

# Mirar al pasado para darle sentido al futuro: El cambio climático en México durante el último siglo y su impacto sobre la biodiversidad

## INFORME PARCIAL

Enrique Martínez Meyer & Ángela Cuervo Robayo

Instituto de Biología, UNAM

Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO)

### Resumen

La investigación sobre cambio climático y sus impactos en la biodiversidad en México es amplia pero fuertemente orientada al uso de modelos proyectados a escenarios futuros, dejando un vacío importante en el entendimiento de lo que está ocurriendo ahora. En este estudio nos enfocamos al análisis de los cambios en el clima a partir de climatologías realizadas por este grupo de investigación para tres periodos a lo largo del siglo XX y principios del XXI en México, a una resolución de 1 km<sup>2</sup>, con el propósito de identificar las zonas que están experimentando las mayores alteraciones climáticas. En particular, medimos la magnitud de cambio para variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en tres periodos: T1-1910-1939, T2-1940-1979, T3-1980-2009, así como la tasa de cambio para 14 variables climáticas para la transición de T2 a T3. Con esta información identificamos los biomas más afectados y las especies en la categoría de “En peligro de extinción” (según la Norma Oficial Mexicana) que en ellos habitan, para cuantificar el área de su distribución que se está viendo afectada por el cambio climático. Como resultado generamos 71 nuevos mapas que representan los cambios de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación. Los análisis mostraron que la climatología T1 muestra inconsistencias importantes, por lo que los análisis se centraron en la transición T2-T3. Nuestros resultados indican que los patrones de cambio de la temperatura son heterogéneos espacialmente y asimétricos estacionalmente con respecto a las tendencias de calentamiento y enfriamiento. Los mayores aumentos de temperatura y disminución de precipitación se registran en la zona norte del Desierto Chihuahuense. La precipitación muestra una tendencia general de disminución en el país, siendo la zona tropical húmeda en Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Tabasco las que ha observado el mayor decremento absoluto. Adicionalmente, de las 535 especies catalogadas “En peligro de extinción” según la NOM-059-SEMARNAT-2010, se analizaron 172 especies que cuentan con modelos de distribución disponibles en el SNIB-CONABIO, de las cuales 119 presentan alguna zona de su distribución geográfica dentro de las regiones de mayores magnitudes de cambio climático. Concluimos que es necesario

impulsar la investigación en el campo de la biología del cambio climático, particularmente en la evaluación de atribuciones de los impactos y respuestas al cambio climático de los sistemas biológicos. Para ello, es necesario una mayor coordinación y colaboración entre los grupos de investigación que permita identificar prioridades y enfocar esfuerzos para optimizar los recursos y el tiempo. En este desafío, el PINCC podría jugar un papel protagónico en el enlace y coordinación de esfuerzos.

## **Introducción**

El cambio climático es el tema ambiental de mayor atención social en los últimos años, ya que sus impactos observados y potenciales afectan a todos los subsistemas que le otorgan estabilidad funcional al planeta (Steffen et al. 2015) y, como consecuencia, sus efectos podrían ser de dimensiones insospechadas para la humanidad (IPCC 2014). Es por eso que en el mundo –y México no es la excepción– el mayor esfuerzo de investigación en cambio climático se ha centrado en la generación de escenarios climáticos futuros para analizar cómo éstos podrían afectar diferentes aspectos de los socioecosistemas, incluyendo la economía, población, sistemas productivos y biodiversidad, entre otros.

Sin embargo, a pesar de todo el esfuerzo, recursos y capacidades invertidos en el entendimiento del fenómeno del cambio climático y sus impactos, actualmente sabemos muy poco sobre lo que en realidad está ocurriendo con el cambio climático y sus implicaciones para la biodiversidad en México (Cuervo-Robayo et al. 2020, Murray 2021). Esto se debe a que los estudios basados en proyecciones futuras son muy importantes para generar escenarios e hipótesis, pero no son los más útiles para aprender sobre el comportamiento del clima y sus efectos sobre los sistemas naturales y sociales. Esto obedece, en buena medida, a que la modelación a futuro (proyectiva) no captura la complejidad multifactorial y no lineal de estos efectos y respuestas, y también por la alta incertidumbre asociada a los escenarios futuros (Shackley et al. 1998). Este es el caso de los ecosistemas de México y su biodiversidad. En consecuencia, mucho del conocimiento que hemos generado sobre los impactos del cambio climático sobre nuestra biodiversidad a partir únicamente del uso de escenarios futuros es, en buena medida, especulativo.

En nuestro país existe un número cada vez mayor de especialistas y cientos de estudios generados desde hace dos décadas sobre el cambio climático y sus impactos en los sistemas ecológicos (Saravanan et al. 2014, Martínez-Meyer Velasco, en revisión), pero muy pocos estudios se han enfocado a entender cómo el cambio climático está afectando en realidad a la biota de una región (Sinervo et al. 2010, Peterson et al. 2015, Arreguín-Sánchez 2018). Hay varias razones que pueden explicar esta asimetría entre los estudios de atribución y proyectivos del actual cambio climático, pero en buena parte se debe a la diferencia en la disponibilidad de información para realizar análisis con datos históricos o futuros, respectivamente. Para conocer cómo el cambio climático ha afectado y está afectando a la biodiversidad se requieren, por un lado, datos empíricos históricos sobre el aspecto biológico de las especies a estudiar (e.g., demografía, fisiología, fenología, distribución geográfica), y por otro, datos históricos del clima en la región en donde se encuentra la especie o ecosistema de interés en periodos temporales relevantes que permitan hacer comparaciones de antes y ahora. Estos dos grupos de datos históricos (biológicos y climáticos) en muchos casos no existe o no son fáciles de conseguir, manipular y analizar (Flesch 2018, Valderrama-Landeros 2020). En el caso de los datos climáticos, la resolución de la información puede ser baja (e.g., Unidad de Investigación del Clima, CRU por sus siglas en inglés) para realizar análisis ecológicos que operan a escalas finas.

Los estudios proyectivos cuentan con un universo de datos climáticos que es enorme. Existen decenas de escenarios climáticos futuros generados bajo diferentes supuestos y horizontes temporales ampliamente disponibles, así como métodos de modelación cada vez más sofisticados que, apoyados en una serie de supuestos, utilizan la información actual de las especies y sistemas ecológicos para proyectar los efectos, impactos y posibles respuestas de dichos sistemas bajo escenarios de cambio climático (Peterson et al. 2011). Sin embargo, una diferencia crucial entre los estudios de atribución (retrospectivos) y los proyectivos es que los primeros sí pueden validar los resultados, mientras que para los segundos estrictamente no; tenemos que esperar años o décadas para saber si nuestras hipótesis y predicciones se cumplieron o no. Es decir, por medio de

los estudios retrospectivos podemos entender mejor las complejidades del fenómeno del cambio climático actual y sus consecuencias biológicas (Smith et al. 1998, Smith et al. 2013).

En México, el mayor volumen de datos climáticos históricos ha sido generado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), con más de 5400 estaciones a lo largo del país en la red CLICOM y una cobertura temporal que va desde finales del siglo XIX en algunas estaciones hasta la fecha. Existe también la Red Climática de Referencia Nacional (RCRN), que es un subconjunto de 1028 estaciones de CLICOM enriquecido con otras 71 estaciones de otras fuentes y cuenta con un proceso de homogenización y validación de datos estimados (Solís Alvarado et al. 2016). Asimismo, existen al menos tres diferentes sistemas de consulta y descarga de información climática histórica cruda o procesada a distintos niveles: CLICOM en Malla (Zha & Lettenmaier 2007), UNIATMOS-UNAM (Fernández-Eguiarte et al. 2014) y ERIC IV (SIG ERIC) (Solís Alvarado et al. 2016). Sin duda, esta información ha sido muy útil para la investigación climática en México, pero tiene algunas limitaciones para un uso más amplio en estudios del impacto del cambio climático en los sistemas ecológicos. Por ejemplo, los datos crudos de las estaciones climáticas requieren de un procesamiento de control de calidad, organización y análisis que la mayoría de los usuarios no expertos en datos climáticos desconoce (Cuervo-Robayo et al. 2014).

Recientemente, Cuervo-Robayo et al. (2020) publicaron un análisis de las tendencias del cambio climático en México a lo largo del siglo XX y principios del siglo XXI a partir de conjuntos de superficies de variables bioclimáticas que fueron generadas para tres periodos en el tiempo (T1: 1910-1939; T2: 1940-1979; T3: 1980-2009). Los resultados muestran que el cambio climático en México ha sido geográficamente heterogéneo y que hay zonas que muestran tendencias consistentes de aumento o disminución de la temperatura y la precipitación entre esos tres periodos y otras no. Esta información ha permitido entender un poco más el impacto real que el cambio climático está teniendo en la biodiversidad (Peterson et al. 2015). Sin embargo, estos esfuerzos son apenas el inicio

para evaluar cómo se ha desarrollado el cambio climático en nuestro país y cómo está impactando a su biodiversidad.

Con base en esta información, en este proyecto evaluamos geográfica y temporalmente la magnitud del cambio climático a lo largo del siglo XX y principios del siglo XXI en México. Específicamente, cuantificamos espacial y temporalmente la magnitud y tasa de cambio de variables bioclimáticas de temperatura y precipitación para identificar los biomas que han estado expuestos con mayor intensidad al actual cambio climático. Asimismo, evaluamos las especies que están catalogadas como “en peligro de extinción” en la NOM059 para identificar aquellas que se encuentran en las zonas de mayor impacto del cambio climático. Esta información es útil para priorizar las zonas y especies que requieren atención por su afectación por cambio climático.

## **Metodología**

El estudio se llevó a cabo en dos fases: (1) análisis climático y (2) análisis de impactos a la biodiversidad.

### *1. Análisis climático*

El análisis espacio-temporal del cambio en las variables climáticas se realizó con base en los datos y la información generada por Cuervo-Robayo et al. (2020) y se dividió en tres etapas:

#### *a) Magnitud de cambio*

Con base en los mapas de las 19 variables bioclimáticas<sup>1</sup> generadas por Robayo et al. (2020) para tres periodos a lo largo del siglo XX (T1: 1910-1939; T2: 1940-1979; T3: 1980-2009), calculamos la diferencia de los valores entre los periodos 1 a 2 y 2 a 3. Con

---

<sup>1</sup> Variables bioclimáticas: B1-temperatura media anual, B2-rango diurno de temperatura, B3-isotermalidad, B4-estacionalidad de la temperatura, B5-temperatura máxima del mes más cálido, B6-temperatura mínima del mes más frío, B7-rango de temperatura anual, B8-temperatura media del trimestre más húmedo, B9-temperatura media del trimestre más seco, B10-Temperatura media del trimestre más cálido, B11-temperatura media del trimestre más frío, B12-precipitación anual, B13-precipitación del mes más húmedo, B14-precipitación del mes más seco, B15-estacionalidad de la temperatura, B16-Precipitación del cuarto más húmedo, B17-precipitación del cuarto más seco, B18-precipitación del cuarto más cálido, B19-precipitación del cuarto más frío.

esto determinamos la magnitud de cambio de cada variable bioclimática. Se obtuvieron 57 mapas a resolución de 1 km. Los análisis realizados en las climatologías de Cuervo-Robayo et al. (2020) indicaron que la climatología T1 es inconsistente, por lo que optamos por realizar los siguientes análisis sólo usando T2 y T3. A partir del cruce de los mapas del cambio de la temperatura del periodo más cálido (B10) y la disminución de la precipitación anual (B12), identificamos las zonas mayormente afectadas por el cambio climático. Este análisis se realizó en el sistema de información geográfica QGIS v. 3.18.

*b) Tasa de cambio.*

Debido a la menor confiabilidad del periodo T1, estimamos la tasa de cambio sólo para la transición de T2 a T3 para 14 variables bioclimáticas: B1, B5, B6, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B16, B17, B18, B19. Para ello dividimos los valores de magnitud de cambio entre 30, que son los años que hay entre una climatología a otra. Se seleccionaron esas variables debido a que corresponden a los valores naturales de temperatura (°C) y precipitación (mm). El resto de las variables son índices para los que sus unidades no son adecuadas para estimar la tasa de cambio.

*c) Análisis de datos de estaciones climatológicas.*

Seleccionamos las estaciones climatológicas registradas en el Servicio Meteorológico Nacional que estuvieron dentro de las zonas mayormente afectadas por el cambio climático identificadas en la sección (a), resultando en 17 estaciones. De cada estación obtuvimos los datos diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación de la base de datos de CONAGUA (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>) y obtuvimos los siguientes datos para las tres variables: (a) datos faltantes, (b) promedios mensuales, promedios y tendencias anuales, y (c) prueba de Pettitt (1979) para identificación de puntos de quiebre (Wijngaard et al. 2003, Kuglitsch et al. 2009, Pohlert 2020).

## *2. Impactos a la biodiversidad*

Con la información obtenida en la fase 1, cuantificamos los impactos a la biodiversidad de la siguiente manera:

(a) En el sistema de información geográfica QGIS 3.18 (2020) cruzamos el mapa de las zonas mayormente afectadas por el cambio climático (identificadas en la sección anterior) con la cobertura de vegetación potencial de México (Rzedowski 1990) obtenida del geoportal de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y también con el mapa de las áreas naturales protegidas (SEMARNAT-CONANP 2021) para identificar los biomas y las ANPs mayormente impactados por el cambio climático.

(b) Para evaluar los impactos del cambio climático sobre la distribución de las especies incluidas en la categoría de “En peligro de extinción” de la NOM059, utilizamos los modelos de distribución potencial disponibles en el Sistema de Información de la Biodiversidad (SNIB) de la CONABIO y calculamos el área mayormente afectada por el cambio climático dentro de la distribución geográfica de cada especie. Con base en lo anterior, obtuvimos la lista priorizada de las áreas y las especies más afectadas por el cambio climático.

## **Resultados**

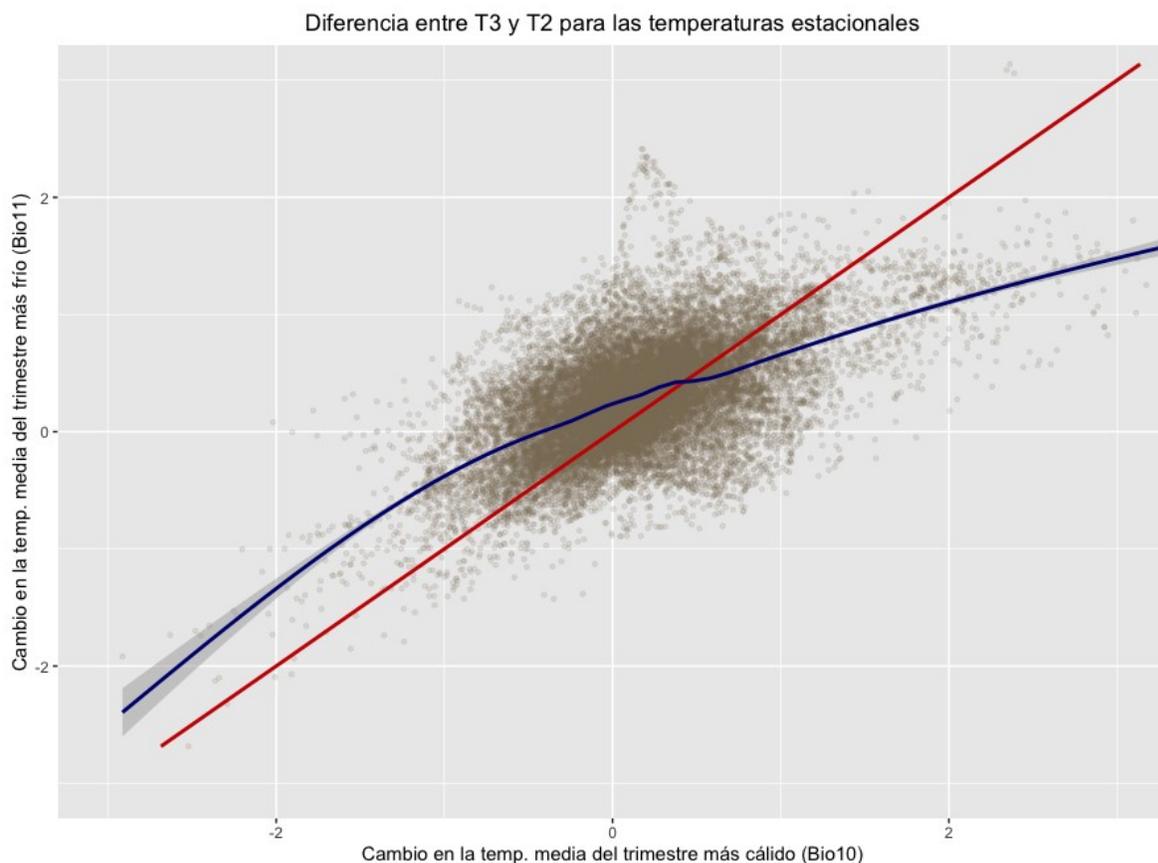
### *1. Análisis climáticos*

#### *Análisis de la magnitud y tasa de cambio*

Obtuvimos 57 mapas a una resolución de 1 km para todo México de la magnitud de cambio de las 19 variables bioclimáticas y los tres periodos. Estos mapas expresan la diferencia entre los periodos 1 (T1: 1910-1939) y 2 (T2: 1949-1979), 1 y 3 (T3: 1980-2009) y 2 y 3. Como se mencionó, los resultados más robustos son los de la transición T2-T3.

Los resultados indican que los cambios de temperatura en esta transición oscilan entre -1 y +1 °C para la mayor parte del país (Fig. 1); sin embargo, los cambios en la temperatura no han sido simétricos estacionalmente. En general, la temperatura de

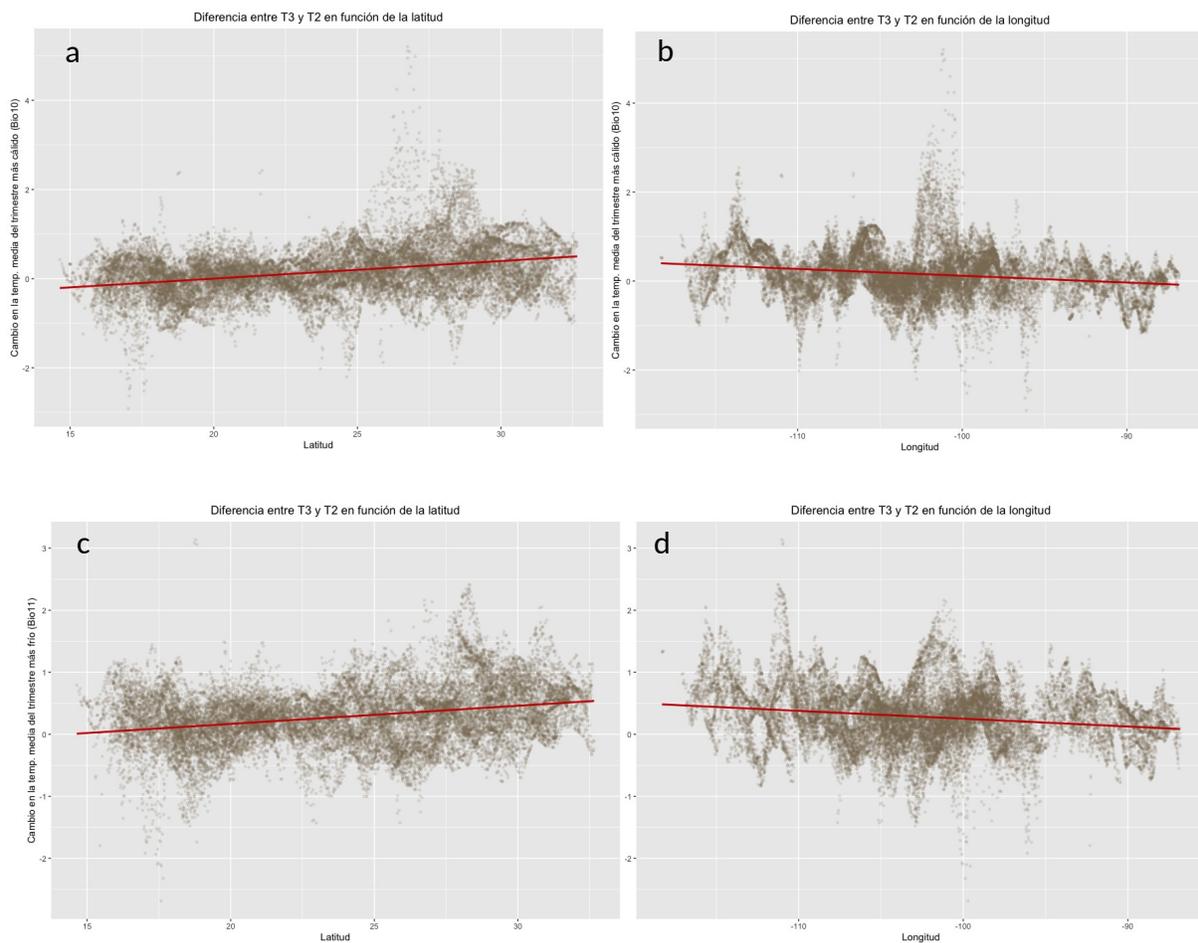
invierno (trimestre más frío) ha aumentado 0.28 °C más en relación con la temperatura del trimestre más cálido (ordenada al origen de Fig. 1). Asimismo, en las zonas en donde la temperatura ha aumentado, la relación de cambio (pendiente) de la temperatura del periodo frío fue de 0.41 °C con respecto al periodo caliente; es decir, por cada grado de aumento en el periodo caliente, hay un aumento de casi medio grado en el periodo frío. En cambio, para las zonas en donde la tendencia ha sido a la disminución de la temperatura, la relación de cambio ha sido de 0.65 °C del periodo más frío con respecto al más cálido (Fig. 1), lo que significa que, en general, por cada grado centígrado que ha disminuido la temperatura en el periodo más cálido, ha disminuido casi 0.7 °C la temperatura del periodo más frío (Fig. 1).



**Figura 1.** Relación de la diferencia de la temperatura media (°C) del trimestre más cálido (B10) con respecto a la diferencia de la temperatura media del trimestre más frío (B11) entre los periodos T2 (1940-1979) y T3 (1980-2009) en México. La línea roja representa una tendencia de cambio lineal bajo un modelo nulo. La línea azul representa un modelo GAM ( $R^2 = 0.339$ ,  $p < 0.001$ ).

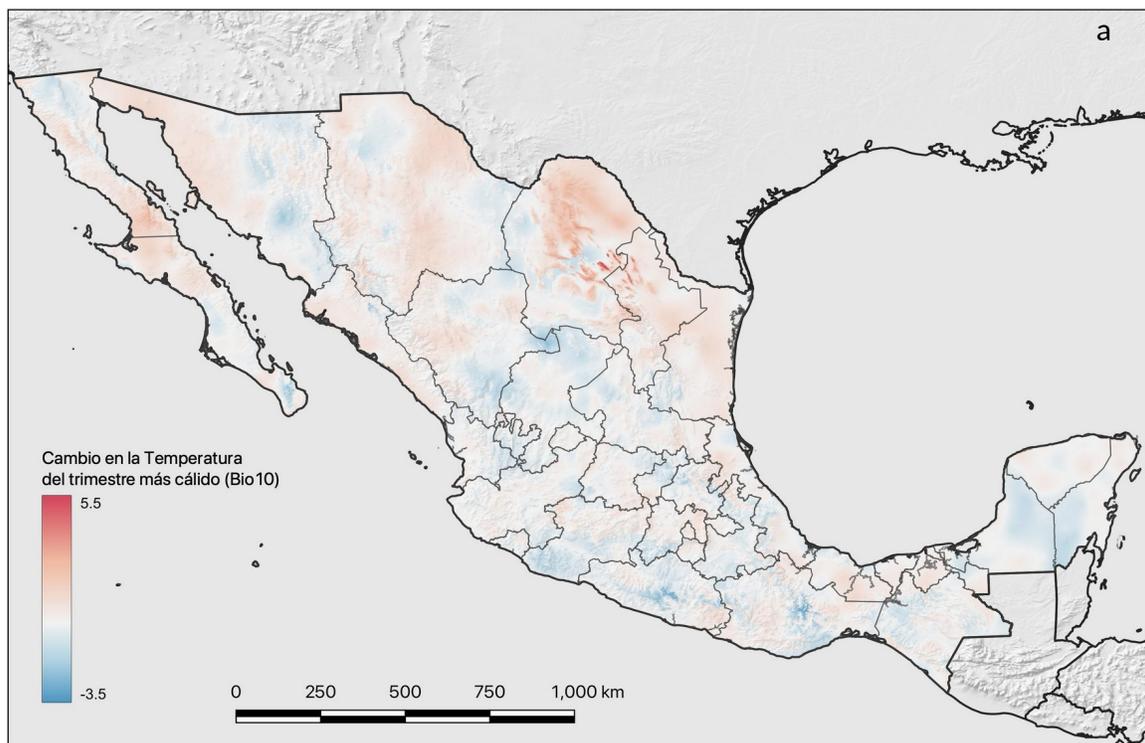
En resumen, el aumento de temperatura ha sido mayor en la temporada de frío que en la de calor. Asimismo, una mayor parte del país ha experimentado un proceso de calentamiento y menos zonas de enfriamiento.

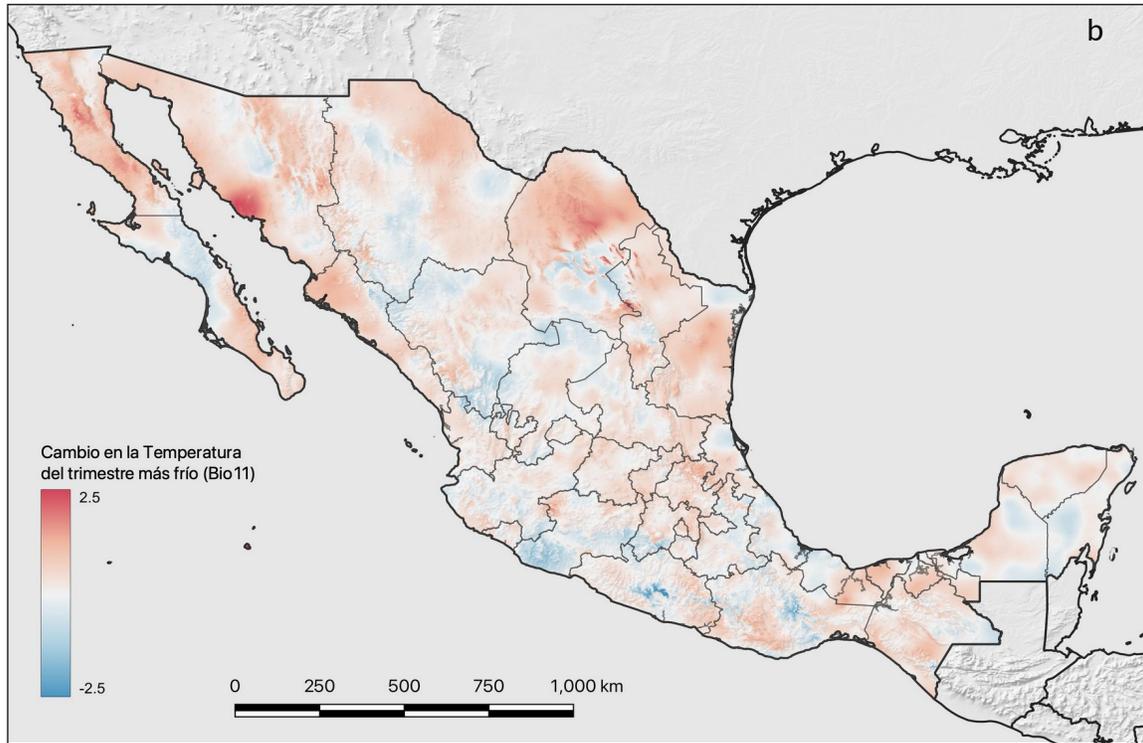
En lo que se refiere a la temperatura del período más cálido, se observó un mayor aumento de T2 a T3 en el norte y oeste del país (Fig. 2a y b). Las mismas tendencias, pero más acentuadas, se observaron para el trimestre más frío (B11) (Fig. 2c y d). Es decir, las zonas más áridas de México han sufrido un mayor aumento de las temperaturas de invierno y verano que las zonas templadas y las zonas húmedas.



**Figura 2.** Relación de la diferencia de la temperatura media (°C) del trimestre más cálido (B10) (panel superior) y más frío (B11) (inferior) con respecto a la latitud (a y c) y longitud (b y d), respectivamente, entre los periodos T2 (1940-1979) y T3 (1980-2009) en México. La línea roja representa la tendencia de cambio.

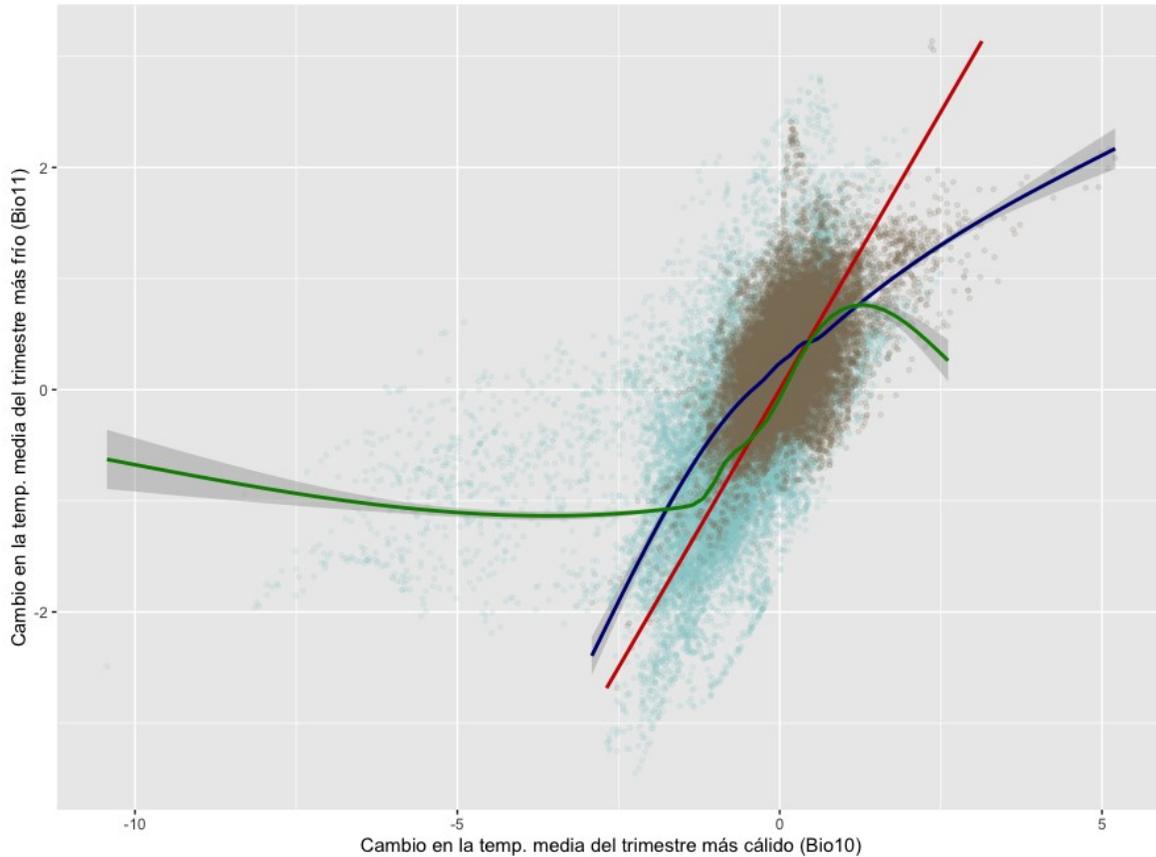
Las zonas que han experimentado mayor magnitud de cambio en la temperatura del periodo más cálido (B10) son los desiertos del norte de México. Específicamente, los incrementos más altos se observaron al oriente de Coahuila, en los alrededores de Monclova, y en el occidente de Nuevo León, en las montañas que rodean el valle de Monterrey (Fig. 3a). En cambio, el descenso más drástico de la temperatura del periodo más frío (B11) se observó en las serranías al sur de Chilpancingo, en Guerrero y, en menor medida, en las sierras al oriente de la ciudad de Oaxaca y en la región costera de Michoacán (Fig. 3b).





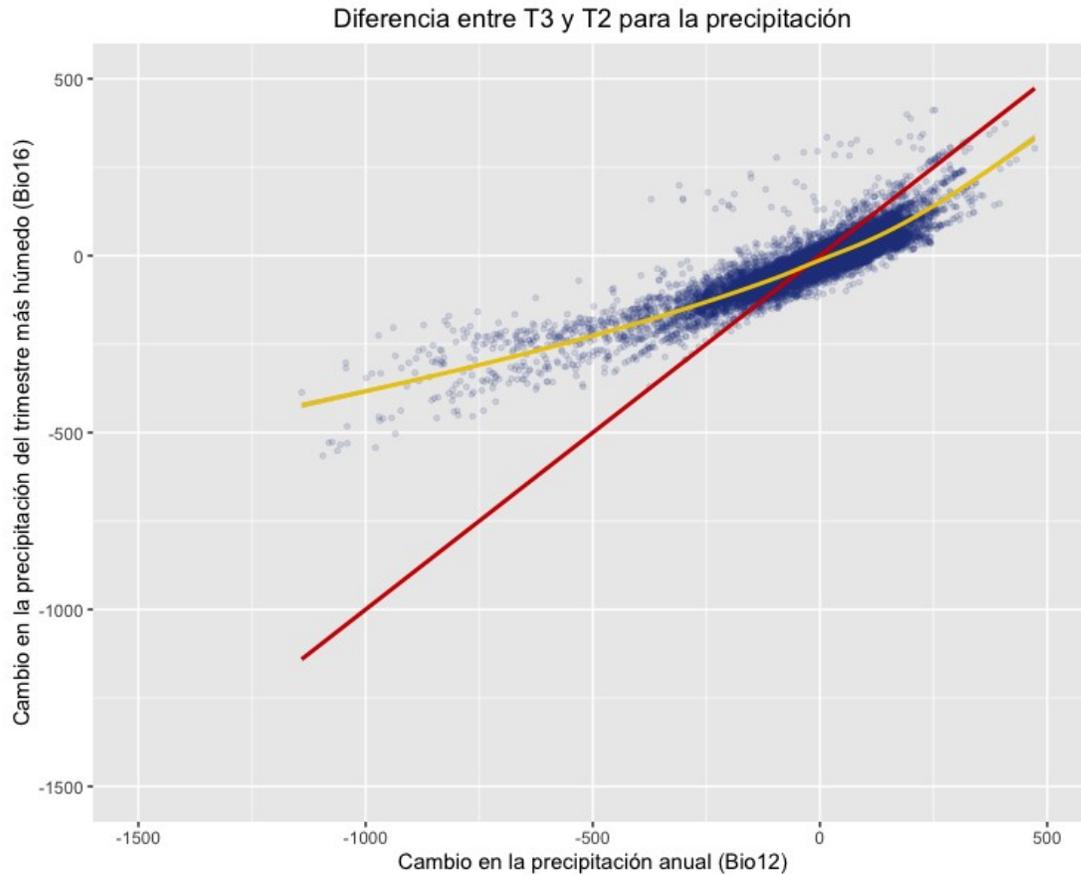
**Figura 3.** Diferencia de la temperatura media (°C) del trimestre más cálido (B10) (a) y más frío (B11) (b) entre los periodos T2 (1940-1979) y T3 (1980-2009) en México.

Analizamos también el comportamiento de la temperatura del periodo más cálido (B10) y más frío (B11) en la transición del periodo 1 (T1: 1910-1939) al periodo 2 (T2: 1940-1979). Los resultados sugieren que los datos del T1 son inconsistentes, ya que no mostraron un comportamiento de cambio lógico y una dispersión demasiado grande (Fig. 4). Asimismo, el modelo de ajuste GAM mostró un comportamiento errático que impide hacer inferencias adecuadas (Fig. 4). Debido a estas inconsistencias, decidimos excluir de los análisis al T1 y concentrarnos en los cambios ocurridos entre T2 y T3.



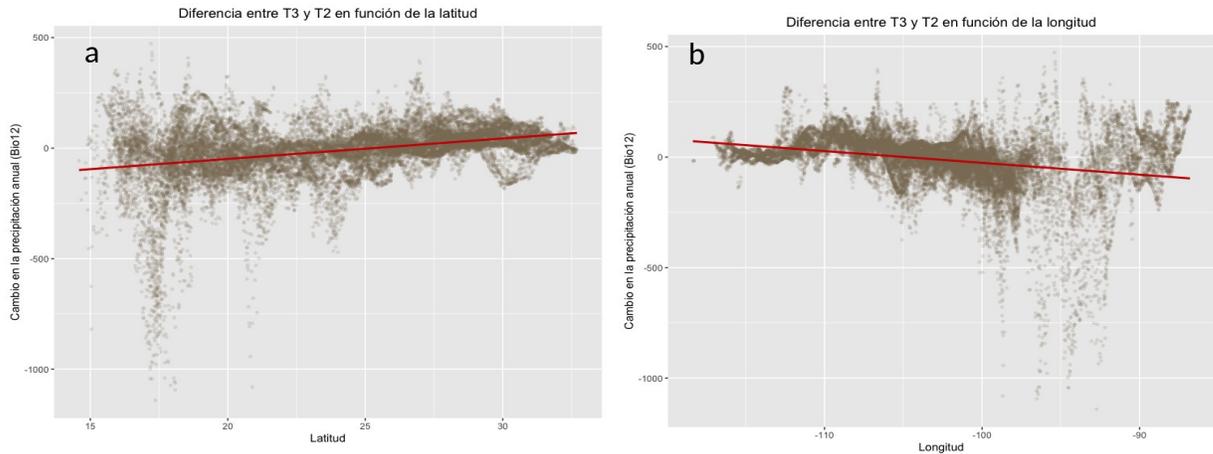
**Figura 4.** Superposición de la relación entre la diferencia de la temperatura media (°C) del trimestre más cálido (B10) con respecto a la diferencia de la temperatura media del trimestre más frío (B11) para los periodos T1 (1910-1939) y T2 (1940-1979) (puntos azules, mismos de la Fig.1) y T2 y T3 (1980-2009) (puntos cafés) en México. La línea verde representa el modelo GAM para la transición T1-T2. La línea roja representa una tendencia de cambio lineal bajo un modelo nulo y la línea azul representa el modelo GAM para la transición T2-T3.

Los análisis de los cambios en la precipitación de T2 a T3 mostraron que la reducción absoluta (mm/año) ha sido más importante que el aumento observado a lo largo del país. Existen zonas en donde la precipitación anual se redujo en más de 1000 mm, mientras que las zonas en donde se observó el mayor aumento de precipitación anual fue de 500 mm/año (Fig. 5).



**Figura 5.** Relación de la diferencia de la precipitación anual (mm) (B12) con respecto a la diferencia de la precipitación del trimestre más húmedo (B16) entre los periodos T2 (1940-1979) y T3 (1980-2009) en México. La línea roja representa una tendencia de cambio lineal bajo un modelo nulo. La línea azul representa un modelo GAM ( $R^2 = 0.808$ ,  $p < 0.001$ ).

Se identificó una tendencia latitudinal y longitudinal en el comportamiento del cambio en la precipitación, observándose las disminuciones más importantes en el sur y oriente del país y los mayores incrementos en el norte y oeste (Fig. 6). Las zonas del sureste mexicano son las más húmedas del país, y es en esa región en donde se observaron las reducciones absolutas de precipitación más importantes (Fig. 6).

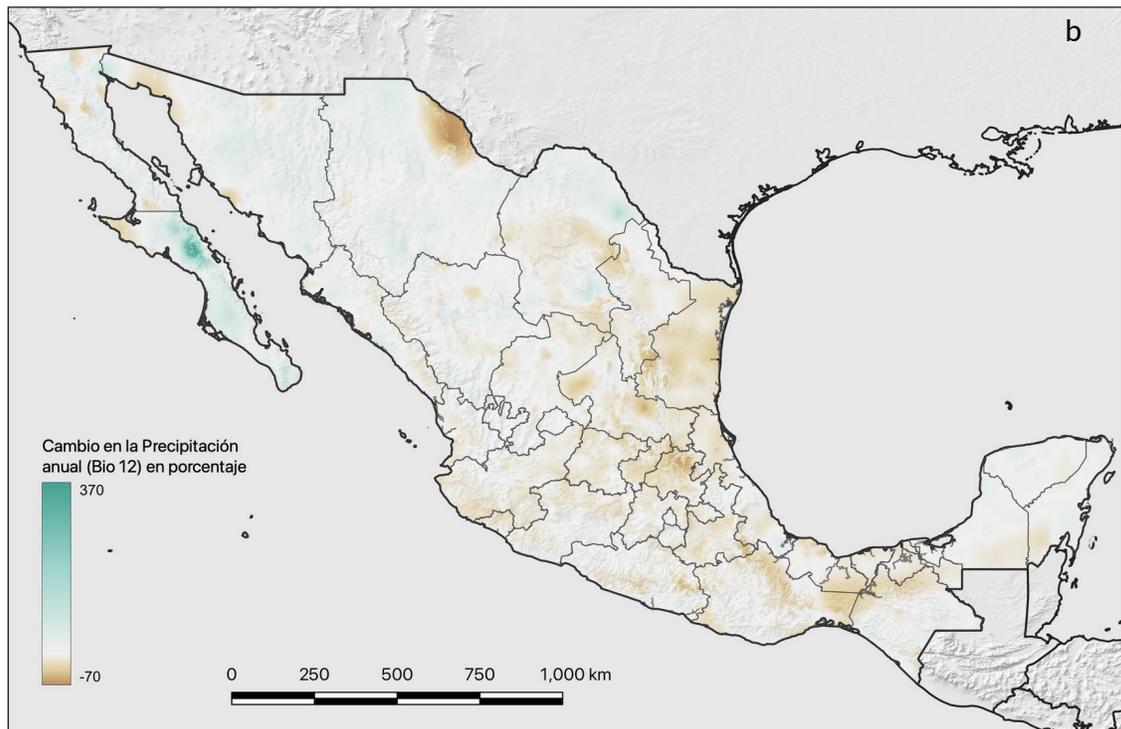
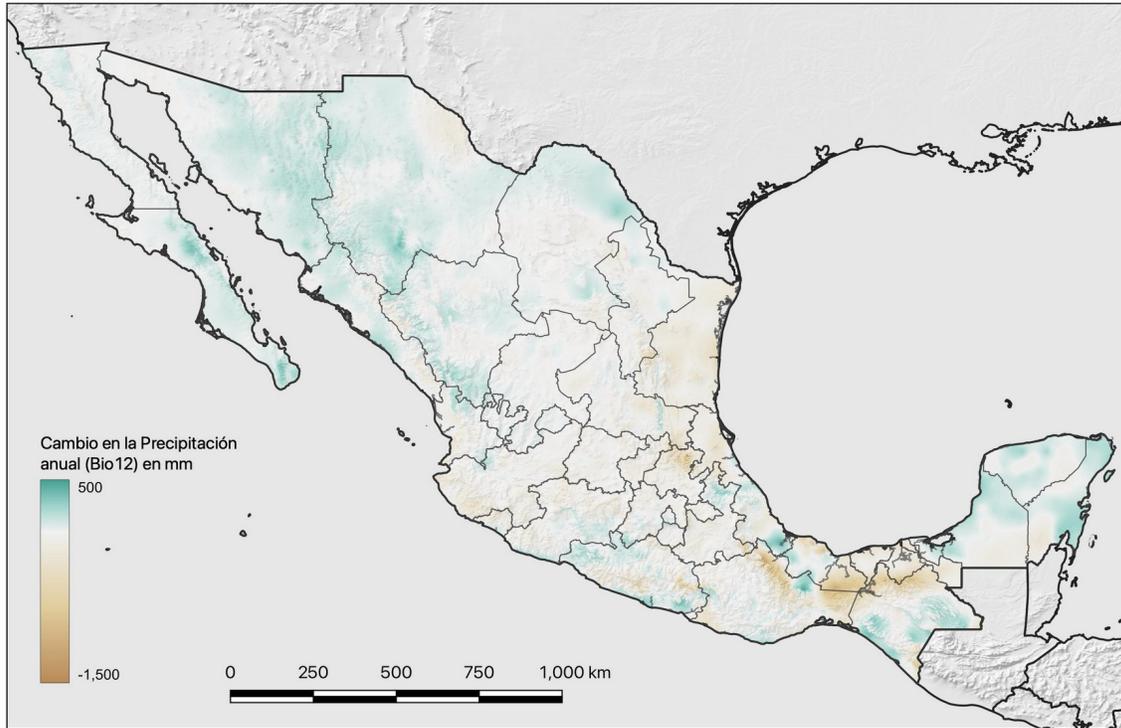


**Figura 6.** Relación de la diferencia de la precipitación anual (B12) con respecto a la latitud (a) y longitud (b), entre los periodos T2 (1940-1979) y T3 (1980-2009) en México. La línea roja representa la tendencia de cambio.

Estas zonas corresponden a la región fronteriza entre Oaxaca y Veracruz, Chiapas y Tabasco, y en menor proporción en la región de la Huasteca Hidalguense (Fig. 7a). Por otra parte, las zonas que presentaron los mayores incrementos absolutos en la precipitación estuvieron tanto en el sur (Chiapas y península de Yucatán, particularmente Quintana Roo), y por otro lado en el sur de Chihuahua y en Baja California Sur (Fig. 7a).

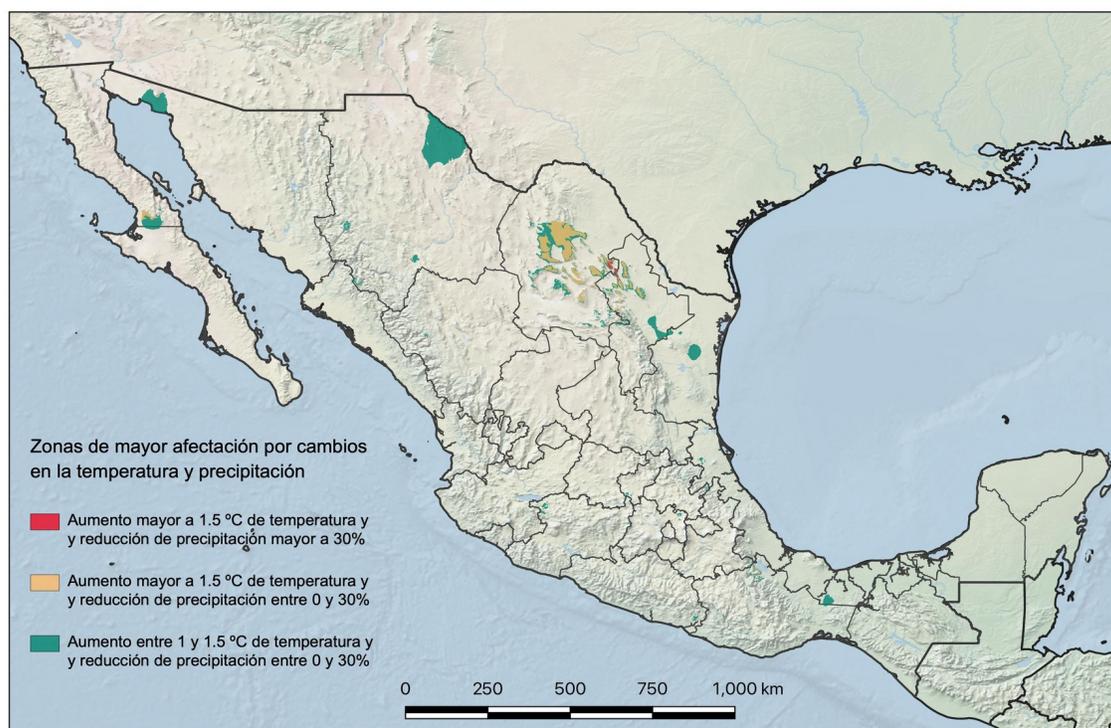
Sin embargo, al observar estos cambios en términos relativos (porcentaje de cambio), los resultados muestran que la región con la mayor reducción en el porcentaje de precipitación anual es el norte de Chihuahua, en la frontera con los Estados Unidos (Fig. 8). En cambio, la región con el mayor aumento porcentual de la precipitación anual está en las Sierras de Santa Lucía y La Giganta, en Baja California Sur (Fig. 7b).

a



**Figura 7.** Diferencia de la precipitación anual (B12) absoluta (a) y porcentual (b) entre los periodos T2 (1940-1979) y T3 (1980-2009) en México.

Finalmente, a partir de la información generada con los análisis anteriores, identificamos las zonas mayormente afectadas por el aumento de la temperatura del periodo más cálido (B16) y la disminución de la precipitación anual (B12). Los resultados indican que las zonas con mayor impacto por el cambio climático entre T2 y T3 se encuentran principalmente en el Desierto Chihuahuense, específicamente en Coahuila y Nuevo León, en donde hubo incrementos de la temperatura del período más cálido por arriba de 1.5 °C y disminuciones de la precipitación anual mayores al 30% (Fig. 8).



**Figura 8.** Zonas mayormente impactadas por el aumento de la temperatura del trimestre más cálido (B10) y la disminución de la precipitación anual (B12) entre los periodos T2 (1940-1979) y T3 (1980-2009) en México. Las zonas en verde representan sitios con cambios moderados, con un aumento de temperatura del periodo más cálido (B10) entre 1 y 1.5 °C y una reducción de la precipitación anual (B12) entre 0 y 30%. Las zonas en amarillo representan sitios con cambios drásticos, con un aumento en B10 >1.5 °C y una disminución de B12 entre 0 y 30%. Las zonas en rojo representan sitios con cambios muy drásticos, con un aumento de B10 > 1.5 °C y una disminución de B12 > 30%.

Otras zonas con afectaciones un poco menos drásticas se encuentran en el norte de Chihuahua, en la frontera con los Estados Unidos; en Sonora, en la región de Puerto Peñasco; en Baja California en la zona fronteriza con Baja California Sur; en Tamaulipas, al oriente de Ciudad Victoria; y en Veracruz, en la región occidental de Uxpanapa, en la frontera con Oaxaca (Fig. 8). En estas zonas se observaron decrementos del porcentaje de precipitación anual y aumentos de la temperatura entre 1 y 1.5 °C. Estas zonas son de atención prioritaria para analizar la información climática a detalle y para evaluar los posibles impactos de estos cambios climáticos en la biodiversidad a distintos niveles y en las comunidades humanas.

#### *Análisis de datos de estaciones climáticas en las zonas de mayor impacto por cambio climático.*

Los datos analizados de las 17 estaciones climáticas que caen en las zonas de cambio climático severo resultaron altamente inconsistentes. En principio, las series de tiempo tuvieron duraciones muy variables que fueron de los 2 a los 63.5 años, pero solamente nueve estaciones tuvieron una serie de tiempo mayor a 20 años; sin embargo, solamente cuatro de esas nueve estaciones tuvieron <20% de valores faltantes en la serie, las cinco estaciones restantes tuvieron entre 24.3 y 72.1% de datos ausentes (Cuadro 1).

Las cinco estaciones con series de tiempo largas y relativamente pocos datos ausentes fueron: La Laguna, Veracruz; Banderas, Chihuahua; Sierra Morena y Espinazo, ambas en Nuevo León (Cuadro 1). Para estas cinco estaciones, la fecha de quiebre indicando un cambio en la tendencia del comportamiento de los datos según la prueba de Pettitt (1979) fue muy diferente para cada una (Cuadro 1), incluso entre las estaciones de Nuevo León y Chihuahua, lo que sugiere que no hay una señal clara para la detección de un periodo en donde haya habido un cambio climático conspicuo. Sin embargo, la poca consistencia de los datos no permite llegar a ninguna generalización.

**Cuadro 1.** Estaciones climáticas analizadas en series de tiempo de valores diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación.

Estación	Nombre	Estado	Fecha de inicio	Fecha de término	Días en la serie	Días faltantes	% de faltantes	Fecha de quiebre
30281	La Laguna	Veracruz	1975-07-01	2007-12-12	11853	154	1.3	1993-12-08
30291	Poblado Seis	Veracruz	1975-06-06	1980-06-30	1852	31	1.67	1976-12-26
8006	Banderas	Chihuahua	1963-01-01	1984-12-31	8036	270	3.36	1974-11-09
19178	Sierra Morena	Nuevo León	1983-05-01	2018-12-31	13029	1173	9	2013-04-22
19119	Espinazo	Nuevo León	1980-01-01	2013-11-30	12388	1221	9.86	2005-03-16
19176	Ojo de Agua	Nuevo León	1985-06-01	1988-04-30	3167	344	10.9	1988-09-24
26118	Puerto Peñasco (DGE)	Sonora	1966-01-01	1979-12-31	5113	776	15.2	1977-07-28
5154	Huizachal	Coahuila	1980-11-01	1986-05-31	2038	430	21.1	1981-07-21
5005	Candela	Coahuila	1967-05-10	2018-11-30	18833	4580	24.3	2000-07-30
26072	Puerto Peñasco (SMN)	Sonora	1952-03-01	2015-08-31	23194	5626	24.3	1964-07-23
5210	El Saucillo	Coahuila	1983-07-01	1986-05-31	1066	274	25.7	1984-12-29
20112	San José Tenango II	Oaxaca	1984-01-01	2014-09-30	11231	4536	40.4	2005-07-13
8134	Santa Rosa	Chihuahua	1972-01-01	1975-07-31	1308	572	43.7	1972-05-26
8346	El Carrizo	Chihuahua	2000-01-01	2001-12-31	731	60	60	2000-08-19
5010	Ejido El Socorro	Coahuila	1965-08-08	1976-07-31	4011	2495	62.2	1976-04-03
2144	Ensenada Blanca	Baja California	1953-10-01	1985-11-30	11749	7846	66.8	1956-01-31
13066	C.E.T.A. 006	Hidalgo	1973-05-16	2013-12-31	14840	10700	72.1	2007-09-15

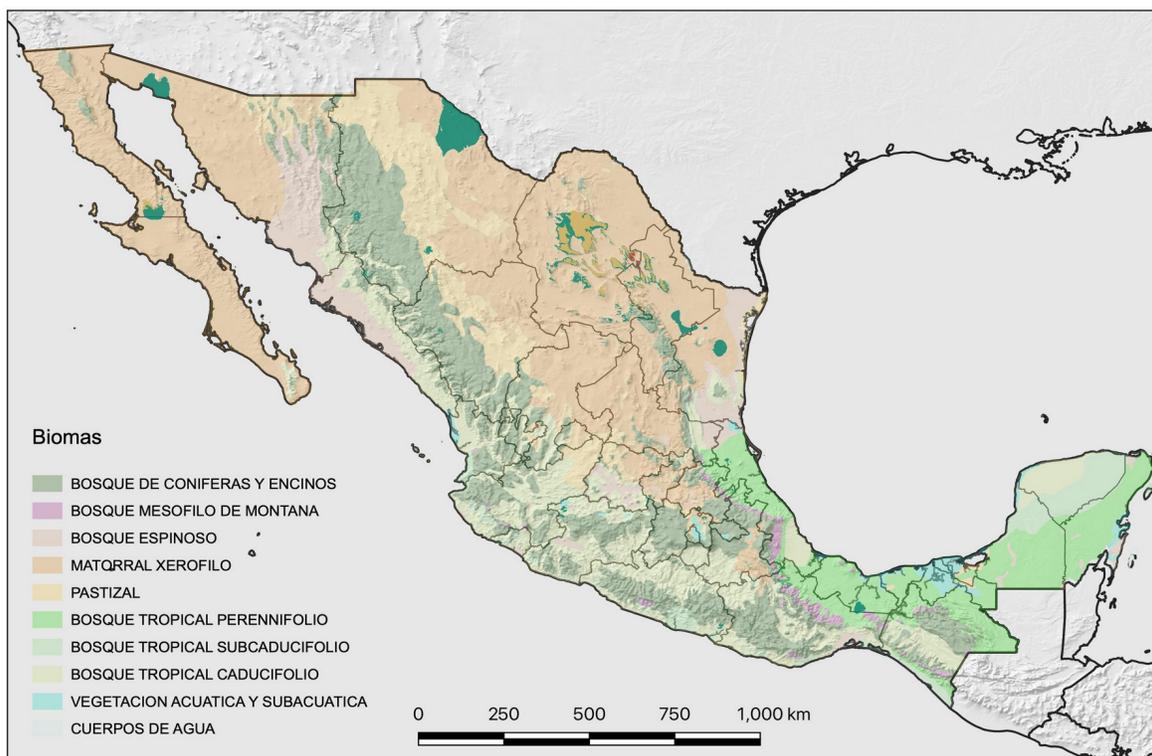
## 2. Impactos a la biodiversidad

### Biomás

Las zonas que han sufrido un mayor impacto por el cambio climático (Fig. 8), están afectando principalmente al bioma del matorral xerófilo con un 5.53% de su extensión afectada (Cuadro 2). Este bioma se encuentra en los tres grandes desiertos de México: Chihuahuense, Sonorense y de Baja California (Fig. 9). Los tipos de vegetación que se están viendo mayormente afectados dentro de este bioma son: los matorrales micrófilo, rosetófilo, espinoso tamaulipeco, vegetación halófila, mezquital, chaparral, sarcocaulé y los desiertos arenosos de Sonora. En términos del porcentaje de área afectada por cambio climático, los bosques de coníferas y encinos (0.83%), bosques tropicales perennifolios (0.74%) y los bosques mesófilos de montaña (0.54%) son los más afectados, mientras que los bosques espinosos y tropical subcaducifolio no muestran zonas impactadas (Cuadro 2).

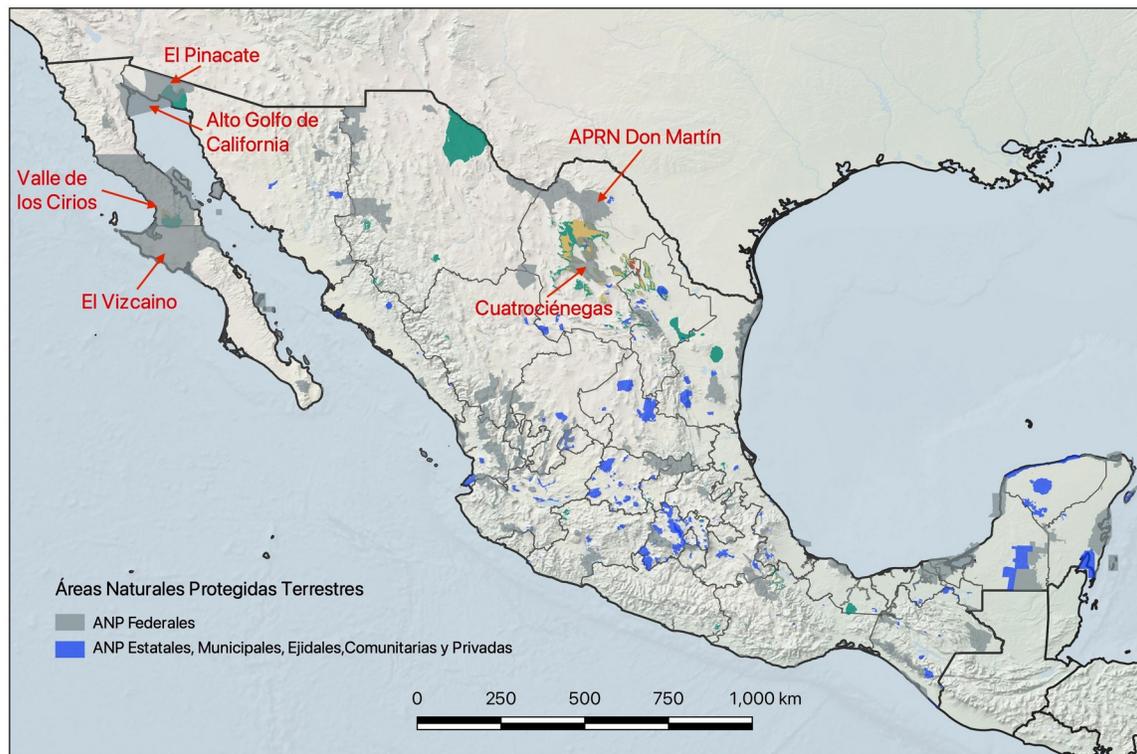
**Cuadro 2.** Extensión y porcentaje de área afectada y en los biomas de México por cambio climático.

<b>Bioma</b>	<b>Área afectada por CC (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% afectado por CC</b>
Matorral xerófilo	29241.44	5.53
Bosque de coníferas y encinos	2183.28	0.83
Bosque tropical perennifolio	965.60	0.74
Bosque mesófilo de montaña	64.67	0.54
Pastizal	526.64	0.46
Vegetación acuática	36.72	0.23
Bosque tropical caducifolio	243.32	0.13
Bosque espinoso	0.55	0.00
Bosque tropical subcaducifolio	0.00	0.00



**Figura 9.** Los biomas de México (Rzedowski 1979) y las zonas mayormente impactadas por el cambio climático en la transición de los periodos T2 (1940-1979) a T3 (1980-2009) (ver Fig. 8).

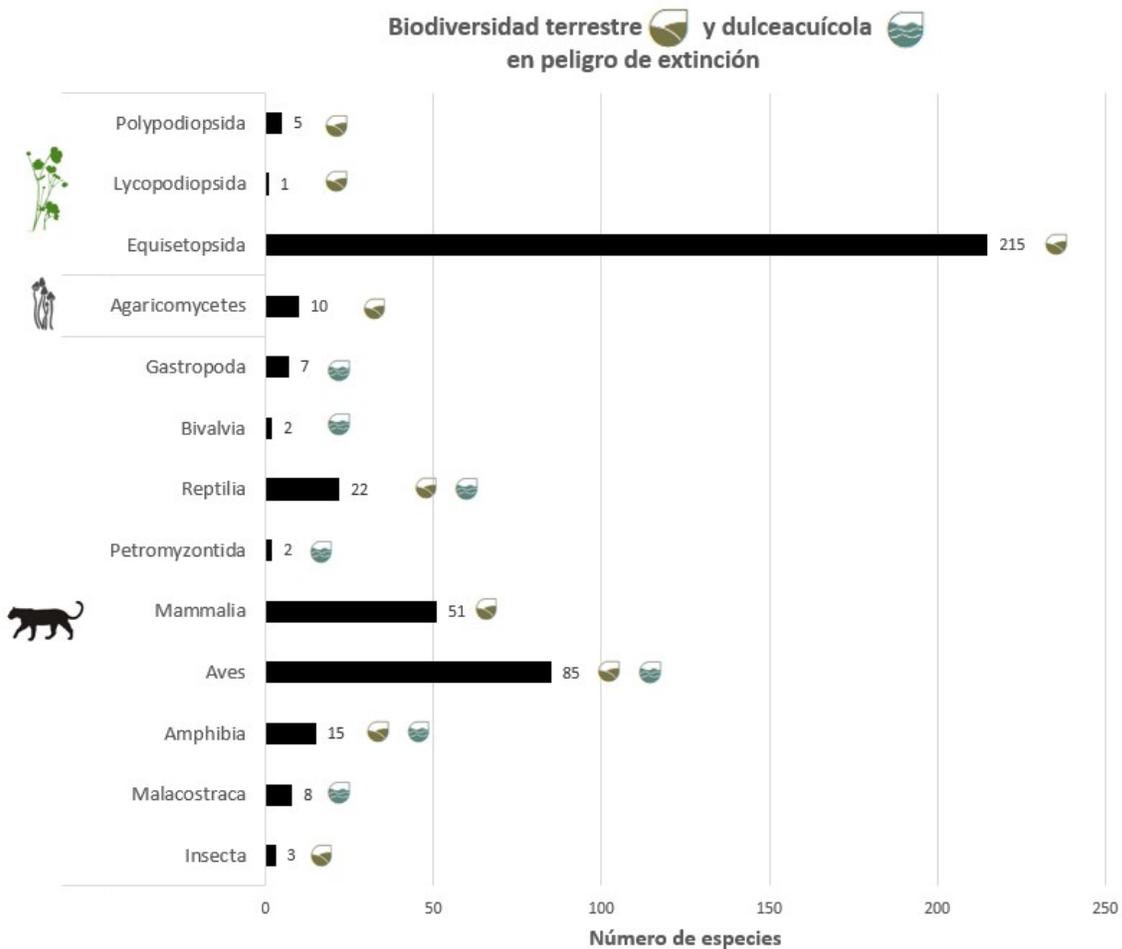
Las zonas áridas de México, particularmente el Desierto Chihuahuense, es uno de los de mayor biodiversidad en el mundo y concentra una importante cantidad de especies endémicas, particularmente el estado de Coahuila (Villarreal-Quintanilla et al. 2017). Específicamente, una de las zonas de mayor afectación identificadas en este estudio es el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, única en el mundo por su sistema hidrológico particular y la concentración de especies endémicas asociadas a las ciénegas y de plantas de las familias Cactaceae y Asrteraceae (Villarreal-Quintanilla et al. 2017). Otras áreas protegidas que muestran afectación por cambio climático severo son: El Área de Protección de Recursos Naturales Don Martín, en Coahuila; El Pinacate y Alto Golfo de California en Sonora; Valle de los Cirios, en Baja California, y El Vizcaino, en Baja California Sur. Por lo anterior, es de suma importancia mantener una estrecha observación y llevar a cabo monitoreos de distintos elementos de la flora y fauna para entender cómo se están viendo impactados los procesos ecológicos en estas zonas.



**Figura 10.** Áreas naturales protegidas terrestres federales (gris) y estatales, municipales, ejidales, comunales y privadas de México. En rojo se señala las ANP que se encuentran en las zonas mayormente afectadas por el cambio climático (Fig. 8).

### Especies en peligro de extinción

Las especies en peligro de extinción son aquellas que han sufrido una reducción drástica en sus poblaciones o en su área de distribución, debido principalmente a la destrucción del hábitat, la sobreexplotación, la persecución, entre otros factores de presión. En México hay 535 especies “En peligro de extinción” según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF 2010), y de éstas, 426 son terrestres o dulceacuícolas (Fig. 11). La mayoría de las plantas y casi la mitad de los animales en peligro son endémicas a México (Cuadro 3).



**Figura 11.** Número de especies “En Peligro de extinción” según la NOM-059, organizadas por Reino, División y Phylum. No se consideraron especies con distribución en el mar o en islas. Iconografía de tomada de la página de [www.enciclovida.mx](http://www.enciclovida.mx).

**Cuadro 3.** Tipo de distribución de las especies en la categoría de “En peligro de extinción”.

<b>Animalia</b>	Endémica	98
	Nativa	106
	Fuera de México	1
<b>Fungi</b>	Nativa	10
	Endémica	139
<b>Plantae</b>	Nativa	70
	Fuera de México	2

El Sistema de Información de la Biodiversidad (SNIB), coordinado por la CONABIO, actualmente cuenta con un gran número de modelos de distribución potencial de la biodiversidad de México, los cuales fueron generados por expertos y expertas en diversos grupos taxonómicos. Para este proyecto descargamos del SNIB (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) los modelos de distribución potencial de las especies catalogadas “En peligro de extinción”. En el SNIB hay modelos de distribución para 172 especies (Cuadro 3); sin embargo, los artrópodos, moluscos y hongos no cuentan con modelos de distribución, así como tampoco 163 plantas vasculares y 24 mamíferos debido a la falta de datos para generarlos (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Número de especies que cuentan con modelos de distribución potencial en el SNIB.

<b>Animalia</b>	<b>Nativa</b>	<b>Endémica</b>	<b>Total</b>
<b>Vertebrata</b>			
Amphibia		11	11
Aves	38	22	60
Mammalia	17	9	26
Reptilia	1	6	7

	59	49	104
<b>Plantae</b>	<b>Nativa</b>	<b>Endémica</b>	<b>Total</b>
<b>Tracheophyta</b>			
Equisetopsida	11	56	67
Polypodiopsida	1		1
	8	51	68

En el análisis de sobreposición de los modelos de estas 172 especies con las áreas de mayor afectación por cambio climático, encontramos que para 119 especies al menos una parte de su área de distribución se encuentra en zonas de alta afectación por cambio climático. De éstas, 71 (60%) son animales y 48 (40%) plantas y el 52% son endémicas (Anexo 1). Dentro de este grupo, diez especies tienen  $\geq 5\%$  de su área de distribución potencial impactada por cambio climático severo, ocho de las cuales son endémicas a México, destacando la cactácea *Coryphantha werdermannii* y el murciélago *Myotis planiceps* con 47.6 y 10.1% de sus áreas de distribución impactadas, respectivamente (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Especies con afectación por cambio climático severo mayor al 5% en su distribución potencial.

Reino	Familia	Nombre científico	Área afectada por CC (km <sup>2</sup> )	% de su distribución	Distribución
Plantae	Cactaceae	<i>Coryphantha werdermannii</i>	6157.62	47.58	Endémica
Animalia	Vespertilionidae	<i>Myotis planiceps</i>	760.02	10.17	Endémica
Animalia	Vireonidae	<i>Vireo atricapilla</i>	14630.99	9.12	Nativa
Plantae	Cactaceae	<i>Coryphantha gracilis</i>	147.34	8.39	Endémica
Animalia	Ursidae	<i>Ursus americanus</i>	21771.29	8.26	Nativa
Plantae	Zamiaceae	<i>Ceratozamia euryphyllidia</i>	909.53	6.23	Endémica
Animalia	Vespertilionidae	<i>Myotis vivesi</i>	4840.02	6.06	Endémica
Plantae	Pinaceae	<i>Pinus (Strobilus) nelsonii</i>	6579.58	5.92	Endémica
Plantae	Zamiaceae	<i>Dioon angustifolium</i>	3555.28	4.99	Endémica
Animalia	Anatidae	<i>Cygnus columbianus</i>	8675.18	4.99	Nativa

## Conclusiones y recomendaciones

Nuestros resultados muestran que el cambio climático en México está teniendo impactos diferenciados espacial y temporalmente en el país. La región norte de México es en donde se han manifestado los mayores aumentos de temperatura y al mismo tiempo una reducción de la precipitación en términos porcentuales. El aumento de temperatura ha sido mayor en la temporada de frío que en la de calor. Asimismo, una mayor parte del país ha experimentado un proceso de calentamiento y menos zonas de enfriamiento. Las zonas del sureste mexicano son las más húmedas del país, y es en esa región en donde se observaron las reducciones absolutas de precipitación más importantes.

En el norte de México se encuentran los desiertos de mayor extensión, es la zona en donde el aumento de la temperatura y disminución de la precipitación se ha presentado con mayor severidad. Es por ello que el bioma del matorral xerófilo es el más impactado por los cambios climáticos severos, pero también es el bioma de mayor extensión en el país. No obstante, existen zonas de muy alta importancia para la biodiversidad que se encuentran en las zonas de cambio climático severo, en especial la región de Cuatrociénegas, en Coahuila, que es una región muy particular por su riqueza de especies endémicas y procesos ecológico-evolutivos únicos en el mundo. Es recomendable analizar la información biológica que se ha generado en la región por varios años a la luz de los cambios en el clima local para identificar especies y procesos que puedan estar siendo impactados por el cambio climático.

Los demás biomas de México no están exentos de los impactos del cambio climático contemporáneo. En este sentido, el bosque mesófilo de montaña es quizá el bioma de mayor preocupación, ya que es el de menor extensión y de alta sensibilidad al cambio en las condiciones de precipitación horizontal (Ponce-Reyes et al. 2012, 2013). En los análisis que presentamos en este estudio no se muestra como un bioma fuertemente impactado por condiciones severas de cambio climático (apenas 0.54% de su distribución); sin embargo, los análisis se enfocaron sólo en temperatura máxima, mínima y precipitación, mientras que otras variables relevantes para este bioma, como la humedad, no se evaluaron.

Nuestros análisis nos permitieron identificar las especies catalogadas como “En peligro de extinción” por la NO059 que tienen parte de su distribución geográfica en las zonas de cambio climático severo. En este listado destacan las especies endémicas del norte de México; algunas de ellas habitan la región de Cuatrociénegas, como el cactus *Coryphantha werdermannii* y el murciélago *Myotis planiceps*. Otras especies son de amplia distribución en Norteamérica, aunque en México su distribución es restringida, como el oso negro *Ursus americanus* o el viereo de gorra negra (*Vireo atricapilla*). Aunque la extensión de los impactos de cambio climático severo se concentran en el norte de México, algunas zonas de menor tamaño en el sur también podrían estar impactando especies de las zonas tropicales, tal es el caso de la cícada de los Chimalapas (*Ceratozamia euryphyllidia*). Con base en nuestros resultados, recomendamos enfocar esfuerzos de investigación en las especies identificadas en este estudio para evaluar si existen evidencias de impactos en procesos biológicos o ecológicos en sus poblaciones que permitan determinar las respuestas y posibles acciones para su conservación. Es importante destacar que estas especies se consideran en peligro de extinción por razones diversas, como pueden ser una distribución restringida, una tendencia poblacional negativa o por sobreexplotación; el cambio climático podría estar jugando un papel sinérgico con estos otros factores de presión en las poblaciones de estas especies, y sería importante determinarlo.

Los resultados obtenidos con estos análisis tienen dos propósitos: (1) Informar a las autoridades ambientales (SEMARNAT: INECC, CONABIO, CONANP) los hallazgos y las listas priorizadas, con el fin de que les puedan ser útiles en sus labores de conservación. (2) Dar a conocer los resultados a la comunidad científica interesada en el tema para orientar los esfuerzos de investigación sobre la biología del cambio climático a esas zonas y especies identificadas. En este esfuerzo, el PINCC podría jugar un papel particularmente importante en la coordinación de grupos de trabajo con el fin de optimizar los recursos y esfuerzos para obtener resultados de manera más rápida y eficiente.

## Literatura citada

- Arreguín-Sánchez, F. 2019. Climate change and the rise of the octopus fishery in the Campeche Bank, México. *Regional Studies in Marine Science* 32: 100852.
- Coria, S.R., C. Cruz-Meléndez & L. Villers. 2015. Climate data and the Mexican standard on open data Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research. Pp 314-315. <https://doi.org/10.1145/2757401.2757451>.
- Cuervo-Robayo, A.P., O. Téllez-Valdés, M.A. Gómez-Albores, C.S. Venegas-Barrera, J. Manjarrez & E. Martínez-Meyer. 2014. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology* 34: 2427–2437.
- Cuervo-Robayo, A.P., C. Ureta, M.A. Gómez-Albores, A.K. Meneses-Mosquera, O. Téllez-Valdés & E. Martínez-Meyer. 2020. One hundred years of climate change in Mexico. *PLoS ONE* 15(7): e0209808.
- Diario Oficial de la Federación. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo (Segunda sección). Gobierno de México. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5173091](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091).
- Fernández-Eguiarte, A., R. Romero-Centeno & J. Zavala-Hidalgo. 2012. Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes Vol 1. Centro del Ciencias de la Atmósfera y Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <http://atlasclimatico.unam.mx/ACM>. Acceso: 28 de julio de 2020.
- Fernández-Eguiarte, A., R. Romero-Centeno & J. Zavala-Hidalgo. 2014. Metodologías empleadas en el Atlas Climático Digital de México para la generación de mapas de alta resolución. *GeoActa* 39: 165–173.
- Flesch, A.D. 2018. Patterns and drivers of long-term changes in breeding bird communities in a global biodiversity hotspot in Mexico. *Diversity & Distributions* 25: 499-513.
- INEGI. 2016. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Union)', escala: 1:250 000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kuglitsch, F., Toreti A, Xoplaki E, Della-Marta P, Luterbacher J, Wanner H. 2009. Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 114: D15.
- Loarie, S.R., P.B. Duffy, H. Hamilton, G.P. Asner, C.B. Field, et al. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462: 1052–1055.

- Murray-Tortarolo, G. 2021. Seven decades of climate change in Mexico. *Atmósfera* 32: 217–226.
- Peterson, A.T., J. Soberón, R.G. Pearson, R.P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura & M.B. Araújo. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, Princeton, N.J. 314 p.
- Peterson, A.T., A.G. Navarro-Sigüenza, E. Martínez-Meyer, A.P. Cuervo-Robayo, H. Berlanga & J. Soberón. 2015. Twentieth century turnover of Mexican endemic avifaunas: Landscape change versus climate drivers. *Science Advances* 1, e1400071.
- Pettitt, A. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C Applied Statistics* 28: 126–135.
- Pohlert, T. 2020. trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.2. (<https://CRAN.R-project.org/package=trend>).
- QGIS. 2020. QGIS Geographic Information System ver. 3.18.0. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Saravanan, G., V.R. Rajan, S. Prasad & G. Mutusankar. Climate change research (1991-2012): comparative scientometric study of Argentina, Brazil, China, India and Mexico. *Library Philosophy and Practice* 2014.
- SEMARNAT-CONANP. 2020. Áreas Naturales Protegidas Federales de México, agosto 2020, edición: 2020. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México.
- Shackley, S., P. Young, S. Parkinson & B. Wayne. 1998. Uncertainty, complexity and concepts of good science in climate change modeling: are GCMs the best tools? *Climatic Change* 38: 159-205.
- Sinervo, B., F. Méndez-de-la-Cruz, D.B. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans, M. Villagrán, et al. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* 328: 894-899.
- Smith, A.B., M.J. Santos, M.S. Koo, K.M. Rowe, K.C. Rowe, J.L. Patton, J.D. Perrine, et al. 2013. Evaluation of species distribution models by resampling of sites surveyed a century ago by Joseph Grinnell. *Ecography* 36: 1017-1031.
- Smith, F.A., H. Browning & U.L. Shepard. 1998. The influence of climate change on the body mass of woodrats *Neotoma* in an arid region of New Mexico, USA. *Ecography* 21: 140-148.
- Solís Alvarado, Y., E. Jaimes Leyva, J. García Hernández & J. Lafragua Contreras. 2016. Preprocesamiento de datos climáticos para el Extractor Rápido de Información Climatológica IV. <https://www.gob.mx/imta/documentos/preprocesamiento-de>

datos-climaticos-para-el-extractor-rapido-de-informacion-climatologica-iv. Acceso: 28 de julio de 2020.

- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S.E. Cornell, I. Fetzer, et al. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347: 1259855.
- Valderrama-Landeros, L.H., J. López-Portillo, S. Velázquez-Salazar, J.A. Alcántara-Maya, et al. 2020. Distribution and change dynamics of mangroves in Mexico between 1970/80 and 2015. *Wetlands*. Early view. <https://doi.org/10.1007/s13157-020-01299-0>.
- Villarreal-Quintanilla, J.A., J.A. Bartolomé-Hernandez, E. Estrada Castillón, H. Ramírez-Rodríguez & S.J. Martínez-Amador. 2017. El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana* 11: 65-96.
- Wijngaard, J., A. Klein Tank & G. Können. 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology* 23: 679–692.
- Zhu, C. & D.P. Lettenmaier. 2007. Long-term climate and derived surface hydrology and energy flux data for Mexico: 1925-2004. *Journal of Climate* 20:1936–1946.

## Productos comprometidos y entregados

A continuación se mencionan los productos comprometidos en este proyecto y lo que se entrega:

P1. Un conjunto de mapas en formato ráster de México a una resolución espacial de 1 km que muestre la magnitud del cambio climático para cada una de las 19 variables bioclimáticas y entre cada uno de los periodos analizados.

- Se entregaron 3 conjuntos de 19 capas ráster a resolución de 0.00833 grados decimales (aprox. 1 km) en el archivo **Mapas magnitudes.zip** representando la magnitud de cambio entre los periodos climáticos:

T1 (1910-1939) a T2 (1940-1979), el nombre de la carpeta es **delta1a2**.

T2 (1940-1979) a T3 (1980-2009), el nombre de la carpeta es **delta2a3**.

T1 (1910-1939) a T3 (1980-2009), el nombre de la carpeta es **delta1a3**.

Nota: Se entregan estas bases de datos porque son productos comprometidos. Sin embargo, como se menciona en el informe, los análisis indicaron que el periodo T1 tiene inconsistencias, por lo **se sugiere que los mapas que involucran esta climatología se usen con cautela**. El conjunto de datos más confiable es **delta2a3**.

P2. Un conjunto de mapas en formato ráster de México a una resolución espacial de 1 km que muestre la tasa de cambio para cada una de las 19 variables bioclimáticas y entre cada uno de los periodos analizados.

- Se entregaron 14 mapas en formato ráster a 0.00833 grados decimales de resolución para México **Mapas tasas de cambio.zip** que corresponden a las variables bioclimáticas B1, B5, B6, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B16, B17, B18 y B19 de la transición del periodo T2 al T3. Decidimos no incluir las variables de la transición T1 a T2 porque los datos de T1 no son suficientemente robustos por el bajo número de estaciones climatológicas funcionando en dicho periodo y, por ende, las coberturas no tienen el mismo grado de confianza que las de los periodos T2 y T3.

P3. Un mapa en formato ráster de México a una resolución espacial de 1 km que muestre las zonas más impactadas por el cambio climático.

- Se entregó un mapa ráster a resolución de 0.00833 grados decimales que representa las zonas de mayor impacto de cambio climático en México. El código de valores es el siguiente:

**3 = Sitios con cambios muy drásticos**, con un aumento de la temperatura del periodo más cálido (Bio10)  $> 1.5$  °C y una disminución de la precipitación anual (Bio12)  $> 30\%$ .

**2 = Sitios con cambios drásticos**, con un aumento de temperatura del periodo más cálido (Bio10)  $> 1.5$  °C y una disminución de la precipitación anual (Bio12) entre 0 y 30%.

**1 = Sitios con cambios moderados**, con un aumento de temperatura del periodo más cálido (Bio10) entre 1 y 1.5 °C y una reducción de la precipitación anual (Bio12) entre 0 y 30%.

**0 = Sitios en donde no hay un cambio climático apreciable** bajo los criterios establecidos.

P4. Un análisis de serie de tiempo y puntos de quiebre de las estaciones seleccionadas que muestren el desarrollo del cambio climático.

-Se entregó un conjunto de 11 gráficas para las 17 estaciones climáticas que se encuentran dentro de las zonas de mayor impacto por cambio climático que muestran los análisis de series de tiempo de temperatura máxima, mínima y precipitación en donde se muestran los valores faltantes, tendencias mensuales y anuales y los puntos de quiebre, así como las bases de datos obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional de dichas estaciones con las que se realizaron los análisis. El archivo se llama **Series de tiempo estaciones.zip**.

P5. Un listado de la proporción de área impactada a los biomas de México.

- Se entregó el archivo **Biomás afectados por cc.xlsx** en el que se presenta la extensión y proporción de área impactada por cambio climático a los biomas de México.

P6. Mapas de distribución de las especies de la NOM059 que se encuentran en la categoría de “En peligro de extinción” para las que se encuentre suficiente información para generar los modelos.

- No generamos mapas de distribución potencial de las especies enlistadas como “En peligro de extinción” en la NOM059 porque CONABIO reúne los mapas de las 176 especies en esa categoría para los que hay suficientes datos para realizarlos. Dichos mapas fueron generados por especialistas de cada uno de los grupos taxonómicos, por lo que consideramos innecesario repetirlos y fueron los que usamos para los análisis. En su lugar, entregamos el archivo **Listado de especies impactadas por cc.xlsx** en donde se muestra para cada especie su información taxonómica, área afectada por cambio climático severo, porcentaje de su área de distribución potencial afectada por cambio climático severo, tipo de distribución y estatus de conservación en la NOM059, en la IUCN y CITES.

P7. Una lista priorizada de los biomas y especies mayormente afectadas por el cambio climático.

- Se entregó el archivo **Priorización de biomas y especies.xlsx** que muestra el orden de prioridad de los biomas y especies que requieren mayor atención por impacto del cambio climático contemporáneo en México.

P8. Un informe técnico y financiero parcial con los avances del proyecto.

- Los informes parciales técnico y financiero se entregaron el 9 de abril del presente.

P9. Un informe técnico y financiero final del proyecto.

- Se entregaron los informes técnico y financiero el 13 de diciembre del presente.

P10. Dos artículos científicos en proceso de preparación o envío a publicación a revistas de circulación internacional.

- Se entregó el capítulo del libro: "Contemporary climate change impacts on Mexican fauna" con autoría de Enrique Martínez Meyer y Julián Velasco. Dicho capítulo es producto de una invitación para colaborar en el libro "Mexican Fauna in the Anthropocene", coordinado por el Dr. Robert Wallace Jones, de la Universidad de Querétaro. En la sección de Agradecimientos se reconoce el apoyo a este proyecto por parte del PINCC.

El segundo manuscrito comprometido está en preparación y es sobre los análisis de impactos a la biodiversidad a nivel de biomas y de especies. Los autores son Enrique Martínez-Meyer y Ángela Cuervo-Robayo. Se espera tenerlo listo para someter a la revista Regional Environmental Change en abril de 2022.

**ANEXO 1.** Especies “En peligro de extinción” de las que se obtuvieron modelos de distribución potencial del SNIB-CONABIO en las que se muestra su información taxonómica, área y porcentaje de su distribución afectados por cambio climático y estado de conservación según la NO059, IUCN y CITES.

Reino	División/ Phyllum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie	Nombre científico	Área afectada por CC (km2)	Porcentaje de su distribución	Tipo distribución	Ambiente	Estatus NOM-059	Estatus IUCN	Estatus CITES
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Coryphantha	werdermannii	Coryphantha werdermannii	6157.62	47.58	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Mammalia	Chiroptera	Vespertilionidae	Myotis	planiceps	Myotis planiceps	760.02	10.17	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Vireonidae	Vireo	atricapilla	Vireo atricapilla	14630.99	9.12	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Coryphantha	gracilis	Coryphantha gracilis	147.34	8.39	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Ursidae	Ursus	americanus	Ursus americanus	21771.29	8.26	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	euryphyllidia	Ceratozamia euryphyllidia	909.53	6.23	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Mammalia	Chiroptera	Vespertilionidae	Myotis	vivesi	Myotis vivesi	4840.02	6.06	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	nelsonii	Pinus (Strobilus) nelsonii	6579.58	5.92	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	angustifolium	Dioon angustifolium	3555.28	4.99	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Anseriformes	Anatidae	Cygnus	columbianus	Cygnus columbianus	8675.18	4.99	Nativa	Dulceacuicola	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	pinceana	Pinus (Strobilus) pinceana	710.90	4.94	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Troglodytidae	Hylorchilus	navai	Hylorchilus navai	288.01	4.47	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Artiodactyla	Antilocapridae	Antilocapra	americana	Antilocapra americana	17815.76	4.44	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Mammillaria	huitzilopochtli	Mammillaria huitzilopochtli	65.08	4.16	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Castoridae	Castor	canadensis	Castor canadensis	2999.25	4.04	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Rhynchopsitta	terrisi	Rhynchopsitta terrisi	1283.90	3.92	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	Haliaeetus	leucocephalus	Haliaeetus leucocephalus	5626.44	3.80	Nativa	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Astrophytum	asterias	Astrophytum asterias	597.05	3.15	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Amazona	viridigenalis	Amazona viridigenalis	2639.28	2.96	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	mixeorum	Ceratozamia mixeorum	56.66	2.90	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Sciuridae	Cynomys	ludovicianus	Cynomys ludovicianus	5902.75	2.78	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Reptilia	Testudines	Emydidae	Terrapene	coahuila	Terrapene coahuila	11.78	2.66	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	whitlockiana	Ceratozamia whitlockiana	1345.76	2.55	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Fabales	Fabaceae	Ormosia	isthmensis	Ormosia isthmensis	719.53	2.43	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	muricata	Pinus (Pinus) muricata	924.86	2.34	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Amphibia	Caudata	Plethodontidae	Pseudoeurycea	nigromaculata	Pseudoeurycea nigromaculata	77.20	2.15	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Erethizontidae	Erethizon	dorsatum	Erethizon dorsatum	7550.18	2.08	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Coraciiformes	Momotidae	Electron	carinatum	Electron carinatum	821.08	1.90	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	Harpia	harpyja	Harpia harpyja	233.96	1.76	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Felidae	Panthera	onca	Panthera onca	24271.24	1.65	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	spinulosum	Dioon spinulosum	480.71	1.45	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Mammalia	Primates	Atelidae	Alouatta	palliata	Alouatta palliata	890.73	1.42	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Amphibia	Anura	Ranidae	Lithobates	tlaloci	Lithobates tlaloci	94.88	1.41	Endémica	Dulceacuícola	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	kuesteriana	Ceratozamia kuesteriana	720.46	1.37	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Pyrilia	haematotis	Pyrilia haematotis	1279.56	1.35	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Arecales	Arecaceae	Chamaedorea	metallica	Chamaedorea metallica	1504.48	1.32	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Fabales	Fabaceae	Vatairea	lundellii	Vatairea lundellii	1009.19	1.20	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Animalia	Chordata	Amphibia	Caudata	Plethodontidae	Chiropterotriton	lavae	Chiropterotriton lavae	173.72	1.17	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	NA
Animalia	Chordata	Reptilia	Testudines	Staurotypidae	Claudius	angustatus	Claudius angustatus	847.50	1.16	Nativa	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Zamia	purpurea	Zamia purpurea	1303.89	1.15	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Malvales	Malvaceae	Mortoniodes	guatemalense	Mortoniodes guatemalense	900.92	1.04	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Animalia	Chordata	Amphibia	Anura	Ranidae	Lithobates	johnei	Lithobates johnei	81.52	0.95	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Cathartiformes	Cathartidae	Sarcorampus	papa	Sarcorampus papa	962.49	0.95	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice III
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	Buteogallus	solitarius	Buteogallus solitarius	1209.19	0.93	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	califanoi	Dioon califanoi	33.79	0.92	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	Spizaetus	ornatus	Spizaetus ornatus	1480.96	0.83	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	Spizaetus	melanoleucus	Spizaetus melanoleucus	983.54	0.80	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Corvidae	Cyanolyca	nanus	Cyanolyca nanus	292.19	0.79	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Galliformes	Odontophoridae	Dendrortyx	barbatus	Dendrortyx barbatus	114.52	0.78	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA

Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Mustelidae	Eira	barbara	Eira barbara	3936.29	0.78	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice III
Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Felidae	Leopardus	pardalis	Leopardus pardalis	8583.53	0.77	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Canidae	Canis	lupus	Canis lupus subsp. baileyi	4769.26	0.76	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Turbinicarpus	horripilus	Turbinicarpus horripilus	7.11	0.76	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Polypodiopsida	Cyatheaales	Cyatheaceae	Alsophila	firma	Alsophila firma	596.50	0.70	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Abies	guatemalensis	Abies guatemalensis	923.07	0.69	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Amphibia	Caudata	Plethodontidae	Thorius	pennatulus	Thorius pennatulus	550.19	0.66	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Sciuridae	Cynomys	mexicanus	Cynomys mexicanus	912.78	0.63	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Amazona	oratrix	Amazona oratrix	1563.28	0.62	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Ara	macao	Ara macao	1600.85	0.57	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Ericales	Sapotaceae	Sideroxylon	cartilagineum	Sideroxylon cartilagineum	5700.16	0.57	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Parulidae	Geothlypis	speciosa	Geothlypis speciosa	98.97	0.56	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Strigiformes	Strigidae	Glaucidium	sanchezi	Glaucidium sanchezi	57.68	0.56	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II

Animalia	Chordata	Mammalia	Pilosa	Cyclopedidae	Cyclopes	didactylus	Cyclopes didactylus	1342.96	0.55	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Anseriformes	Anatidae	Cairina	moschata	Cairina moschata	2974.12	0.55	Nativa	Dulceacuícola	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Echinocactus	platyacanthus	Echinocactus platyacanthus	794.02	0.54	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	edule	Dioon edule	305.48	0.53	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Mammalia	Primates	Atelidae	Ateles	geoffroyi	Ateles geoffroyi	1080.65	0.49	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Echinocereus	palmeri	Echinocereus palmeri	344.79	0.49	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Onychorhynchidae	Onychorhynchus	coronatus	Onychorhynchus coronatus	1310.13	0.46	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Animalia	Chordata	Aves	Apodiformes	Trochilidae	Lamprolaima	rhami	Lamprolaima rhami	410.77	0.46	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Mammalia	Didelphimorphia	Didelphidae	Chironectes	minimus	Chironectes minimus	1603.30	0.44	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Chiroptera	Phyllostomidae	Vampyrum	spectrum	Vampyrum spectrum	1655.60	0.43	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Celastrales	Celastraceae	Zinowiewia	concinna	Zinowiewia concinna	519.17	0.41	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Grallariidae	Grallaria	guatemalensis	Grallaria guatemalensis	879.07	0.41	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Zamia	furfuracea	Zamia furfuracea	115.28	0.40	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Echinocactus	grusonii	Echinocactus grusonii	70.31	0.39	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Felidae	Leopardus	wiedii	Leopardus wiedii	4680.86	0.39	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Rhynchopsitta	pachyrhyncha	Rhynchopsitta pachyrhyncha	1007.33	0.37	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Parulidae	Geothlypis	flavovelata	Geothlypis flavovelata	133.41	0.36	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	Spizaetus	tyrannus	Spizaetus tyrannus	161.69	0.32	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	tomasellii	Dioon tomasellii	776.15	0.31	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Turdidae	Turdus	infuscatus	Turdus infuscatus	242.95	0.29	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Spizella	wortheni	Spizella wortheni	38.40	0.27	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Fagales	Fagaceae	Fagus	grandifolia	Fagus grandifolia subsp. mexicana	141.35	0.26	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	purpusii	Dioon purpusii	28.10	0.21	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	matudae	Ceratozamia matudae	107.77	0.21	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	holmgrenii	Dioon holmgrenii	92.69	0.20	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Cardinalidae	Amaurospiza	concolor	Amaurospiza concolor	151.24	0.19	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	latifolia	Ceratozamia latifolia	155.99	0.19	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Zamia	katzeriana	Zamia katzeriana	42.99	0.16	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	miqueliana	Ceratozamia miqueliana	30.50	0.16	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Abies	religiosa	Abies religiosa	35.30	0.15	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Abies	hickelii	Abies hickelii	29.68	0.15	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Zamia	fischeri	Zamia fischeri	9.61	0.12	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Ara	militaris	Ara militaris	244.36	0.09	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Strigiformes	Strigidae	Megascops	barbarus	Megascops barbarus	7.39	0.07	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Coraciiformes	Momotidae	Aspatha	gularis	Aspatha gularis	7.39	0.07	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Xenospiza	baileyi	Xenospiza baileyi	49.62	0.07	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Sapindales	Simaroubaceae	Picrasma	mexicana	Picrasma mexicana	12.41	0.06	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Parulidae	Cardellina	versicolor	Cardellina versicolor	7.39	0.05	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	merolae	Dioon merolae	14.59	0.05	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice II

Animalia	Chordata	Aves	Strigiformes	Strigidae	Strix	fulvescens	Strix fulvescens	7.39	0.04	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Reptilia	Squamata	Anguidae	Barisia	rudicollis	Barisia rudicollis	0.96	0.04	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Strigiformes	Strigidae	Aegolius	ridgwayi	Aegolius ridgwayi	7.39	0.03	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Fabales	Fabaceae	Dalbergia	congestiflora	Dalbergia congestiflora	10.69	0.03	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	culminicola	Pinus (Strobilus) culminicola	2.22	0.03	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Trogoniformes	Trogonidae	Pharomachus	mocinno	Pharomachus mocinno	7.39	0.03	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Parulidae	Setophaga	chrysoparia	Setophaga chrysoparia	3.91	0.03	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Galliformes	Cracidae	Penelopina	nigra	Penelopina nigra	7.39	0.02	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice III
Animalia	Chordata	Aves	Falconiformes	Falconidae	Falco	deiroleucus	Falco deiroleucus	2.10	0.02	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Asparagales	Orchidaceae	Rossioglossum	grande	Rossioglossum grande	1.99	0.02	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Asparagales	Orchidaceae	Oncidium	poikilostalix	Oncidium poikilostalix	1.87	0.02	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Corvidae	Nucifraga	columbiana	Nucifraga columbiana	1.64	0.02	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Fabales	Fabaceae	Platymiscium	lasiocarpum	Platymiscium lasiocarpum	4.00	0.01	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	NA

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Asparagales	Asparagaceae	Beaucarnea	stricta	Beaucarnea stricta	8.90	0.01	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Amphibia	Caudata	Plethodontidae	Parvimolge	townsendi	Parvimolge townsendi	0.36	0.01	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Apodiformes	Trochilidae	Doricha	eliza	Doricha eliza	1.16	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Amphibia	Caudata	Plethodontidae	Pseudoeurycea	melanomolga	Pseudoeurycea melanomolga	0.13	0.00	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Corvidae	Cyanocorax	beecheii	Cyanocorax beecheii	0.41	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Amphibia	Caudata	Plethodontidae	Ixalotriton	niger	Ixalotriton niger	0.00	0.00	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Amphibia	Caudata	Ambystomatae	Ambystoma	mexicanum	Ambystoma mexicanum	0.00	0.00	Endémica	Dulceacuícola	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Amphibia	Anura	Craugastoridae	Craugastor	megalotympanum	Craugastor megalotympanum	0.00	0.00	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Amphibia	Anura	Ranidae	Lithobates	omiltemanus	Lithobates omiltemanus	0.00	0.00	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	Amazona	auropalliata	Amazona auropalliata	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Eurypygiformes	Eurypygidae	Eurypyga	helias	Eurypyga helias	0.00	0.00	Nativa	Dulceacuícola	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Gruiformes	Gruidae	Grus	americana	Grus americana	0.00	0.00	Nativa	Dulceacuícola	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Cathartiformes	Cathartidae	Gymnogyps	californianus	Gymnogyps californianus	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	Apéndice I

Animalia	Chordata	Aves	Ciconiiformes	Ciconiidae	Jabiru	mycteria	Jabiru mycteria	0.00	0.00	Nativa	Dulceacuícola	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	Morphnus	guianensis	Morphnus guianensis	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Galliformes	Cracidae	Oreophasis	derbianus	Oreophasis derbianus	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Troglodytidae	Campylorhynchus	yucatanicus	Campylorhynchus yucatanicus	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Corvidae	Cyanocorax	dickeyi	Cyanocorax dickeyi	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Corvidae	Cyanolyca	mirabilis	Cyanolyca mirabilis	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Apodiformes	Trochilidae	Eupherusa	cyanophrys	Eupherusa cyanophrys	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Parulidae	Geothlypis	beldingi	Geothlypis beldingi	0.00	0.00	Endémica	Dulceacuícola, Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Apodiformes	Trochilidae	Lophornis	brachylophus	Lophornis brachylophus	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Mimidae	Mimus	graysoni	Mimus graysoni	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Peucaea	sumichrasti	Peucaea sumichrasti	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Mimidae	Toxostoma	guttatum	Toxostoma guttatum	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	NA
Animalia	Chordata	Aves	Columbiformes	Columbidae	Zentrygon	carrikeri	Zentrygon carrikeri	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA

Animalia	Chordata	Mammalia	Cingulata	Dasypodidae	Cabassous	centralis	Cabassous centralis	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Datos insuficientes (DD)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Soricomorpha	Soricidae	Sorex	arizonae	Sorex arizonae	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Lagomorpha	Leporidae	Lepus	flavigularis	Lepus flavigularis	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Chiroptera	Phyllostomidae	Musonycteris	harrisoni	Musonycteris harrisoni	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Procyonidae	Procyon	pygmaeus	Procyon pygmaeus	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Lagomorpha	Leporidae	Romerolagus	diazi	Romerolagus diazi	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Animalia	Chordata	Mammalia	Lagomorpha	Leporidae	Sylvilagus	insonus	Sylvilagus insonus	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Datos insuficientes (DD)	NA
Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Geomyidae	Zygogeomys	trichopus	Zygogeomys trichopus	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Animalia	Chordata	Reptilia	Squamata	Teiidae	Aspidoscelis	rodecki	Aspidoscelis rodecki	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Animalia	Chordata	Reptilia	Squamata	Anguidae	Abronia	reidi	Abronia reidi	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Datos insuficientes (DD)	Apéndice II
Animalia	Chordata	Reptilia	Squamata	Viperidae	Crotalus	transversus	Crotalus transversus	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Animalia	Chordata	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	Uma	notata	Uma notata	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Ariocarpus	scaphirostris	Ariocarpus scaphirostris	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	morettii	Ceratozamia morettii	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Echinocereus	schmollii	Echinocereus schmollii	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Mammillaria	mathildae	Mammillaria mathildae	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Mammillaria	napina	Mammillaria napina	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	rzedowskii	Pinus (Strobus) rzedowskii	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	decumbens	Ceratozamia decumbens	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	NA	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Ceratozamia	mirandae	Ceratozamia mirandae	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	caputoi	Dioon caputoi	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Cycadales	Zamiaceae	Dioon	sonorensis	Dioon sonorensis	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Ferocactus	haematacanthus	Ferocactus haematacanthus	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Malvales	Malvaceae	Gossypium	armourianum	Gossypium armourianum	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro crítico (CR)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Malvales	Malvaceae	Gossypium	harknessii	Gossypium harknessii	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Malvales	Malvaceae	Gossypium	schwendimani	Gossypium schwendimani	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA

Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Lophophora	diffusa	Lophophora diffusa	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Vulnerable (VU)	Apéndice II
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	jaliscana	Pinus (Pinus) jaliscana	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	maximartinezii	Pinus (Strobilus) maximartinezii	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Caryophyllales	Cactaceae	Turbinicarpus	pseudomacrole	Turbinicarpus pseudomacrole	0.00	0.00	Endémica	Terrestre	En peligro de extinción (P)	En peligro (EN)	Apéndice I
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	attenuata	Pinus (Pinus) attenuata	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Preocupación menor (LC)	NA
Plantae	Tracheophyta	Equisetopsida	Pinales	Pinaceae	Pinus	coulteri	Pinus (Pinus) coulteri	0.00	0.00	Nativa	Terrestre	En peligro de extinción (P)	Casi amenazado (NT)	NA