

La diversidad climática y topográfica de México, así como su privilegiada ubicación geográfica de unión entre dos regiones biogeográficas: la Neártica y la Neotropical; favorece la existencia de una gran variedad de especies de distinta afinidad ecológica y geográfica. Se calcula que alrededor del 10% de la diversidad global de especies se concentra en el territorio mexicano, lo que lo posiciona junto con Colombia, Brasil, Indonesia, Perú, China, Congo e India en uno de los llamados países “megadiversos”. (SEMARNAT, 2008; CONABIO, 2008).

Ocupa el segundo lugar en el mundo en riqueza de reptiles (Flores & Canseco, 2004), el tercero en mamíferos (Ramírez *et al.*, 2005, 2008) y el onceavo en aves (COP13). La diversidad biológica de nuestro país se caracteriza por estar compuesta de un gran número de especies endémicas, es decir, que son exclusivas al país o de alguna región dentro del mismo. Esto se traduce en especies que, si desaparecieran en México, desaparecerían del planeta (CONABIO, 2008).

En el estado de Chihuahua se distinguen tres provincias fisiográficas: 1) La Sierra Madre Occidental, en la cual se localiza la **Sierra Tarahumara**; 2) Las Sierras, Lomeríos y Valles Centrales; y 3) El Altiplano y Sierras de Oriente. Estas provincias están definidas por rasgos particulares de relieve, pendiente, vegetación, precipitación y temperatura (Reyes & Núñez, 2014).

A manera de ejemplo, en los bosques templados de la Sierra Tarahumara se reconocen 267 especies de aves que pertenecen a 161 géneros, 64 familias y 18 órdenes. Juntas representan 26.51% del total de aves reportadas para México. Si consideramos que la diversidad mundial conocida es de 10 mil especies, las aves de la Sierra Tarahumara representan 2.67% del total global (CONABIO, 2014).

Sin embargo, muchas de estas especies (tanto de aves como de los demás grupos de flora y fauna) no han sido estudiadas en su totalidad. Una de las principales incógnitas para su descripción, es el área de distribución. Es decir, aquella fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema (Zurino & Palestini, 1991); también entendida como el lugar donde una especie puede ser localizada, sin duda un atributo muy difícil de estimar (Grinnell, 1917).

Un esfuerzo por calcular o delimitar estas áreas de distribución, son los llamados Modelos de Distribución Potencial de Especies, durante los últimos 20 años han crecido de manera exponencial los trabajos que se enfocan al modelado de áreas de distribución de especies, utilizando los denominados “modelos de nicho”, dentro de la disciplina conocida como biogeografía. (Guisan *et al.*, 2013).

Estos llamados nichos, permiten analizar la distribución geográfica de las especies (tanto animales como vegetales), e identificar aquellos factores ambientales que las limitan (Peterson *et al.*, 2011). En resumen, estos modelos relacionan datos de presencia de las especies con una serie de parámetros biofísicos y bioclimáticos, para generar una aproximación de las condiciones que favorecen la presencia de las poblaciones de dichas especies.

Los modelos de distribución potencial de especies son una forma de representar espacial y cartográficamente la idoneidad de un espacio para la presencia/ausencia de una especie. Esta idoneidad no es más que la correlación matemática o estadística entre la distribución real conocida (puntos de presencia de las especies) y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores (geológicas, topográficas o climáticas) (Guisan & Zimmermann, 2000).

Desde el año 2014 se implementa el proyecto “Gestión integrada del territorio para la conservación de la biodiversidad en áreas de protección y producción en la Sierra Tarahumara, Chihuahua, México” conocido como proyecto “Tarahumara Sustentable”, propuesto por el Gobierno de la República al Consejo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial GEF (por sus siglas en inglés), que se implementa a través del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y que de manera conjunta coordinan la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés), con el objetivo de mejorar la sustentabilidad de sistemas de áreas protegidas e incorporar la conservación de la biodiversidad y uso sustentable en la productividad de los paisajes terrestres de la Sierra Tarahumara.

Una de las líneas estratégicas del Proyecto Tarahumara Sustentable es generar una base científica y herramientas para apoyar la planeación, evaluación y toma de decisiones en conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos a través de una “Evaluación de la Biodiversidad y del Medioambiente de la Sierra Tarahumara” (EMAB-ST) y un “Sistema de Monitoreo de Datos e Información de la Sierra Tarahumara (SMDI-ST)”. El presente análisis de distribución potencial de algunas especies indicadoras o de interés de la Sierra Tarahumara es parte de los resultados del SMDI-ST y de la EBMA-ST.



Construyendo una agenda común para la conservación y desarrollo de la **Sierra Tarahumara**



METODOLOGÍA

1 Puntos de presencia de las especies:

Los registros de presencia (datos conocidos sobre la distribución del organismo), se asocian matemática o estadísticamente con diferentes variables independientes que generalmente describen las condiciones ambientales. Si se demuestra que existe una correlación, los datos se extrapolan al resto del área de estudio y se obtiene un valor en cada lugar que suele interpretarse como la probabilidad de presencia de la especie en ese punto (Mateo, *et al.*, 2011).

Se descargaron bases de datos de las siguientes fuentes:

- Sistema de Monitoreo de Datos e Información de la Sierra Tarahumara (SMDI-ST).
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF).
- Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB).
- Naturalista (registros de grado investigación).

Estos registros pasaron por un proceso de filtrado que consistió en los siguientes pasos:

- Descartar puntos fuera del espacio geográfico en estudio.
- Descartar puntos que se repitieran dentro de un mismo pixel (1km²).
- Descartar puntos de colecciones biológicas (por su ubicación en localidades urbanas).

2 Variables independientes / explicativas:

• Variables Bioclimáticas.

Se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación. Estas variables se utilizan a menudo en modelos de nicho ecológico. Estas variables suelen representar tendencias anuales (p. e., la temperatura media anual.) estacionalidad (p. e., rango anual de temperatura) y factores ambientales extremos o limitantes (p. e., la temperatura del mes más frío y el más cálido, y la precipitación de la humedad y cuartos secos).

Se eligieron las variables construidas por Cuervo y colaboradores (2013), ya que son las más actualizadas de la climatología y de alta resolución para el país, ya que se trabajó con un período climático mensual promedio de 1910 a 2009.

Solo se utilizaron aquellas que, mediante un análisis de correlación, demostraron una independencia. La correlación entre las capas es una medida de dependencia, es la relación de la covarianza entre las dos capas dividido por el producto de sus desviaciones estándares. Debido a que es una relación, es un número sin unidades.

La correlación varía de +1 (positiva) a -1 (negativa) grados. Una correlación positiva indica una relación directa entre dos capas; así, cuando los valores de celda de una capa aumentan, es probable que los valores de celda de otra capa también aumenten. Una correlación negativa significa que una variable cambia de manera inversa a la otra. Una correlación de cero significa que las dos capas son independientes entre sí. Cuando ocurre una de estas dos salidas (+1 ó -1), una de las variables debe ser excluida.

Variables independientes / explicativas:

• Variables Topográficas.

La elevación es uno de los insumos más importantes para comprender los procesos que se dan sobre la superficie del terreno, y es ampliamente utilizada en el ámbito geográfico, biológico y medioambiental. (Aguilar & Bravo, 2011)

Las variables topográficas se derivan la Misión Topográfica Shuttle Radar (acrónimo en inglés SRTM, de Shuttle Radar Topography Mission). A partir de este insumo se calculó:

- Pendiente: Es la tasa de cambio máximo en el valor de altitud de cada celda. Básicamente, el cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho vecinas identifica el descenso cuesta abajo más empinado desde la celda.
- Orientación: Dirección de la pendiente descendente de la tasa de cambio máxima en un valor desde cada celda hacia sus vecinas. Puede pensarse como la dirección de la pendiente. Los valores de cada celda del ráster de salida indican la dirección de brújula a la que apunta la superficie en esa ubicación. Se mide en el sentido de las agujas del reloj en grados de 0 (hacia el norte) a 360 (hacia el norte, nuevamente), formando un círculo completo. Las áreas planas que no tienen dirección de pendiente descendente tienen un valor de -1.
- Acumulación de flujo: Es el peso acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el ráster de salida. Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar arroyos o cuerpos de agua. Las celdas con una acumulación de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar puntos elevados del terreno.

Variables independientes / explicativas:

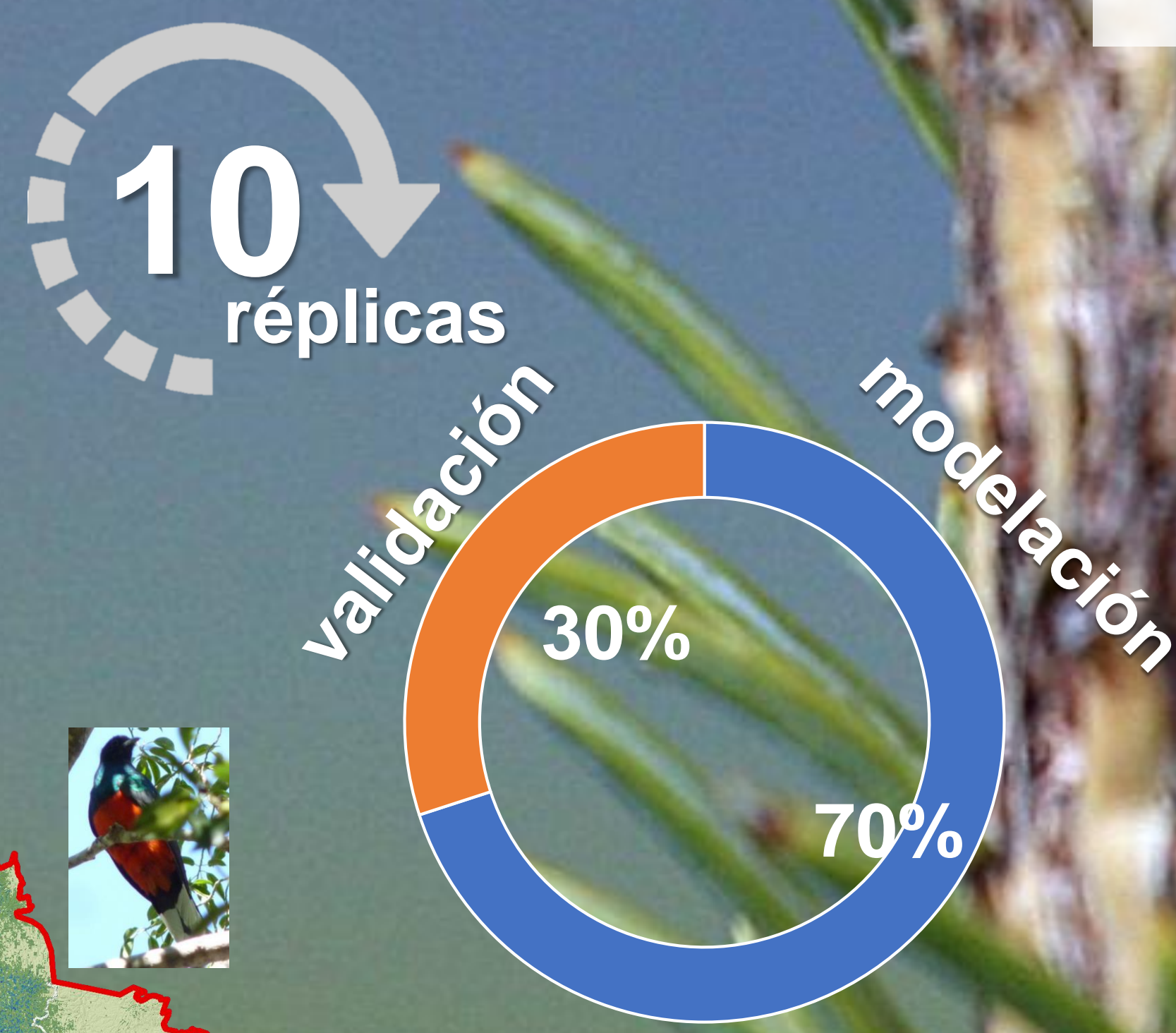
• Vegetación:

- Cobertura del suelo, 2010 (MODIS, 250m): mapa de la cobertura del suelo de América del Norte, con una resolución espacial de 250 metros, con base en imágenes obtenidas en 2010 por el sensor MODIS (espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución media, conocido por sus siglas en inglés). Se definieron 19 clases de cobertura del suelo de nivel II conforme a la norma del Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (Land Cover Classification System, LCCS), de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Cobertura Arbórea: Este conjunto de datos, es resultado de una colaboración entre el laboratorio GLAD (Global Land Analysis & Discovery) de la Universidad de Maryland, Google, USGS y la NASA, muestra la cobertura arbórea sobre toda la superficie (excepto la Antártida y varias islas del Ártico) con una resolución de 30 m. El porcentaje de cubierta arbórea es definido como la densidad de cobertura de la copa de los árboles de la superficie terrestre. Los datos de esta capa se generaron utilizando imágenes satelitales multiespectrales a partir del Landsat 7 (ETM+), utilizando más de más de 600.000 imágenes (limpiadas de nubes).

3 Modelación con MaxEnt:

La modelación del área de distribución potencial, tiene como principal objetivo la identificación de zonas idóneas para la especie, pero que no hayan sido ocupadas por esta, para su traslado como medio de rescate y conservación en su medio ambiente natural (Iloldi *et al.*, 2004).

El algoritmo de máxima entropía (MaxEnt) es uno de los múltiples disponibles para la modelación de nicho ecológico (Phillips *et al.*, 2006). Su principal ventaja frente al resto de métodos es la realización de predicciones o inferencias a partir de información incompleta (ibid). Otras cualidades que distinguen a MaxEnt de otros métodos son la capacidad de utilización de información continua y categórica, el uso de algoritmos determinísticos que garantizan la obtención de la máxima probabilidad de distribución y una distribución probabilística con una definición matemática concisa (ibid).



Ara militaris
Guacamaya Verde

Rhynchopsitta pachyrhyncha
Cotorra Serrana Occidental

Euptilotis neoxenus
Trogón Orejón



VARIABLES UTILIZADAS	
Rango diurno medio	
Índice de variabilidad de la temperatura	
Temperatura máxima del mes más cálido	
Temperatura mínima del mes más frío	
Rango anual de temperatura	
T. media del cuarto del año más húmedo	
T. media del cuarto del año más frío	
Precipitación del mes más húmedo	
Precipitación del mes más seco	
Estacionalidad de la precipitación	
Precipitación del cuarto del año seco	
Precipitación del cuarto del año más cálido	
Precipitación del cuarto del año más frío	
Velocidad del viento	
Radiación Solar	
Presión de vapor de agua	
Altitud (msnm)	
Orientación Solar	
Pendiente del terreno	
Acumulación de flujo	
Tipo de vegetación	
Porcentaje de cobertura arbórea	

Simbología	Ecorregiones	Áreas Naturales Protegidas
● Registro de presencia	Desiertos de América del Norte	Sitios RAMSAR
■ Bosque	Elevaciones Semidesérticas	APFF Cienega Montañesa
■ Montaña	Sauces Cálidos-Secos	APFF Isla del Golfo de California
■ Alto	Sierras Templadas	APFF Papigochic
	Tarahumara Sustentable	APFF Sierra de Añonos-Río Cochubajá
	División Central	APFF Tubaco
	División Municipal	PN Cacuahua de Basaseachi
		Municipio de Tarahumara
		RPC Sierra Tarahumara

- Registros actuales (1997-2017)
- Registros históricos (Existentes)
- Especie endémica
- Especie virtualmente extinta

Coordinación general del documento:
M.I. Enrique Prunés Soto
Coordinador de la base científica y herramientas para la toma de decisiones del Proyecto Tarahumara Sustentable

Análisis de distribución y diseño del póster:
Lic. Vladimir Erives Beltrán
Consultor del Proyecto Tarahumara Sustentable

Ursus americanus
Oso Negro

Canis lupus sub. Baileyi
Lobo Mexicano

Callospermophilus madrensis
Ardilla de la Sierra Madre Occidental

Campephilus imperialis
Carpintero Imperial