguió la técnica de modelaje sensu Pearson *et al.*, (2006), en la cual se realizó un proceso de jackknifing, configurando las réplicas necesarias para cada especie en el software Maxent.

Para probar el desempeño de los modelos con más de 12 localidades, se aplicó una prueba simple de χ^2 , para lo cual fue necesario convertir los modelos logísticos a modelos binarios. El criterio utilizado fue el del umbral mínimo de presencia. El

procedimiento se realizó mediante el script *Quick Reclassify to binary*, del conjunto de herramientas para ArcGis presentes en la extensión SDMTools v1.1b (Brown, 2014). Evaluamos la validez de la predictibilidad de cada modelo mediante el uso de localidades de prueba previamente extraídas al azar y no usadas para la construcción de los modelos. La coincidencia entre los datos independientes de prueba y los modelos predictivos fue evaluada usando la prueba de χ^2 para determinar si los puntos de prueba caen con mayor frecuencia que lo esperado al azar, dentro de regiones predichas como de presencia de la especie (Fielding y Bell, 1997). También decidimos reportar el valor de AUC de la ROC completa que calcular MaxEnt.

Todos los modelos fueron convertidos al formato de intercambio arcraster ascii y se presentan en formato binario (0 = ausencia y 1 = presencia). Debido a que los archivos arcraster ascii no pueden tener un nombre mayor a 13 caracteres, el nombre asignado a los modelos binarios sin ajuste del área de distribución potencial, se estructuró tomando las cuatro primeras letras del nombre genérico y las primeras cuatro del epíteto específico, mientras que para los modelos post-procesados para ajustar el área modelada y eliminar la sobrepredicción, se siguió la misma regla anterior y solo se añade al final del nombre la letra *w*, para indicar que fueron ajustados (Cuadro 8).

Cuadro 8. Ejemplo de los nombres asignados a cada una de las especies según el modelo utilizado

Tipo de modelo	Nombre Científico	Nombre de archivo ASCII (*.asc)
Sin ajuste de área / binario	<i>Algansea tincella</i>	algatinc.asc
Con ajuste de área / binario	<i>Ictalurus dugesii</i>	ictadugew.asc

RESULTADOS

De las 70 especies propuestas originalmente para este proyecto, se eliminaron 28 (ver cuadro 2), por carecer de un número suficiente de localidades para modelar (≤ 4). Se decidió no implementar ninguna estrategia para intentar producir modelos bajo condiciones de localidades escasas, aun cuando hay algunas propuestas metodológicas para esto (Ferreira de Siqueira *et al.*, 2008 y Pearson *et al.*, 2007).

Los resultados de la evaluación de los modelos para las 21 especies con números de localidades que varía desde 5 hasta 12 se presentan en el cuadro 9. De estas, solo *Ameca splendens*, *Chirostoma estor* y *Xenotaenia resolanae*, presentan desempeños predictivos bajos. Sin embargo, dada la distribución restringida de estas especies, consideramos que son útiles para indicar la importancia de su conservación, a pesar de su bajo desempeño en la prueba de jackknifing de Pearson *et al.* 2006.

Cuadro 9. Resultados de la evaluación realizada *sensu* Pearson *et al.* (2006), para los modelos ≤ 12 localidades. En rojo las especies con desempeño predictivo bajo.

No.	ESPECIE	N	q	p	AUC PROMEDIO
1	<i>Ameca splendens</i>	5	0.40	0.04673	0.896
2	<i>Xenophorus captivus</i>	5	0.60	0.00017	0.971
3	<i>Yuriria chapalae</i>	5	0.60	0.00053	0.959
4	<i>Algansea popoche</i>	6	0.67	0.00005	0.802
5	<i>Notropis amecae</i>	6	0.83	0.00000	0.991
6	<i>Chirostoma riojai</i>	7	0.86	0.00000	0.998
7	<i>Xenotoca eiseni</i>	7	0.71	0.00013	0.939
8	<i>Xenotoca melanosoma</i>	7	0.71	0.00331	0.814
9	<i>Algansea lacustris</i>	8	0.88	0.00000	0.955
10	<i>Characodon lateralis</i>	8	0.75	0.00000	0.953
11	<i>Chirostoma estor</i>	8	1.00	0.00079	0.945
12	<i>Algansea aphanea</i>	9	1.00	0.00000	0.944
13	<i>Algansea barbata</i>	9	0.89	0.00000	0.998
14	<i>Allodontichthys tamazulae</i>	9	0.89	0.00008	0.877
15	<i>Chirostoma attenuatum</i>	9	1.00	0.00000	0.999
16	<i>Chirostoma lucius</i>	9	0.89	0.00001	0.932
17	<i>Moxostoma austrinum</i>	9	0.78	0.00016	0.915
18	<i>Xenotaenia resolanae</i>	10	1.00	0.0	0.879
19	<i>Yuriria amatlana</i>	10	1.00	0.00000	0.976
20	<i>Chirostoma arge</i>	12	0.75	0.00000	0.965
21	<i>Algansea monticola</i>	12	1.00	0.00000	0.975

Donde:

N = No. de localidades / modelos

q = tasa de éxito

p = probabilidad ($p < 0.05$)

AUC Promedio = Este valor se calculó a partir del AUC de los modelos parciales obtenidos mediante el jackknifing.
El número de valores de AUC promediados es igual a la columna N del cuadro

Insumos para el cálculo de la tasa de éxito y la probabilidad con pValueCompute.exe

Species #1	X_i	MTPA*	Species #8	X_i	MTPA	Species #13	X_i	MTPA	Species #18	X_i	MTPA
	1	0.104		0	0.1297		1	0.0044		1	0.1015
	1	0.1186		1	0.2328		1	0.0045		1	0.1402
	0	0.1012		1	0.2076		1	0.0044		0	0.1321
	0	0.0272		1	0.2076		1	0.0045		1	0.1402
	0	0.0272		1	0.2076		1	0.0045		1	0.0998
Species #2	X_i	MTPA		0	0.1297		1	0.0045		0	0.1017
	1	0.039		1	0.2017		1	0.0043		0	0.1017
	0	0.0167	Species #9	X_i	MTPA		0	0.0042		0	0.1321
	1	0.039		1	0.1077		1	0.0045		0	0.088
	0	0.0062		1	0.1257	Species #14	X_i	MTPA		0	0.1321
	1	0.039		1	0.1254		1	0.239	Species #19	X_i	MTPA
Species #3	X_i	MTPA		0	0.0254		0	0.1397		1	0.059
	0	0.0696		1	0.1278		1	0.2684		1	0.0603
	0	0.0696		1	0.1135		1	0.2474		1	0.0545
	1	0.0751		1	0.1266		1	0.2612		1	0.0607
	1	0.0498		1	0.1278		1	0.2391		1	0.0545
	1	0.0498	Species #10	X_i	MTPA		1	0.2514		1	0.0607
Species #4	X_i	MTPA		1	0.0678		1	0.2612		1	0.0501
	1	0.0615		1	0.0678		1	0.2684		1	0.0545
	1	0.0586		0	0.0443	Species #15	X_i	MTPA		1	0.0607
	1	0.0653		1	0.0731		1	0.0074	Species #20	X_i	MTPA
	1	0.0653		1	0.074		1	0.0094		1	0.103
	0	0.0158		0	0.0402		1	0.0076		1	0.1159
	0	0.0158		1	0.0678		1	0.0086		1	0.1039
Species #5	X_i	MTPA		1	0.074		1	0.0074		1	0.1714
	1	0.0111	Species #11	X_i	MTPA		1	0.0086		1	0.0885
	0	0.0062		0	0.0611		1	0.0076		1	0.0885
	1	0.0078		0	0.0611		1	0.0075		1	0.0954
	1	0.0111		1	0.0603		1	0.0074		1	0.1012
	1	0.0078		1	0.0643	Species #16	X_i	MTPA		1	0.1133
	1	0.0111		1	0.0632		1	0.2041		1	0.1133
Species #6	X_i	MTPA		0	0.0611		1	0.1998		1	0.1012
	1	0.0031		0	0.0611		1	0.1936		1	0.1133
	1	0.0031		1	0.0632		0	0.1122		1	0.103
	0	0.0009	Species #12	X_i	MTPA		1	0.1942	Species #21	X_i	MTPA
	1	0.0035		1	0.1694		1	0.1942		1	0.0978
	1	0.0026		1	0.1694		1	0.1916		0	0.032
	1	0.0036		1	0.1822		1	0.2041		1	0.078
	1	0.0029		1	0.2015		1	0.1998		1	0.0817
Species #7	X_i	MTPA		1	0.1712	Species #17	X_i	MTPA		1	0.0797
	1	0.1218		1	0.2015		1	0.2307		1	0.0851
	1	0.1218		1	0.1828		1	0.2071		1	0.0817
	1	0.1099		1	0.1732		1	0.1903		0	0.032
	0	0.051		1	0.2015		1	0.2148		1	0.078
	0	0.051					1	0.2148		1	0.078
	1	0.1218					1	0.1903		1	0.0594
	1	0.1013					0	0.1251		0	0.0559
							1	0.194			
							0	0.0934			

Para el segundo grupo (21 especies), que contiene números de localidades que van desde 14 hasta 112, se obtuvieron modelos de distribución potencial usando la metodología estándar propuesta por Phillips et al., (2004; 2006). Para este caso todos los modelos presentan un desempeño predictivo aceptable, con valores de $p > 0.05$ en la prueba de χ^2 y el AUC de la ROC completa (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resultados de la prueba de desempeño de los modelos con localidades ≥ 14 utilizando dos metodologías de evaluación: Xi cuadrada y el valor de AUC de la ROC completa.

ESPECIE	LOC	AREA PRESENCIA	Chi ²	p	AUC
<i>Algansea amecae</i>	14	3592	114.0	6.7109E-27	0.988
<i>Algansea avia</i>	14	4600	29.9	2.3403E-08	0.961
<i>Girardinichthys viviparus</i>	14	28463	65.7	2.6875E-16	0.989
<i>Yuriria alta</i>	14	226219	6.2	0.00732928	0.927
<i>Algansea tincella</i>	15	163737	3.2	0.04499821	0.936
<i>Allodontichthys zonistius</i>	15	72141	38.9	2.3347E-10	0.915
<i>Xenotoca variata</i>	15	231385	3.7	0.03271904	0.930
<i>Characodon audax</i>	16	23118	72.0	1.0654E-17	0.985
<i>Skiffia lermæ</i>	16	56979	30.3	1.8998E-08	0.944
<i>Chirostoma humboldtianum</i>	19	83133	6.1	0.00762683	0.935
<i>Skiffia multipunctata</i>	19	38505	11.6	0.000364	0.912
<i>Chapalichthys encaustus</i>	20	9972	70.7	2.1619E-17	0.945
<i>Allotoca dugesii</i>	21	128361	9.3	0.0012296	0.963
<i>Ictalurus dugesii</i>	21	380706	3.9	0.02878351	0.951
<i>Alloophorus robustus</i>	24	22341	85.8	1.0191E-20	0.980
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>	28	51804	74.7	2.8073E-18	0.978
<i>Zoogoneticus purhepechus</i>	29	58809	11.3	0.00041393	0.979
<i>Notropis sallaei</i>	43	65610	50.2	7.1042E-13	0.976
<i>Chirostoma jordani</i>	47	308788	9.4	0.0012099	0.948
<i>Poeciliopsis infans</i>	83	210718	48.9	1.3436E-12	0.957
<i>Goodea atripinnis</i>	112	295617	37.2	5.5187E-10	0.941

En casi todos los casos, los modelos estiman el área de presencia de las especies fuera de sus límites naturales de distribución natural (región biogeográfica *sensus* Domínguez-Domínguez et al., 2016), por ejemplo, *Algansea lacustris*, que es una especie endémica al Lago de Pátzcuaro, se observa que el modelo incluye otras áreas lacustres de la región, tales como los lagos de Chapala, Zirahuén y Cuitzeo como sitios potenciales de presencia, sin embargo, debido a su limitada capacidad de dispersión y al carácter endorreico de Pátzcuaro, la especie es incapaz de colonizar (Figura 10).

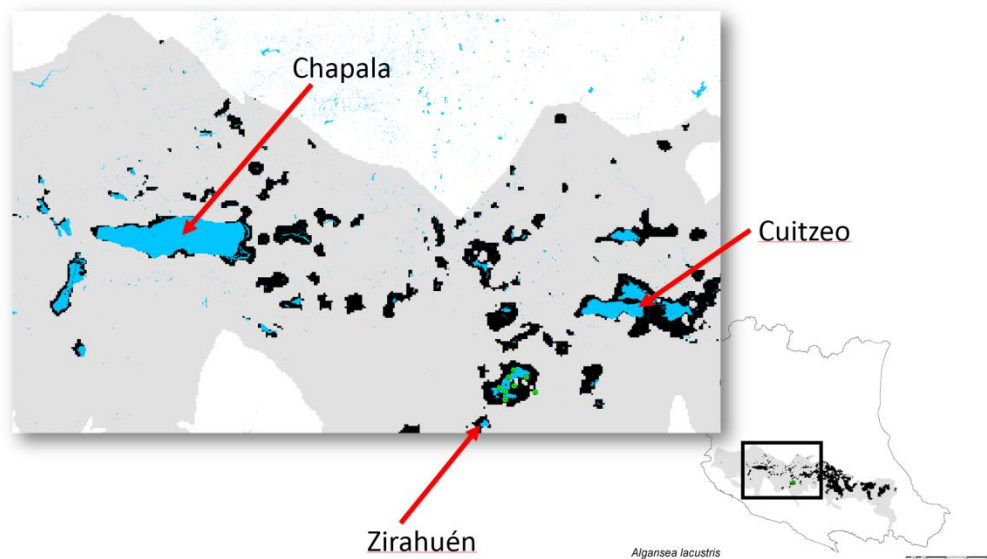


Figura 10. Modelo de distribución potencial de *A. lacustris*. Las flechas rojas indican otros lagos con áreas potenciales de presencia de la especie. Puntos verdes, únicas localidades conocidas de presencia de la especie. El color negro corresponde al modelo y en azul los lagos y otros cuerpos de agua.

Otro ejemplo de una especie de preferencias a corrientes y ríos es *Algansea monticola*, donde también se observa una sobreestimación del área de distribución, las cuales están principalmente asociadas a corrientes (Figura 11).

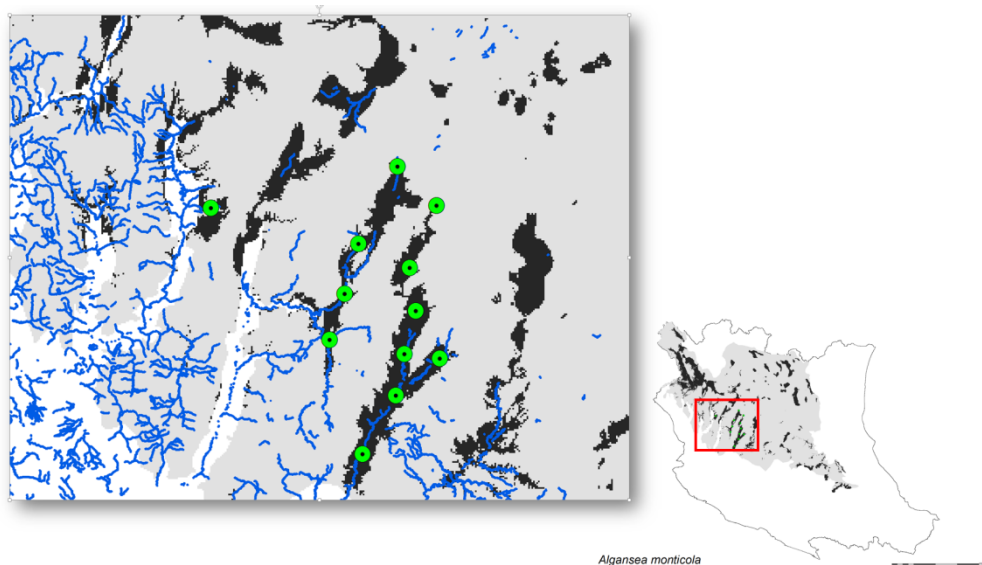
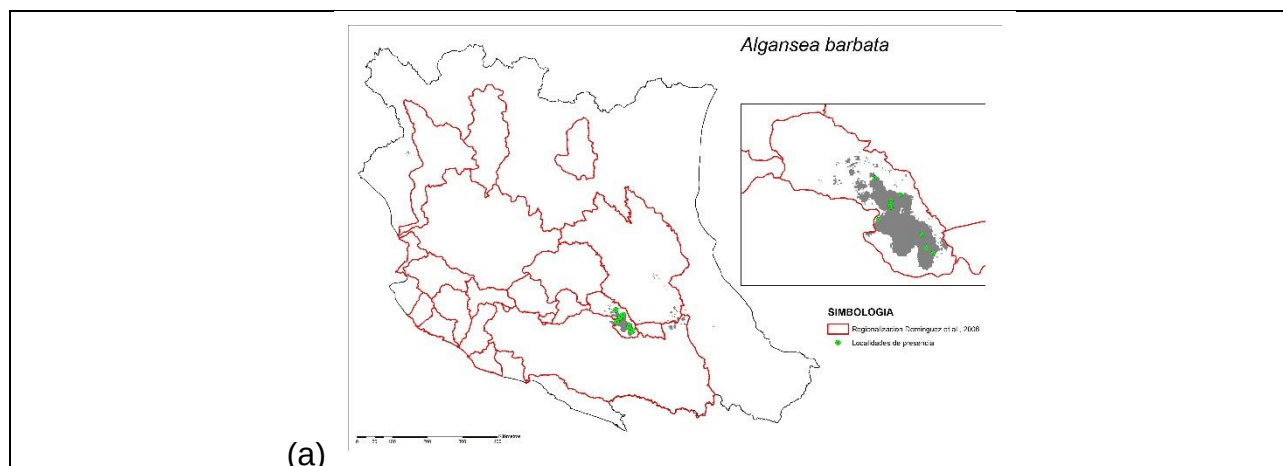
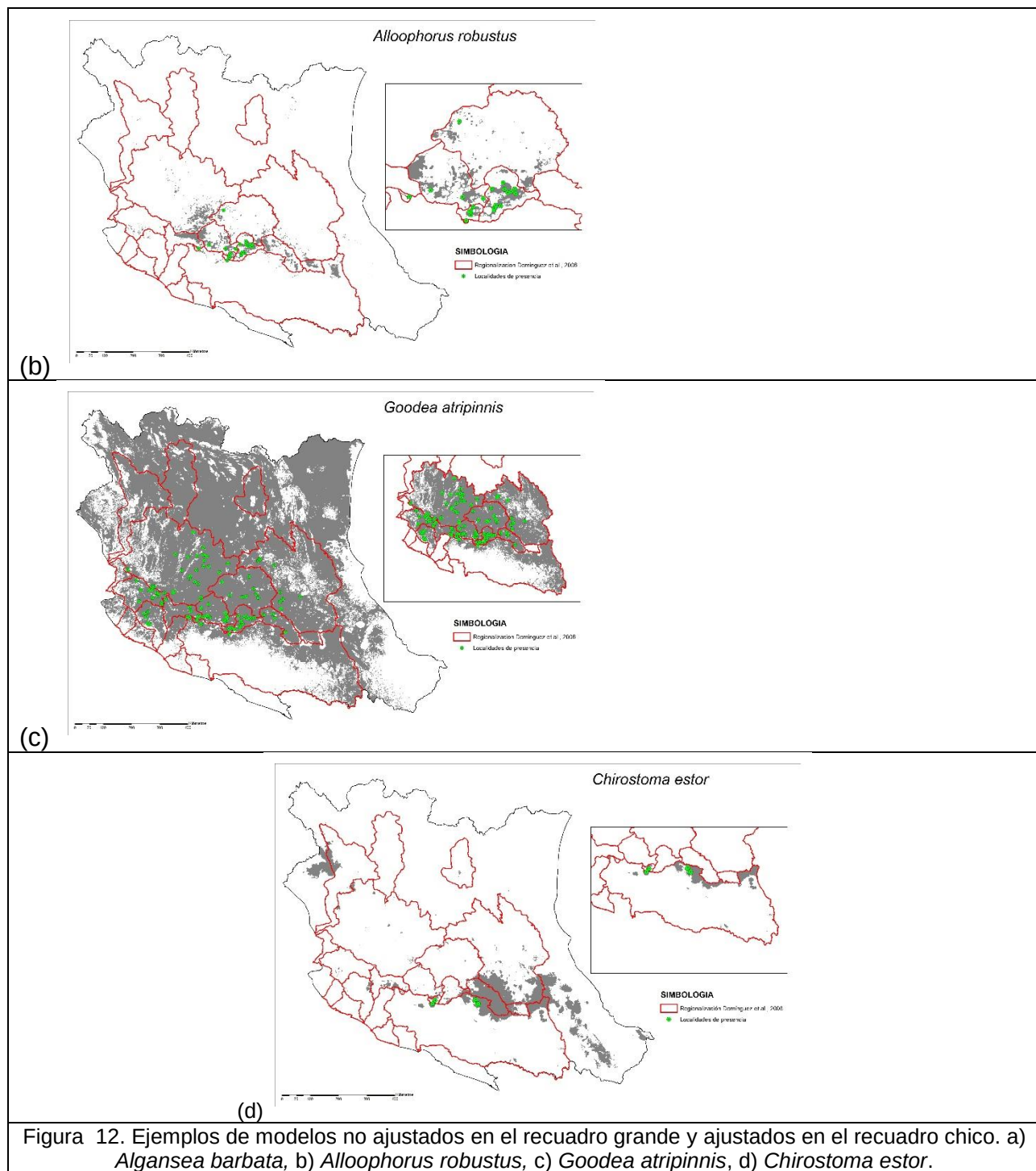


Figura 11. Modelo de distribución potencial de *A. monticola*. En azul las corrientes perennes. En negro el modelo. Las localidades de presencia son los puntos verdes.

Modelos ajustados

Por lo que, al aplicar el ajuste de acuerdo a las biogeográficas propuestas por Domínguez-Domínguez et al., (2006), permitió ajustar los modelos a las distribuciones naturales de cada especie, eliminando aquellas áreas en las cuales los modelos predecían, pero que debido a características evolutivas y de movilidad de las especies, es improbable que se distribuyan de manera natural (Figura 12).





CONCLUSIONES

En términos generales, la evaluación de los 42 modelos con las variables utilizadas es aceptable, por lo que consideramos que pueden reflejar de manera adecuada la distribución potencial de las especies en sus zonas naturales de distribución. En muchos casos los modelos de distribución predecían la presencia de la especie en regiones donde no han sido registradas y son incapaces de colonizar, esto debido a las características de aislamiento de las regiones, la incapacidad de las especies para moverse entre cuerpos de agua aislados y la historia evolutiva de las mismas, ya que los cuerpos de agua siguen un modelo de biogeografía de islas (Domínguez-Domínguez et al., 2006), por lo que las especies solo podrían colonizar cuerpos de agua donde no se distribuyen de manera natural por medio de la introducción o traslocación humana. Los modelos no ajustados son una herramienta que ayuda a predecir el potencial invasivo de especies nativas que pudieran ser trasladadas a sitios donde no se distribuían de manera natural, pudiéndose convertir en una grave amenaza a la diversidad íctica, como ocurre con especies exóticas traídas de otros países o continentes. Es decir, una especie nativa que es trasladada a áreas donde no se distribuyen de manera natural, así sea la cuenca contigua, es una especie exótica con un potencial invasivo, el cual debe ser considerado a la par de cualquier especie extranjera. En este sentido, los modelos ajustados a las regiones biogeográficas reflejan de mejor manera la distribución potencial de las especies en áreas donde naturalmente podrían distribuirse, por lo que deben tomados como los modelos de distribución potencial “real” de las especies.

Sin duda, uno de los principales problemas para modelar los peces continentales es la carencia de variables ambientales adecuadas, así como la resolución espacial suficiente para cubrir las sutiles variaciones ambientales que determinan la presencia de las mismas. Adicionalmente, todas estas capas de información, son exclusivamente referidas a datos climáticos, pero que no aportan mucho a las condiciones más relacionadas con el hábitat de los peces de aguas continentales, además de que existe un desconocimiento general acerca de cuáles son las dimensiones ambientales que definen el nicho ecológico de las especies de peces dulceacuicolas. Por esta razón, se decidió generar variables que nos ayudaran a tratar de definir aspectos relacionados

con el hábitat de las especies. Por lo que, las variables aquí generadas, las cuales ponderan la distancia a zonas de cuerpos de agua lénticos y lóticos, permitió definir mejor las áreas de distribución de las especies (ver figuras 9 y 10). Una variable adicional que se generó es un Índice de Posición Topográfica (TPI por sus siglas en inglés), la cual permitió indicar la posición de una localidad de presencia en el contexto de las topoformas. Es decir los valores de TPI indicaban, para el caso de lagos y ríos, la posición en el fondo de valles o cañadas, como corresponde a la ruta natural que siguen los escurrimientos que los alimentan. El desarrollo de estas tres variables permitió dar un mayor peso a los hábitats de las especies, específicamente los sistemas lóticos (ríos, arroyos y manantiales) y los sistemas lénticos (lagos, lagunas, etc.), lo que, en combinación con las otras variables ambientales utilizadas, mejoró sustancialmente los modelos predictivos. Por lo que sería deseable incorporarlas en trabajos futuros de este tipo, así como probar su contribución a los modelos de especies con historias de vida diversas.

REFERENCIAS

- Eastman, J. R. 2012 Idrisi Selva Manual. Clark Labs. Clark University. www.clarklabs.org. 322 pp.
- Ferreira de Siqueira, M., Durigan, G., de Marco Júnior, P. and A.T. Peterson. 2008. Something from nothing: Using landscape similarity and ecological niche modeling to find rare plant species. *Journal for Nature Conservation* 17: 25-32.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. and A. T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.* 34(1): 102-117.
- Phillips, S. J., Dudík, M. and R. E. Schapire. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, pages 655-662.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. and A. T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.* 34(1): 102-117.
- Phillips, S., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**: 231-259.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. (1997) A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24, 38–49.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1997). 'Provincias biogeográficas de México'. Escala 1:4 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- Rush Miller, R. 2009. Peces dulceacuícolas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana A. C., El colegio de la Frontera Sur y Consejo de los Peces del Desierto México-Estados Unidos. México, D.F

Brown, J.L. 2014. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution* (5):694-700.

Jenness, J. 2013. DEM Surface Tools for ArcGIS (surface_area.exe). Jenness Enterprises. Available at: http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm.

Jenness, J., B. Brost and P. Beier. 2013. Land Facet Corridor Designer: Extension for ArcGIS. Jenness Enterprises. Available at: http://www.jennessent.com/arcgis/land_facets.htm

ANEXO 1. Distribución de las localidades de cada especie con respecto a las cuencas y las regiones hidrológicas.

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
Algansea amecae											
P. LA VEGA - COCULA				5							5
R. AMECA - ATENGUILLO				3							3
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		6									6
Algansea aphanea											
R. ARMERIA						3					3
R. COAHUAYANA						6					6
Algansea avia											
R. AMECA - IXTAPA				1							1
R. HUICICILA - SAN BLAS			4								4
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		9									9
Algansea barbata											
R. LERMA - TOLUCA		9									9
Algansea lacustris											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		8									8
Algansea monticola											
R. BOLAÑOS		4									4
R. HUAYNAMOTA		1									1
R. JUCHIPILA		7									7
Algansea popoche											
L. CHAPALA		4									4
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		2									2
Algansea tincella											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		1									1
R. LAJA		1									1
R. LERMA - CHAPALA		6									6
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
R. MOCTEZUMA								1			1
R. TAMU								1			1
R. VERDE GRANDE		4									4
Allodontichthys hubbsi											
R. COAHUAYANA						4					4
Allodontichthys polylepis											
R. AMECA - ATENGUILLO				3							3
Allodontichthys tamazulae											
R. COAHUAYANA						9					9
Allodontichthys zonistius											
R. ARMERIA						15					15

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
Alloophorus robustus											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		17									17
R. LERMA - CHAPALA		4									4
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
R. TEPALCATEPEC							1				1
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							1				1
Allotoca catarinae											
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							4				4
Allotoca diazi											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		3									3
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							1				1
Allotoca dugesii											
L. CHAPALA		1									1
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		10									10
R. LERMA - CHAPALA		1									1
R. LERMA - SALAMANCA		3									3
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		1									1
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							1				1
R. VERDE GRANDE		4									4
Allotoca goslinei											
R. AMECA - ATENGUILLO				2							2
Allotoca maculata											
R. AMECA - ATENGUILLO				1							1
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		3									3
Allotoca meeki											
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							2				2
Allotoca regalis											
R. TEPALCATEPEC							2				2
Allotoca zacapuensis											
R. LERMA - CHAPALA		2									2
Ameca splendens											
L. CHAPALA		1									1
P. LA VEGA - COCULA				3							3
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		1									1
Chapalichthys encaustus											
L. CHAPALA		11									11
R. LERMA - CHAPALA		6									6
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		3									3
Chapalichthys pardalis											
R. TEPALCATEPEC							3				3
Chapalichthys peraticus											

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
R. TEPALCATEPEC						1					1
Characodon audax											
R. SAN PEDRO	16										16
Characodon lateralis											
R. SAN PEDRO	8										8
Chirostoma aculeatum											
R. LAJA		1									1
R. LERMA - CHAPALA		1									1
Chirostoma arge											
L. CHAPALA		2									2
R. LAJA		6									6
R. LERMA - CHAPALA		1									1
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
R. VERDE GRANDE		2									2
Chirostoma attenuatum											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		6									6
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							3				3
Chirostoma bartoni											
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
Chirostoma chapalae		2									2
L. CHAPALA		2									2
Chirostoma consocium											
L. CHAPALA		2									2
R. LERMA - CHAPALA		1									1
R. TEPALCATEPEC							1				1
Chirostoma estor											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		1									1
R. CUTZAMALA							6				6
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							1				1
Chirostoma humboldtianum											
L. CHAPALA		1									1
R. AMECA - IXTAPA				1							1
R. CUTZAMALA							1				1
R. HUICICILA - SAN BLAS			1								1
R. LERMA - CHAPALA		3									3
R. LERMA - TOLUCA		3									3
R. MOCTEZUMA								8			8
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		1									1
Chirostoma jordani											
L. CHAPALA		2									2
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		5									5

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
R. ATOYAC							2				2
R. LAJA		3									3
R. LERMA - CHAPALA		3									3
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
R. LERMA - TOLUCA		3									3
R. MOCTEZUMA								14			14
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		1									1
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		8									8
R. VERDE GRANDE		5									5
Chirostoma labarcae											
L. CHAPALA		1									1
Chirostoma lucius											
L. CHAPALA		6									6
R. LERMA - CHAPALA		2									2
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		1									1
Chirostoma melanococcus											
R. TEPALCATEPEC							1				1
Chirostoma patzcuaro											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		4									4
Chirostoma riojai											
R. LERMA - TOLUCA		7									7
Chirostoma sphyraena											
L. CHAPALA		2									2
Girardinichthys multiradiatus											
R. CUTZAMALA							3				3
R. GRANDE DE AMACUZAC							2				2
R. LERMA - TOLUCA		19									19
R. MOCTEZUMA								4			4
Girardinichthys viviparus											
R. ATOYAC							1				1
R. MOCTEZUMA								13			13
Goodea atripinnis											
L. CHAPALA		5									5
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		16									16
P. LA VEGA - COCULA				7							7
R. AMECA - ATENGUILLO				6							6
R. ARMERIA						7					7
R. BOLAÑOS		1									1
R. JUCHIPILA		4									4
R. LAJA		6									6
R. LERMA - CHAPALA		15									15
R. LERMA - SALAMANCA		4									4

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
R. LERMA - TOLUCA		4									4
R. MOCTEZUMA								5			5
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		4									4
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		3									3
R. TAMU								5			5
R. TEPALCATEPEC							5				5
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							1				1
R. VERDE GRANDE		14									14
Hubbsina turneri											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		4									4
Ictalurus dugesii											
L. CHAPALA		2									2
P. LA VEGA - COCULA				1							1
R. AMECA - ATENGUILLO				1							1
R. AMECA - IXTAPA				3							3
R. ARMERIA						3					3
R. HUAYNAMOTA		2									2
R. JUCHIPILA		1									1
R. LAJA		1									1
R. LERMA - CHAPALA		2									2
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		4									4
R. VERDE GRANDE		1									1
Moxostoma austrinum											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		1									1
R. AMECA - ATENGUILLO				3							3
R. ARMERIA						1					1
R. LERMA - CHAPALA		2									2
R. LERMA - TOLUCA		1									1
R. VERDE GRANDE		1									1
Notropis amecae											
P. LA VEGA - COCULA				5							5
R. AMECA - ATENGUILLO				1							1
Notropis calientis											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		1									1
R. LERMA - CHAPALA		1									1
R. VERDE GRANDE		1									1
Notropis marhabatiensis											
R. LERMA - TOLUCA		3									3
Notropis sallaei											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		4									4
R. ATOYAC							3				3
R. CUTZAMALA							3				3

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
R. LAJA		2									2
R. LERMA - SALAMANCA		2									2
R. LERMA - TOLUCA		11									11
R. MOCTEZUMA								18			18
Poeciliopsis infans											
L. CHAPALA		11									11
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		21									21
P. LA VEGA - COCULA				4							4
R. AMECA - ATENGUILLO				4							4
R. ARMERIA						1					1
R. ATOYAC							1				1
R. BOLAÑOS		1									1
R. JUCHIPILA		2									2
R. LAJA		5									5
R. LERMA - CHAPALA		4									4
R. LERMA - SALAMANCA		6									6
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		5									5
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		6									6
R. TEPALCATEPEC							7				7
R. VERDE GRANDE		5									5
Skiffia bilineata											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		1									1
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
Skiffia francesae											
L. CHAPALA		1									1
P. LA VEGA - COCULA				2							2
Skiffia lermæ											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		9									9
R. LERMA - CHAPALA		3									3
R. MOCTEZUMA								1			1
R. TEPALCATEPEC - INFIERNILLO							3				3
Skiffia multipunctata											
L. CHAPALA		3									3
P. LA VEGA - COCULA				1							1
R. LERMA - CHAPALA		12									12
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		1									1
R. TEPALCATEPEC							2				2
Tetrapleurodon geminis											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		2									2
R. LERMA - CHAPALA		2									2
Tetrapleurodon spadicea		2									2
R. LERMA - CHAPALA		2									2

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
Xenophorus captivus											
P. SAN JOSE - LOS PILARES Y OTRAS										3	3
R. TAMU								2			2
Xenotaenia resolanae											
R. CHACALA - PURIFICACION					10						10
Xenotoca eiseni											
R. AMECA - ATENGUILLO				1							1
R. COAHUAYANA						3					3
R. HUICICILA - SAN BLAS			1								1
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		2									2
Xenotoca melanosoma											
L. CHAPALA		2									2
P. LA VEGA - COCULA				2							2
R. AMECA - ATENGUILLO				2							2
R. ARMERIA						1					1
Xenotoca variata											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		5									5
R. AGUANAVAL									1		1
R. LAJA		3									3
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
R. TAMU								3			3
R. VERDE GRANDE		2									2
Yuriria alta											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		1									1
R. BOLAÑOS		2									2
R. JUCHIPILA		1									1
R. LAJA		2									2
R. LERMA - CHAPALA		3									3
R. LERMA - TOLUCA		1									1
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		1									1
R. VERDE GRANDE		3									3
Yuriria amatlana											
P. LA VEGA - COCULA				2							2
R. AMECA - ATENGUILLO				7							7
R. AMECA - IXTAPA				1							1
Yuriria chapalae											
L. CHAPALA		3									3
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		2									2
Zoogoneticus purhepechus											
L. CHAPALA		7									7
P. LA VEGA - COCULA				4							4
R. AMECA - ATENGUILLO				1							1

Especies y Cuencas	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16	RH18	RH26	RH36	RH37	TOTAL
R. ARMERIA						1					1
R. LERMA - CHAPALA		9									9
R. SANTIAGO - AGUAMILPA		1									1
R. SANTIAGO - GUADALAJARA		5									5
R. TEPALCATEPEC							1				1
Zoogoneticus quitzeoensis											
L. PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA		1									1
R. LERMA - CHAPALA		2									2
R. LERMA - SALAMANCA		1									1
Zoogoneticus tequila											
P. LA VEGA - COCULA				1							1
Total general	24	529	6	78	10	54	63	75	1	3	843

ANEXO 2.- Estadísticas descriptivas por especie.

ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
<i>Algansea amecae</i>	SLOPE	14	0.50	0	2	0.76
	TMAXWM	14	341.29	324	353	8.68
	TMINCM	14	70.29	64	77	2.92
	PPEC	14	772.86	749	797	14.59
	TPI	14	-126.29	-283	29	106.67
	DHL	14	253.00	250	255	1.52
	DHA	14	249.50	238	255	4.96
<i>Algansea aphanea</i>	SLOPE	9	2.33	0	7	2.40
	TMAXWM	9	334.22	330	338	2.86
	TMINCM	9	90.00	64	120	22.60
	PPEC	9	808.67	663	1006	123.50
	TPI	9	-277.44	-418	-157	86.89
	DHL	9	254.44	253	255	0.73
	DHA	9	243.33	238	249	3.43
<i>Algansea avia</i>	SLOPE	14	0.79	0	2	0.70
	TMAXWM	14	320.14	308	352	10.90
	TMINCM	14	99.50	91	116	7.24
	PPEC	14	1086.64	908	1163	66.92
	TPI	14	89.50	-375	335	169.42
	DHL	14	254.86	254	255	0.36
	DHA	14	240.21	223	254	10.12
<i>Algansea barbata</i>	SLOPE	9	0.56	0	4	1.33
	TMAXWM	9	238.56	230	248	7.14
	TMINCM	9	12.44	6	20	4.93
	PPEC	9	736.44	690	863	64.02
	TPI	8	-156.50	-204	-28	58.76
	DHL	9	253.78	252	255	1.09
	DHA	9	250.67	245	255	3.35
<i>Algansea lacustris</i>	SLOPE	8	0.75	0	3	1.16
	TMAXWM	8	277.38	274	281	3.02
	TMINCM	8	38.88	37	41	1.13
	PPEC	8	808.13	779	835	19.11
	TPI	8	-126.13	-206	131	109.93
	DHL	8	246.88	244	251	2.23
	DHA	8	252.75	242	255	4.56
<i>Algansea monticola</i>	SLOPE	12	1.42	0	4	1.31
	TMAXWM	12	321.33	283	362	23.15
	TMINCM	12	39.33	25	65	11.15
	PPEC	12	521.42	399	676	78.82
	TPI	12	-320.50	-628	-106	168.24
	DHL	12	252.00	241	255	5.19
	DHA	12	242.75	227	255	9.44
<i>Algansea popoche</i>	SLOPE	6	1.00	0	6	2.45
	TMAXWM	6	304.83	300	310	4.07
	TMINCM	6	70.33	66	82	5.99

ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
	PPEC	6	719.50	688	746	21.93
	TPI	6	-171.33	-211	-141	26.96
	DHL	6	252.50	248	255	2.43
	DHA	6	253.17	251	255	1.47
<i>Algansea tincella</i>	SLOPE	15	0.80	0	3	1.08
	TMAXWM	15	302.47	261	332	18.49
	TMINCM	15	45.73	32	64	9.89
	PPEC	15	623.13	287	793	143.06
	TPI	15	-141.60	-331	158	129.40
	DHL	15	250.20	239	255	5.45
	DHA	15	247.13	230	254	6.52
<i>Allodontichthys hubbsi</i>	SLOPE	4	2.50	1	5	1.73
	TMAXWM	4	335.75	332	338	2.63
	TMINCM	4	97.25	86	118	14.64
	PPEC	4	787.50	705	975	125.97
	TPI	4	-430.00	-464	-372	41.03
	DHL	4	255.00	255	255	0.00
	DHA	4	234.75	225	242	7.14
<i>Allodontichthys polylepis</i>	SLOPE	3	0.67	0	1	0.58
	TMAXWM	3	324.67	323	328	2.89
	TMINCM	3	58.00	57	60	1.73
	PPEC	3	820.67	808	827	10.97
	TPI	3	-82.67	-150	-49	58.31
	DHL	3	254.33	253	255	1.15
	DHA	3	224.67	224	225	0.58
<i>Allodontichthys tamazulae</i>	SLOPE	9	3.11	1	7	1.76
	TMAXWM	9	333.22	327	337	3.15
	TMINCM	9	97.22	83	105	7.76
	PPEC	9	783.44	690	873	59.26
	TPI	9	-325.44	-476	-110	115.99
	DHL	9	254.00	253	255	0.87
	DHA	9	241.44	225	252	9.37
<i>Allodontichthys zonistius</i>	SLOPE	15	7.13	0	18	5.34
	TMAXWM	15	344.40	293	357	21.15
	TMINCM	15	105.07	64	116	16.97
	PPEC	15	741.67	621	1032	130.78
	TPI	15	-154.93	-572	845	425.77
	DHL	15	254.13	253	255	0.74
	DHA	15	224.73	212	245	9.85
<i>Alloophorus robustus</i>	SLOPE	24	0.58	0	2	0.78
	TMAXWM	24	293.04	267	320	12.96
	TMINCM	24	45.79	38	59	7.06
	PPEC	24	713.50	561	870	83.05
	TPI	24	-149.71	-273	78	70.89
	DHL	24	250.25	239	254	3.74
	DHA	24	250.17	229	255	7.56
<i>Allotoca catarinae</i>	SLOPE	4	0.75	0	2	0.96
	TMAXWM	4	290.00	284	301	7.62

ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
	TMINCM	4	74.50	67	87	8.81
	PPEC	4	1198.75	1157	1229	30.92
	TPI	4	-215.50	-232	-183	22.04
	DHL	4	255.00	255	255	0.00
	DHA	4	243.50	238	255	7.85
<i>Allotoca diazi</i>	SLOPE	4	1.50	0	5	2.38
	TMAXWM	4	274.25	262	281	8.54
	TMINCM	4	39.00	38	40	0.82
	PPEC	4	838.00	818	884	30.89
	TPI	4	19.75	-154	491	314.40
	DHL	4	249.25	244	252	3.59
	DHA	4	246.50	242	255	6.14
<i>Allotoca dugesii</i>	SLOPE	21	1.19	0	4	1.33
	TMAXWM	21	302.14	267	343	19.41
	TMINCM	21	47.38	30	84	13.19
	PPEC	21	700.62	365	987	172.66
	TPI	21	-97.00	-344	324	166.01
	DHL	21	250.00	236	254	5.31
	DHA	21	248.10	232	255	6.83
<i>Allotoca maculata</i>	SLOPE	4	0.50	0	2	1.00
	TMAXWM	4	333.25	324	339	7.23
	TMINCM	4	74.25	69	77	3.77
	PPEC	4	765.25	754	769	7.50
	TPI	4	-16.25	-32	29	30.17
	DHL	4	253.00	251	255	1.83
	DHA	4	250.75	247	253	2.63
<i>Ameca splendens</i>	SLOPE	5	2.80	0	6	2.39
	TMAXWM	5	341.60	328	350	11.52
	TMINCM	5	73.60	70	82	5.13
	PPEC	5	739.20	564	798	99.02
	TPI	5	-195.00	-342	-5	128.10
	DHL	5	252.60	251	254	1.34
	DHA	5	251.00	245	254	3.94
<i>Chapalichthys encaustus</i>	SLOPE	20	0.85	0	4	1.23
	TMAXWM	20	308.65	299	328	8.00
	TMINCM	20	67.50	55	80	8.56
	PPEC	20	707.40	662	751	28.78
	TPI	20	-159.25	-215	-55	35.39
	DHL	20	252.25	247	255	2.65
	DHA	20	252.10	246	255	3.02
<i>Chapalichthys pardalis</i>	SLOPE	3	0.67	0	2	1.15
	TMAXWM	3	301.00	299	302	1.73
	TMINCM	3	60.33	59	61	1.15
	PPEC	3	915.33	914	918	2.31
	TPI	3	-118.33	-120	-115	2.89
	DHL	3	254.00	254	254	0.00
	DHA	3	223.00	223	223	0.00
<i>Characodon audax</i>	SLOPE	16	0.38	0	4	1.02

ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
	TMAXWM	16	309.19	296	316	5.69
	TMINCM	16	19.56	13	22	2.39
	PPEC	16	431.25	385	482	25.38
	TPI	16	-177.19	-264	-109	42.18
	DHL	16	250.63	244	255	3.22
	DHA	16	247.31	239	255	5.16
<i>Characodon lateralis</i>	SLOPE	8	0.50	0	3	1.07
	TMAXWM	8	316.25	302	339	10.46
	TMINCM	8	24.50	17	48	9.67
	PPEC	8	444.75	432	463	9.77
	TPI	8	-243.88	-768	-95	214.62
	DHL	8	251.63	244	255	3.38
	DHA	8	235.38	214	243	9.88
<i>Chirostoma arge</i>	SLOPE	12	0.50	0	1	0.52
	TMAXWM	12	311.08	302	324	6.91
	TMINCM	12	44.08	23	79	17.30
	PPEC	12	547.17	408	726	110.01
	TPI	12	-175.42	-200	-137	21.50
	DHL	12	252.58	247	255	2.84
	DHA	12	248.75	235	255	6.82
<i>Chirostoma attenuatum</i>	SLOPE	9	0.78	0	3	1.20
	TMAXWM	9	273.44	266	281	5.59
	TMINCM	9	41.22	38	46	2.99
	PPEC	9	830.89	779	872	34.95
	TPI	9	-72.56	-206	126	132.34
	DHL	9	249.00	244	255	4.27
	DHA	9	254.33	253	255	0.71
<i>Chirostoma consocium</i>	SLOPE	4	2.75	0	6	2.75
	TMAXWM	4	304.25	300	309	4.43
	TMINCM	4	69.50	61	80	8.10
	PPEC	4	732.25	718	745	11.09
	TPI	4	-142.75	-170	-88	37.85
	DHL	4	251.00	248	255	3.56
	DHA	4	253.25	249	255	2.87
<i>Chirostoma estor</i>	SLOPE	8	3.50	0	9	3.16
	TMAXWM	8	260.63	248	275	8.68
	TMINCM	8	40.63	30	48	6.44
	PPEC	8	870.50	832	919	25.20
	TPI	8	99.13	-120	483	187.10
	DHL	8	253.38	247	255	2.62
	DHA	8	245.63	235	255	8.05
<i>Chirostoma humboldtianum</i>	SLOPE	19	0.79	0	4	1.13
	TMAXWM	19	272.26	239	351	26.01
	TMINCM	19	39.89	12	115	23.98
	PPEC	19	743.42	498	1201	159.19
	TPI	19	-73.42	-356	668	257.55
	DHL	19	250.84	246	255	2.95
	DHA	19	246.21	225	255	10.50

ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
<i>Chirostoma jordani</i>	SLOPE	47	0.64	0	5	1.15
	TMAXWM	47	292.28	231	343	26.67
	TMINCM	47	45.19	5	94	22.14
	PPEC	47	615.83	325	1152	147.86
	TPI	47	-157.74	-342	327	117.44
	DHL	47	250.15	236	255	5.33
	DHA	47	250.26	224	255	6.55
<i>Chirostoma lucius</i>	SLOPE	9	1.89	0	6	2.15
	TMAXWM	9	306.67	300	316	5.63
	TMINCM	9	70.67	61	80	7.57
	PPEC	9	717.56	676	750	24.73
	TPI	9	-158.22	-190	-112	23.69
	DHL	9	250.56	248	255	2.55
	DHA	9	252.44	246	255	2.92
<i>Chirostoma patzcuaro</i>	SLOPE	4	0.75	0	3	1.50
	TMAXWM	4	277.75	275	281	2.75
	TMINCM	4	39.50	39	40	0.58
	PPEC	4	814.75	790	827	16.92
	TPI	4	-155.00	-191	-132	25.63
	DHL	4	246.75	244	250	2.50
	DHA	4	252.75	247	255	3.86
<i>Chirostoma riojai</i>	SLOPE	7	0.29	0	2	0.76
	TMAXWM	7	232.71	224	240	5.62
	TMINCM	7	13.00	5	19	5.63
	PPEC	7	765.43	661	933	99.62
	TPI	7	-155.71	-216	56	97.50
	DHL	7	253.14	252	255	1.21
	DHA	7	251.29	244	255	3.73
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>	SLOPE	28	1.21	0	6	1.85
	TMAXWM	28	248.86	214	301	22.44
	TMINCM	28	24.86	7	90	17.04
	PPEC	28	755.46	476	953	114.98
	TPI	28	-23.86	-343	746	260.23
	DHL	28	253.04	249	255	1.75
	DHA	28	249.93	237	255	5.08
<i>Girardinichthys viviparus</i>	SLOPE	14	0.29	0	3	0.83
	TMAXWM	14	269.36	248	300	10.75
	TMINCM	14	29.93	9	46	11.37
	PPEC	14	556.07	301	677	101.44
	TPI	14	-256.64	-370	-110	87.46
	DHL	14	249.29	243	255	4.07
	DHA	14	243.43	230	254	7.79
<i>Goodea atripinnis</i>	SLOPE	112	0.91	0	8	1.28
	TMAXWM	112	311.54	241	365	23.59
	TMINCM	112	53.84	4	114	19.21
	PPEC	112	661.71	305	1130	145.41
	TPI	112	-162.24	-634	339	138.13
	DHL	112	252.40	238	255	3.76

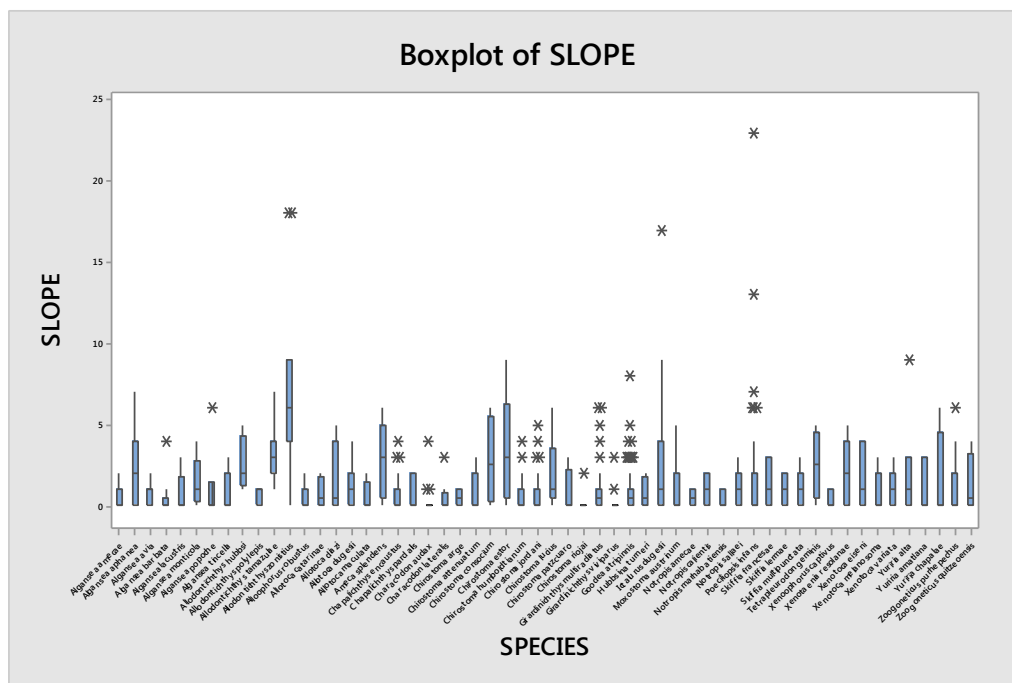
ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
	DHA	112	245.30	205	255	10.02
<i>Hubbsina turneri</i>	SLOPE	4	0.75	0	2	0.96
	TMAXWM	4	294.25	286	299	6.18
	TMINCM	4	48.50	40	57	7.51
	PPEC	4	725.75	593	863	125.14
	TPI	4	-66.00	-194	115	132.33
	DHL	4	252.00	247	255	3.56
	DHA	4	248.50	237	254	7.77
<i>Ictalurus dugesii</i>	SLOPE	21	2.71	0	17	4.08
	TMAXWM	21	329.57	268	389	27.10
	TMINCM	21	68.33	24	119	26.35
	PPEC	21	721.76	421	1014	144.35
	TPI	21	-257.00	-816	324	284.25
	DHL	21	253.76	246	255	2.17
	DHA	21	238.19	206	255	15.57
<i>Moxostoma austrinum</i>	SLOPE	9	1.11	0	5	1.76
	TMAXWM	9	318.67	263	355	27.31
	TMINCM	9	56.11	24	117	26.68
	PPEC	9	743.56	520	885	108.06
	TPI	9	-208.11	-447	-65	119.90
	DHL	9	254.56	252	255	1.01
	DHA	9	233.11	208	255	18.47
<i>Notropis amecae</i>	SLOPE	6	0.50	0	1	0.55
	TMAXWM	6	349.17	348	350	0.98
	TMINCM	6	70.33	70	71	0.52
	PPEC	6	783.83	761	797	14.68
	TPI	6	-220.17	-279	-160	50.80
	DHL	6	253.83	252	255	1.47
	DHA	6	247.83	238	254	6.31
<i>Notropis calientis</i>	SLOPE	3	1.00	0	2	1.00
	TMAXWM	3	313.67	293	326	18.01
	TMINCM	3	46.67	39	61	12.42
	PPEC	3	721.00	632	817	92.70
	TPI	3	-133.67	-230	-39	95.51
	DHL	3	254.33	253	255	1.15
	DHA	3	246.00	238	252	7.21
<i>Notropis marhabatiensis</i>	SLOPE	3	0.33	0	1	0.58
	TMAXWM	3	288.00	285	290	2.65
	TMINCM	3	45.67	45	46	0.58
	PPEC	3	724.67	718	733	7.64
	TPI	3	-332.33	-350	-304	24.79
	DHL	3	253.33	253	254	0.58
	DHA	3	251.67	250	254	2.08
<i>Notropis sallaei</i>	SLOPE	43	0.84	0	3	0.97
	TMAXWM	43	268.65	228	306	24.41
	TMINCM	43	30.86	8	71	15.05
	PPEC	43	640.16	301	894	138.63
	TPI	43	-133.40	-449	226	143.14

ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
	DHL	43	252.47	244	255	2.59
	DHA	43	249.14	222	255	6.67
<i>Poeciliopsis infans</i>	SLOPE	83	1.39	0	23	3.16
	TMAXWM	83	313.59	253	403	22.35
	TMINCM	83	59.99	12	145	21.20
	PPEC	83	722.27	420	1366	144.40
	TPI	82	-148.32	-787	297	155.96
	DHL	83	252.45	241	255	2.63
	DHA	83	245.86	222	255	9.72
<i>Skiffia francesae</i>	SLOPE	3	1.33	0	3	1.53
	TMAXWM	3	344.00	332	350	10.39
	TMINCM	3	75.33	70	85	8.39
	PPEC	3	703.33	542	797	140.32
	TPI	3	-294.00	-418	-186	116.82
	DHL	3	252.33	251	254	1.53
	DHA	3	250.00	245	254	4.58
<i>Skiffia lermæ</i>	SLOPE	16	0.94	0	2	0.85
	TMAXWM	16	284.31	266	301	12.00
	TMINCM	16	42.38	36	54	5.03
	PPEC	16	747.88	443	878	112.23
	TPI	16	-108.19	-222	126	116.33
	DHL	16	251.50	246	254	2.50
	DHA	16	247.81	229	255	9.47
<i>Skiffia multipunctata</i>	SLOPE	19	1.11	0	3	1.15
	TMAXWM	19	308.95	268	331	16.58
	TMINCM	19	52.53	33	80	13.47
	PPEC	19	779.79	704	858	42.17
	TPI	19	-211.16	-348	125	139.55
	DHL	19	253.16	249	255	1.54
	DHA	19	245.84	233	255	7.25
<i>Tetrapleurodon geminis</i>	SLOPE	4	2.50	0	5	2.08
	TMAXWM	4	298.75	287	316	12.26
	TMINCM	4	47.25	42	55	5.56
	PPEC	4	812.50	719	888	79.05
	TPI	4	-123.75	-314	121	202.21
	DHL	4	254.50	254	255	0.58
	DHA	4	230.75	222	238	7.54
<i>Xenophorus captivus</i>	SLOPE	5	0.40	0	1	0.55
	TMAXWM	5	307.60	301	314	4.83
	TMINCM	5	46.60	43	49	2.61
	PPEC	5	294.60	284	305	7.96
	TPI	5	-191.40	-228	-167	24.39
	DHL	5	229.40	215	251	15.95
	DHA	5	245.80	235	254	7.05
<i>Xenotaenia resolanae</i>	SLOPE	10	2.00	0	5	1.83
	TMAXWM	10	354.20	328	371	14.32
	TMINCM	10	129.00	101	154	15.16
	PPEC	10	973.10	604	1150	149.09

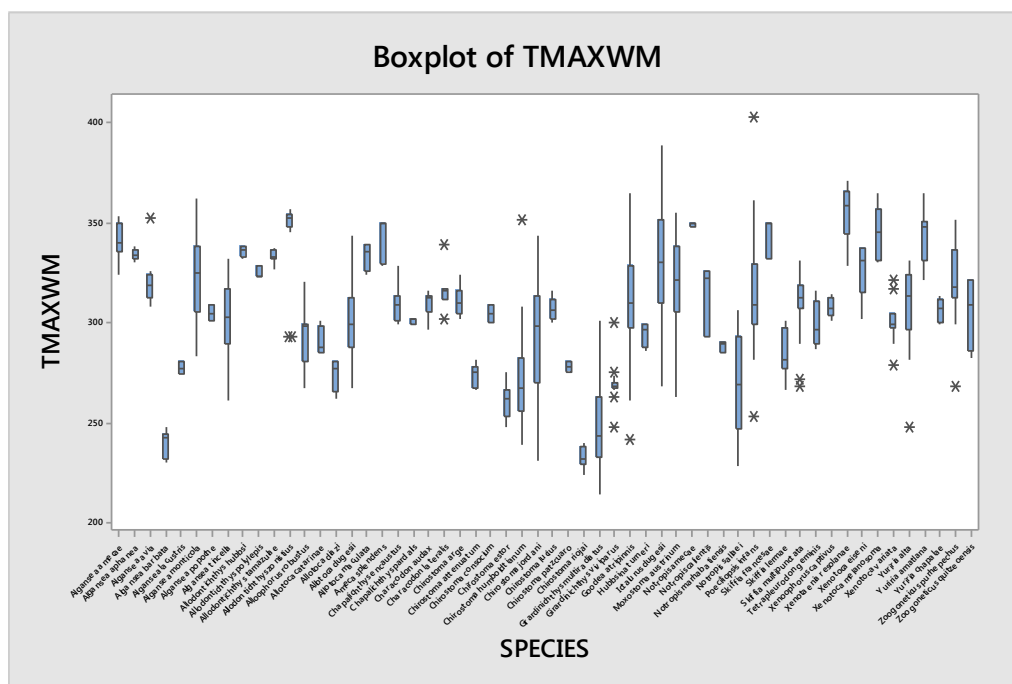
ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
	TPI	10	-269.50	-481	126	197.02
	DHL	10	254.40	253	255	0.84
	DHA	10	233.60	220	251	9.48
<i>Xenotoca eiseni</i>	SLOPE	7	1.43	0	4	1.81
	TMAXWM	7	325.29	302	337	13.60
	TMINCM	7	89.57	73	103	11.94
	PPEC	7	879.14	713	1112	185.99
	TPI	7	-101.86	-481	496	379.53
	DHL	7	254.86	254	255	0.38
	DHA	7	243.86	235	255	6.79
<i>Xenotoca melanosoma</i>	SLOPE	7	0.71	0	3	1.25
	TMAXWM	7	344.00	330	365	13.76
	TMINCM	7	81.14	65	112	18.49
	PPEC	7	731.71	672	841	56.18
	TPI	7	-290.86	-634	-93	173.94
	DHL	7	253.86	249	255	2.27
	DHA	7	241.71	215	255	15.01
<i>Xenotoca variata</i>	SLOPE	15	0.93	0	3	1.10
	TMAXWM	15	300.40	279	321	10.22
	TMINCM	15	44.13	24	56	9.45
	PPEC	15	497.40	286	676	154.20
	TPI	15	-139.00	-239	104	108.30
	DHL	15	248.53	237	255	5.67
	DHA	15	248.20	235	255	7.18
<i>Yuriria alta</i>	SLOPE	14	1.71	0	9	2.46
	TMAXWM	14	307.64	248	331	22.24
	TMINCM	14	44.21	15	71	16.72
	PPEC	14	608.71	398	987	155.83
	TPI	14	-159.50	-320	324	148.88
	DHL	14	251.29	236	255	6.22
	DHA	14	247.07	235	255	5.94
<i>Yuriria amatlana</i>	SLOPE	10	1.00	0	3	1.41
	TMAXWM	10	342.60	321	365	13.90
	TMINCM	10	69.80	52	103	13.48
	PPEC	10	812.20	757	882	46.45
	TPI	10	-280.30	-634	-77	144.50
	DHL	10	254.30	252	255	1.06
	DHA	10	229.80	206	255	19.15
<i>Yuriria chapalae</i>	SLOPE	5	1.80	0	6	2.68
	TMAXWM	5	306.00	299	313	5.92
	TMINCM	5	68.80	55	80	9.07
	PPEC	5	724.00	674	748	28.77
	TPI	5	-151.40	-167	-123	19.01
	DHL	5	252.00	248	255	3.24
	DHA	5	252.80	251	254	1.64
<i>Zoogoneticus purhepechus</i>	SLOPE	29	1.14	0	6	1.60
	TMAXWM	29	321.62	268	351	19.14
	TMINCM	29	63.28	33	85	13.48

ESPECIE	Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.
	PPEC	29	747.00	542	858	68.58
	TPI	29	-194.62	-418	125	125.01
	DHL	29	253.03	250	255	1.48
	DHA	29	248.34	233	255	6.43
<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i>	SLOPE	4	1.25	0	4	1.89
	TMAXWM	4	305.25	282	322	19.21
	TMINCM	4	45.75	39	64	12.18
	PPEC	4	683.75	561	758	86.87
	TPI	4	-173.25	-183	-165	9.60
	DHL	4	249.25	239	255	7.32
	DHA	4	246.00	229	254	11.52

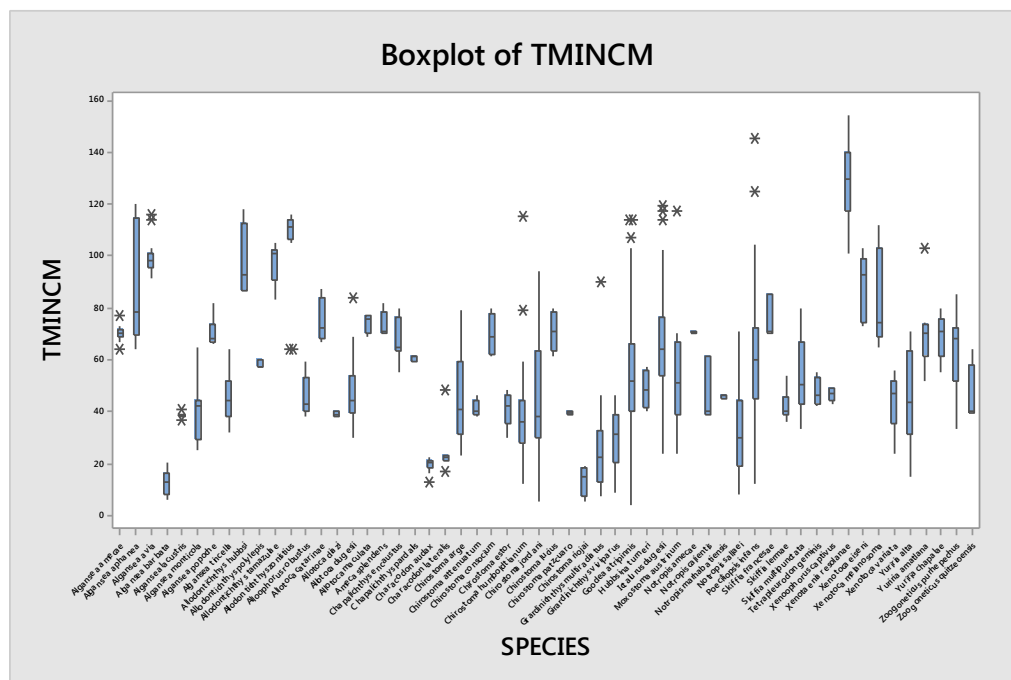
ANEXO 3. Estadística descriptiva de las especies



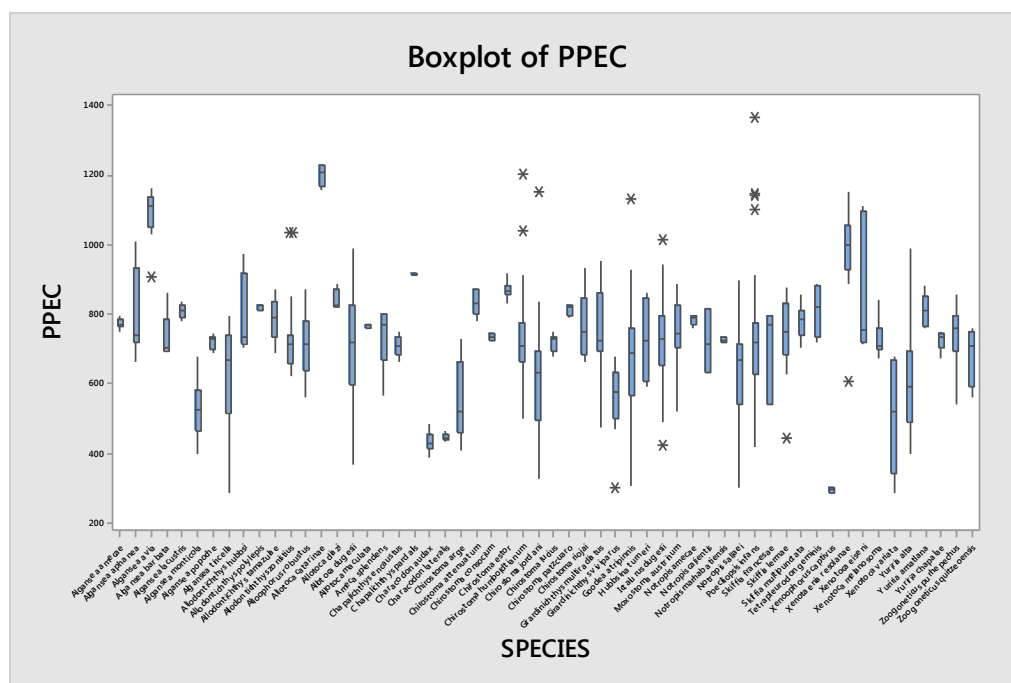
Graficas tipo Boxplot para la variable Slope.



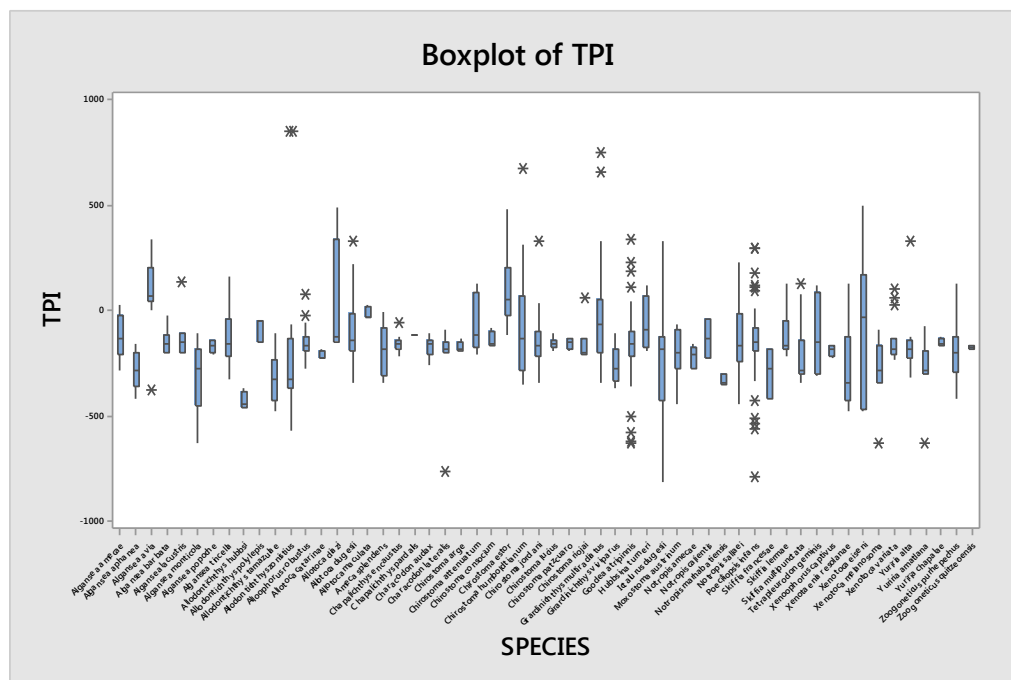
Graficas tipo Boxplot para la variable TMAXWM.



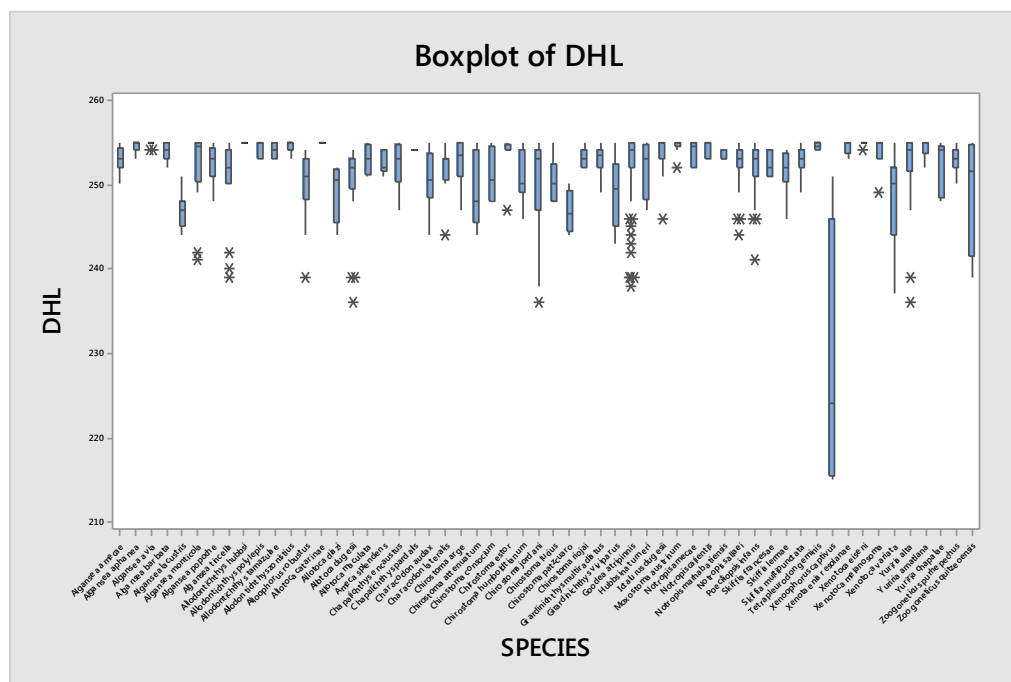
Graficas tipo Boxplot para la variable TMINCM.



Graficas tipo Boxplot para la variable PPEC.



Graficas tipo Boxplot para la variable TPI.



Graficas tipo Boxplot para la variable DHL.

