



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

“PROPUESTA DE CONSERVACIÓN CON BASE EN CORREDORES
BIOLÓGICOS MULTIESPECÍFICOS PARA EL DESIERTO SONORENSE”

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

ENRIQUE ALFONSO RETAMOZA GONZÁLEZ

Director:

BERNARDINO RICARDO EATON GONZÁLEZ

Ensenada, Baja California,

Septiembre del 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS
ÁRIDAS

“Propuesta de Conservación con Base en Corredores Biológicos
Multiespecíficos para el Desierto Sonorense”

TESIS

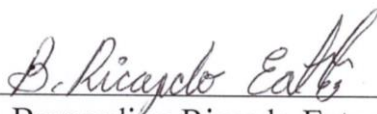
Que para obtener el grado de

Maestro En Ciencias

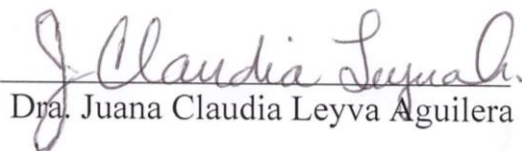
Presenta:

Enrique Alfonso Retamoza González

Aprobada por:



Dr. Bernardino Ricardo Eaton González



Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera



Dra. Roxana Rico Mora

Ensenada, Baja California,

Septiembre del 2016

DEDICATORIA

A mi familia, Julio, Paty, Ana Julieta y Mariana
Simplemente porque los amo.

A ti, que sé que estás ahí afuera.

AGRADECIMIENTOS

Al **CONACyT** por brindarme una beca de manutención durante la realización de este trabajo y a la **gente de México** por permitirme estudiar un posgrado.

A la Universidad Autónoma de Baja California y al Posgrado en Manejo de Ecosistemas en Zonas Áridas por abrirme las puertas.

A mi Director de Tesis **Dr. Ricardo Eaton**, por guiarme en este trabajo, enseñarme sobre el mundo de la modelación, tenerme paciencia a más no poder y apoyarme para terminar, justo en los momentos en los que estuve a punto de tirar todo, muchísimas gracias y que la fuerza lo acompañe siempre.

A mis sinodales la **Dra. Claudia Leyva** y la **Dra. Roxana Rico**, por sus valiosos aportes en este trabajo y por animarme a terminar siempre.

A mis profesores, **Ileana Espejel, Patricia Aceves, Evarista Arellano, Conchita Arredondo, Hugo Riemann, Lucero Álvarez**, por su proceso de enseñanza y “deformación” hacia el manejo.

A mis compañeros de trabajo y “vecinos” **Adriana Puma** y **Aldo Guevara**, por impulsarme a terminar esta etapa de mi vida, por los buenos momentos y carcajadas que, durante las horas de trabajo, minimizaban el estrés por poder concluir, en verdad muchas gracias.

A mis compañeros de generación, **Dora, Hugo, Oswaldo, Minerva, Rosario, Ixchel, Jorge, Magda, Manuel, Diego, Beto, Estrella, Nadir, Paty** y **Vere**, ha sido un proceso difícil pero terminado, en palabras de Edel Juárez “todas mis malas decisiones y mis errores me han traído hasta aquí, igual que mis aciertos ¿por qué iba a preferir unos o lamentar otros?”.

A mis padres, **Julio** y **Patricia**, por tantas cosas en mi vida, por impulsarme a estudiar y jamás dejar de prepararme y crecer, por tantas cosas en la vida, mi gratitud infinita, este logro es tan mío como de ustedes.

A mis hermanas, **Ana Julieta** y **Mariana**, por estar ahí siempre, porque cuando me ha faltado un punto de apoyo para seguir adelante han sabido ser ese soporte que me ha mantenido en pie, gracias por tanto.

A mi Familia **Eva, Santiago Regina, Gerardo, Adrián, Ana** y **Mariana**, por su gran cariño, por estar al pendiente estos años lejos, y por su apoyo en todo.

A mi familia, mis primos **Auxy, Ale, Andrea, Gladis, Fefa, Guillermo, Alexis, Rebeca, Alan,** y mis tíos, **Auxy, Chuya, Kathy, Gladis, Dora, Gonzalo, Avelino, Gerardo, Julio, Lyrva** y tantos que me harían falta hojas para mencionarlos, por sus incontables ánimos hacia mi persona en este proceso de crecimiento.

A mis compañeros de MEZA, **Mariana, Ceci, Susi, Jorge, Kath, Pedro, Ulyses, Isabel,** por hacer mi paso por Ensenada una experiencia increíble.

A mis amigos y colegas, **Chava, Conchita, Emir, Tere, Gabby, Dyanna, Karen, Fabby, Hiram, David, Teresita, Abby,** por acompañarme virtualmente en mis horas de trabajo, ayudarme a ordenar ideas, y motivarme a trabajar en los momentos en los que llegaba la inspiración.

A mi familia en Ensenada, **Gil, Minerva, Esteban, Karen, Yan, Héctor, Amado, Roberto, Omar, Antonio, Irma, Jaime, Horacio, Isela, Claudia y Lupita,** por su amistad y hacerme sentir como en casa.

A la **María Tijuana** y al **grupo desintegrado**, La Resistencia Existe...

Y sobre todo, de una forma infinita, gracias al **Señor mi Dios**, sin el cual no podría haber hecho nada, en ningún momento de mi vida.

*“Se empieza a salvar el mundo salvando a un hombre por vez,
todo lo demás es romanticismo grandioso o política”*

Charles Bukowski

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
II.1. Desierto Sonorense	2
II.2. Nicho Ecológico.....	3
II.3. La Teoría Detrás de los Modelos	4
II.4. Modeladores de Distribución.....	4
II.4.1. Estudios realizados con modelos de distribución	4
II.5. Corredores Biológicos	7
III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	8
IV. JUSTIFICACIÓN.....	9
V. OBJETIVOS	10
V.1. Objetivo General.....	10
V.2. Objetivos Particulares.....	10
VI. MÉTODOLOGÍA	11
VI.1. Área de Estudio	11
VI.2. Cobertura de Suelo	11
VI.3. Selección de Especies Representativas para el Desierto Sonorense	14
VI.4. Registros de Presencia.....	15
VI.5. Modelado de Distribuciones.....	15
VI.5.1. Variables de modelación	15
VI.5.2. Maxent.....	15
VI.6. Delimitación de Áreas para la Conservación y el Establecimiento de Corredores Biológicos para el Desierto Sonorense.....	16
VI.6.1. Delimitación de áreas	16
VI.6.2. Áreas Naturales Protegidas	19
VII. RESULTADOS.....	21

VII.1. Área de Estudio.....	21
VII.2. Cobertura de Suelo.....	23
VII.3. Selección de Especies Representativas del Desierto Sonorense	26
VII.4. Modelos de Distribución.....	27
VII.4.1. Variables ambientales	27
VII.4.2. Modelos de distribución potencial de las especies representativas del Desierto Sonorense	27
VII.4.3. Validación de los modelos de distribución potencial	29
VII.4.4. Variables ambientales en la construcción de los modelos de distribución potencial	30
VII.4.5. Superficies de distribución potencial idónea de las especies representativas del desierto sonorense	30
VII.5. Modelos de Riqueza de Especies Representativas y Zonas de Interés	34
VII.5.1. Modelos de riqueza	34
VII.5.2. Zonas de riqueza	37
VII.6. Zonas de Importancia para el Establecimiento de Corredores Biológicos	41
VII.6.1. Delimitación de zonas importantes para el establecimiento de corredores	41
VII.6.2. Áreas Naturales Protegidas	44
VIII. DISCUSIÓN	48
VIII.1. Área de Estudio.....	48
VIII.2. Cobertura de Suelo	49
VIII.3. Selección de especies representativas del Desierto Sonorense.....	50
VIII.4. Modelos de Distribución de Especies Representativas	50
VIII.5. Modelos de Riqueza y Zonas de Importancia	51
IX. CONCLUSIONES	54
X. RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS DE MANEJO	55
X.1. Recomendaciones	55
X.2. Propuestas de Manejo.....	56
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXO I. FICHA DEL MODELO DE <i>Ambrosia ambrosioides</i>	64
ANEXO II. FICHA DEL MODELO DE <i>Ambrosia dumosa</i>	65

ANEXO III. FICHA DEL MODELO DE <i>Asclepias subulata</i>	66
ANEXO IV. FICHA DEL MODELO DE <i>Atriplex polycarpa</i>	67
ANEXO V. FICHA DEL MODELO DE <i>Bursera microphylla</i>	68
ANEXO VI. FICHA DEL MODELO DE <i>Cercidium microphyllum</i>	69
ANEXO VII. FICHA DEL MODELO DE <i>Condalia globosa</i>	70
ANEXO VIII. FICHA DEL MODELO DE <i>Encelia farinosa</i>	71
ANEXO IX. FICHA DEL MODELO DE <i>Horsfordia newberryi</i>	72
ANEXO X. FICHA DEL MODELO DE <i>Hyptis emoryi</i>	73
ANEXO XI. FICHA DEL MODELO DE <i>Justicia californica</i>	74
ANEXO XII. FICHA DEL MODELO DE <i>Olneya tesota</i>	75
ANEXO XIII. FICHA DEL MODELO DE <i>Pachycereus schottii</i>	76
ANEXO XIV. FICHA DEL MODELO DE <i>Simmondsia chinensis</i>	77
ANEXO XV. TABLA CON LOS VALORES DE AUC DE LA CURVA ROC POR ESPECIE PARA LAS 20 REPLICAS	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de coberturas de suelo.	13
Tabla 2. Variables bioclimáticas usadas en la modelación de distribución.....	17
Tabla 3. Valores de reclasificación del modelo de riqueza a fin de obtener grupos de riqueza.	19
Tabla 4. . Clasificación para la determinación de las zonas de agrupación de cambios en la riqueza mediante las zonas de cambio.....	20
Tabla 5. Criterios para la obtención de las zonas de Interés con base en la riqueza de especies representativas del desierto sonorense en el escenario del 2050.....	20
Tabla 6. Superficie del área de estudio respecto a la división política dentro del área de estudio.	21
Tabla 7. Comparación de las superficies de cobertura de suelo de los años 2005 y 2010 por agrupaciones antropizadas y naturales.	24
Tabla 8. Comparación de las superficies de cobertura de suelo entre los años 2005 y 2010 por tipo de cobertura.	25
Tabla 9. Especies vegetales representativas para el Desierto Sonorense.	26
Tabla 10 Valores mínimos, media y máximos de AUC para la curva ROC para las 20 réplicas de cada modelo de distribución por especie.	29
Tabla 11. Variables con valores medio más altos en porcentaje de contribución en los modelos de distribución. A = variable con valor más alto, B = variable con el segundo valor más alto, C = variable con el tercer valor más alto.	31
Tabla 12. Variables con valores medio más altos en permutación de importancia en los modelos de distribución. A = variable con valor más alto, B = variable con el segundo valor más alto, C = variable con el tercer valor más alto.	32

Tabla 13. Cambios en las superficies de los Modelos Distribución Potencial Idóneo de las Especies (MDPIE) presentes por efectos del ajuste por la cobertura del suelo. MDPIEAp modelo de distribución potencial idónea de las especies ajustado presente.....	35
Tabla 14. Cambios en las superficies de los Modelos Distribución Potencial Idóneo de las Especies (MDPIE) futuros por efectos del ajuste por la cobertura del suelo. MDPIE Af modelo de distribución potencial idónea de las especies ajustado futuro.	36
Tabla 15. Superficies de los modelos de riqueza. MRp: modelo de riqueza presente con base en los MDPIAp, MRf: modelo de riqueza futuro con base en los MDPIAp.	38
Tabla 16. Superficies de los grupos de riqueza presente y futuro y su comparación.	38
Tabla 17. Tasas de cambio en la comparación entre las zonas de riqueza de especies representativas del desierto sonorense presentes y futuras.....	40
Tabla 18. Superficies de las zonas de agrupación de cambios de riqueza de especies representativas para el desierto sonorense.....	41
Tabla 19. Superficie de las zonas de interés para el desierto sonorense con base en las especies representativas.	41
Tabla 20. Superficies de las zonas de cambio en la riqueza de especies representativas del desierto sonorense dentro de las áreas naturales protegidas.....	44
Tabla 21. Superficie de las zonas de importancia para el establecimiento de corredores biológicos dentro de algún estatus de protección por áreas naturales protegidas	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación del Desierto Sonorense propuesta por Shreve y Wiggins en 1964.....	2
Figura 2. Esquema general de los modeladores de distribución de especies (Tomado de Benito, 2004).....	4
Figura 3. Diagrama de ruta metodológica.	12
Figura 4. Delimitación del área de estudio.	22
Figura 5. Extensión de los cortes de las capas ambientales y el área de estudio.....	28
Figura 6. Mapas de los grupos de riqueza, a la derecha el mapa de grupos de riqueza presente y a la izquierda el mapa de grupos de riqueza futuro.	39
Figura 7. Mapa de zonas de agrupación de cambios de riqueza de especies representativas del desierto sonorense.	42
Figura 8. Mapa de las zonas de importancia.	43
Figura 9. Zonas de Cambio en la riqueza de especies representativas del Desierto Sonorense y su distribución con respecto a las áreas naturales protegidas.	45
Figura 10. Zonas importantes para el establecimiento de corredores biológicos y su distribución de protección mediante las áreas naturales protegidas.	47
Figura 11. Mapa guía para el manejo de las especies representativas del Desierto Sonorense, zonas de rescate y zonas de reubicación.....	58

RESUMEN

Los cambios en las coberturas de suelo y en los patrones climáticos pueden afectar los procesos ecosistémicos, la interconexión entre los parches permite el correcto flujo genético y que permanencia de las especies que componen el ecosistema, para esto se puede emplear el concepto de especies representativas SPPR, las cuales representan al resto de las especies que componen el ecosistema; y los modelos de distribución de especies que nos permiten determinar áreas de distribución potencial de las especies de interés. Entre los diversos ecosistemas presentes en México, el Desierto Sonorense (D.S.) resulta de vital interés dada su distribución binacional y la fragilidad de este tipo de ecosistemas. Es por esto, que el presente trabajo trata de responder cuales son las zonas dentro del D.S. con mayor potencial para la conservación mediante los conceptos de SPPR y corredores multiespecíficos. Para lo anterior se delimito el D.S. tomando como base las capas de la comisión de cooperación ambiental (CCA), se determinaron las SPPR para el D.S., las zonas aptas para la presencia de las especies tomando como base las coberturas del suelo de la CCA para el 2005 y 2010, y una proyección para el año 2050; y se modelo la distribución de las especies representativas utilizando el software Maxent con un total de 20 réplicas por especies y se determinaron las zonas con mayor riqueza de especies representativas y las zonas importantes para la conservación. La mayor superficie del D.S se encuentra presente en México, sin embargo los estados que cuentan con mayor superficie dentro de los mismos son Sonora (Mex) y Arizona (E.U.), se seleccionaron 14 SPPR para el D.S. y se generaron los modelos para cada una de ellas, la coberturas naturales ganan una superficie ante las no naturales en el 2010 con respecto a las del 2005, en total una superficie de 29'044,550 ha presentan condiciones aptas para que las especies pudieran estar presente. Los modelos de riqueza, una superficie de 28,031.25 ha cuenta con potencial para la presencia de las 14 SPPR, en el escenario de proyección futura, un total de 6'697,281.25 ha presentan la riqueza máxima conteniendo entre 10 y 14 especies, siendo estas las zonas núcleo o de interés para la conservación, las cuales se encuentran principalmente en la frontera entre Sonora y Arizona, y dentro de la reserva de la biosfera El Pinacate, así como en la zona sur de California. De esta forma de proponen zonas de conservación dentro del D.S. así como medidas de rescate y translocación de especies, así como la generación de un banco de germoplasma para la permanencia de las especies representativas.

Palabras clave: Desierto Sonorense, especies representativas, cobertura de suelo, modelos de distribución, zonas de riqueza, zonas de manejo.

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos de crecimiento y desarrollo de las actividades humanas desembocan en un impacto en las comunidades bióticas, principalmente en la fragmentación del hábitat (Chapin *et al.*, 2000), por esto la interconexión entre los parches de vegetación resulta de vital importancia para el soporte de las condiciones ecológicas de los ecosistemas (Bier *et al.*, 2013).

Aunado a los cambios en las coberturas del suelo, se suman los procesos de cambio en los patrones climáticos como como una amenaza a la permanencia de las especies o las comunidades, dichos cambios climáticos se podrían ver reflejados en los patrones de distribución de las especies (Benito, 2009) y por ende la riqueza de las especies en zonas de conservación.

El diseño de corredores en la actualidad debe de estar encaminados al uso óptimo del mismo, esto mediante el diseño de corredores multiespecíficos, que puedan ser utilizados por diversas especies al mismo tiempo optimizando así los esfuerzos de implementación (Bier *et al.*, 2013). Con el fin de que el diseño de corredores multiespecíficos pueda cubrir la mayor superficie y el mayor número de especies posibles, tanto de forma directa como indirecta, es preferible el uso de especies representativas, las cuales dada su distribución, representen los procesos ecológicos de una zona en particular (Eaton, 2015).

Una entidad ecológica que resulta importante para su estudio dentro del tema de la conservación y los corredores biológicos es el Desierto Sonorense descrito, por Shreve y Wiggins (1964), por contener algunas especies endémicas y comprender un ámbito espacial binacional, compartido entre México y Estados Unidos. Para el estudio de dicha área, y de las especies representativas, una de las aproximaciones que se puede utilizar, son los modelos de distribución de especies (Phillips *et al.*, 2004); los cuales nos permiten generar una superficie de distribución potencial de las especies a estudiar (Benito, 2009).

Con base en lo anterior, el presente trabajo pretende determinar las zonas de importancia para la conservación y aptas para el diseño de corredores, así como las recomendaciones de manejo para las mismas en el Desierto Sonorense, considerando las presiones a las que puede estar sujeto por efectos de los cambios en las coberturas del suelo y los patrones climáticos futuros.

II. ANTECEDENTES

II.1. Desierto Sonorense

El Desierto Sonorense comprende desde las regiones del sur del estado de Sonora hacia la parte norte del mismo, trascendiendo la frontera con Estados Unidos y adentrándose hasta la parte central del estado de Arizona, así como una gran extensión de los estados de Baja California y Baja California Sur (Shreve y Wiggins, 1964, Figura 1).

Presenta una condición climática de aridez, ocasionada por la presencia de una serie de corrientes de aire descendientes relacionadas a las latitudes cercanas a los 30°, esto desemboca en la presencia de cielos normalmente despejados y una marcada diferencia de temperatura entre los días calientes y las noches frías (Martínez-Yrizar *et al.*, 2010), presenta un régimen de lluvias bimodal donde aproximadamente el 80% de la precipitación se registra en los meses de verano en lluvias de tipo torrencial y denominadas como “las aguas”, mientras que el 20% restante son registradas como lluvias ligeras en invierno conocidas como equipatas (Brito-Castillo *et al.*, 2010; Dimmitt, 2000).

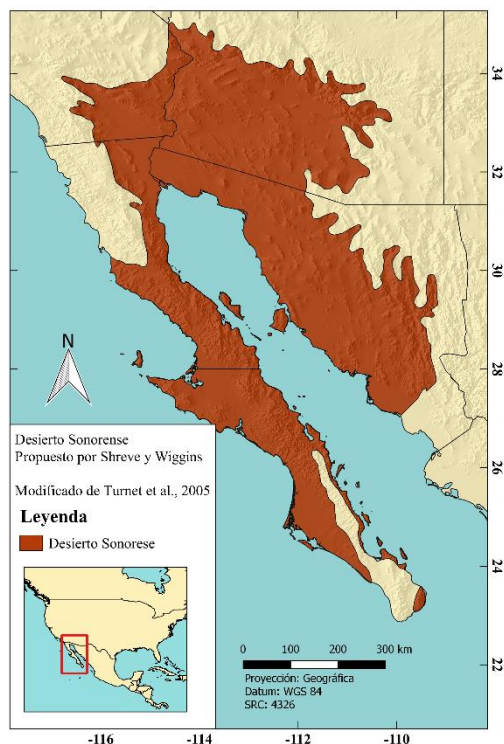


Figura 1. Representación del Desierto Sonorense propuesta por Shreve y Wiggins en 1964.

II.2. Nicho Ecológico

El nicho ecológico es un concepto de múltiples definiciones, fue acuñado por Grinnel (1917), basándose en los requerimientos fisiológicos intraespecíficos, y lo definió como la serie de condiciones ambientales que le permiten a una especie estar presente en un determinado espacio, estas condiciones pueden ser la precipitación, la temperatura, la radiación solar, la pendiente del terreno, entre otras. Diez años después, en 1926, Elton redefinió el concepto de nicho ecológico, enfatizando las interacciones interespecíficas y presentándolo como la serie de factores bióticos requeridos por una especie para ocupar un espacio territorial, factores tales como la competencia, la depredación, el parasitismo, el nodricismo, entre otros.

Hutchinson (1957), unió la teoría de Grinnell y de Elton, definiendo que el nicho ecológico está determinado por ambos factores, tanto los abióticos como los bióticos y lo definió como “un hipervolumen en un espacio ecológico multidimensional, determinado por los requerimientos de la especie para reproducirse y sobrevivir”, la contribución más reciente a la teoría del nicho ecológico la realizaron Soberon y Peterson (2005), los cuales añaden a la definición de Hutchinson el hecho de que el territorio donde se encuentran las condiciones requeridas debe de estar alcanzable para la especie, esto es que no estén presentes barreras biogeográficas que le impidan alcanzar dicho territorio.

Las diversas corrientes que tratan de definir el nicho ecológico introducen una serie de conceptos que vuelven aún más complejo el entendimiento del mismo, estos son los conceptos de nicho fundamental, nicho potencial y nicho realizado, actualmente no existe un consenso en las definiciones de dichos conceptos. Basándonos en el trabajo de Soberón y Nakamura (2009), el nicho se define de la siguiente manera: el nicho fundamental es el conjunto de condiciones bióticas y abióticas requeridas por la especie, todo esto dentro del espacio ecológico, en otras palabras es el nicho definido por Hutchinson; el nicho potencial es la parte del nicho fundamental que realmente existe en una región y en un tiempo determinado, esto es, dentro del espacio geográfico, es por eso que el nicho potencial puede ser de igual o menor tamaño que el nicho fundamental, mientras que el nicho realizado es la parte del nicho potencial al que la especie realmente ha podido llegar a colonizar, por eso el nicho realizado puede ser de igual o menor tamaño que el nicho potencial.

II.3. La Teoría Detrás de los Modelos

Basándose en la teoría del nicho ecológico se han generado los Modelos de Distribución de Especies (MDE), estos modelos son relativamente nuevos en la biología y la ecología, aparecieron aproximadamente hace 20 años con Bioclim; Benito (2009) define a los modelos de distribución como “una construcción numérica que define en el espacio ecológico las relaciones que existen entre la presencia de una especie y los valores ambientales con influencia en su distribución. El resultado se expresa en el espacio geográfico como un mapa digital que representa la idoneidad del hábitat o la probabilidad de presencia de la especie”. (Figura 2). Se han generado diversos algoritmos para la modelación, los cuales involucran una matemática compleja que escapa de los fines de este trabajo, solo se atenderá lo básico para uno de los algoritmos más empleados actualmente, Maxent.

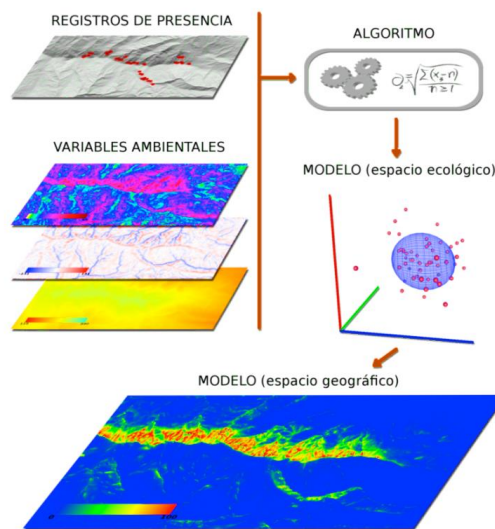


Figura 2. Esquema general de los modeladores de distribución de especies (Tomado de Benito, 2004).

II.4. Modeladores de Distribución

II.4.1. Estudios realizados con modelos de distribución

Esta metodología se ha empleado en una gran cantidad de investigaciones y para diversos objetivos, por ejemplo Lozier, *et al.* (2009), modelaron la distribución espacial de Sasquatch,

utilizando una base de datos georreferenciada de cerca de 650 registros de pie grande, el modelo resultante fue comparado con el modelo de oso negro (*Ursus americanus*), encontrando que no existe diferencia estadística entre ambos modelos de distribución, el artículo se centra en la fiabilidad de los registros de las bases de datos en línea, el uso de este tipo de herramientas se basa en una larga lista de supuestos, como la correcta identificación de las especies, que las coordenadas de los registros no presenten errores, entre otros. Sin embargo hay que estar conscientes que los modelos resultantes siempre tendrán un grado de incertidumbre.

Arriaga *et al.* (2004), evaluaron la capacidad de invasión de *Pennisetum ciliare* en el estado de Sonora, y para el resto de México, este pasto fue introducido en el estado para incrementar el coeficiente de agostadero, sin embargo se aprecia que la especie se comenzó a dispersar más allá de los potreros con la particularidad de modificar los regímenes de incendios dentro del Desierto Sonorense donde se encuentra presente, el modelo resultante fue limitado por un restrictor extra, discriminando todo resultado donde la precipitación fuera superior a los 700 mm y altitudes elevadas, esto dado a que la fisiología de la especie no le permitiría soportar la temperatura fría presente a esas altitudes, así, determinan que la capacidad de invasibilidad que tiene la especie dentro del estado es alta, proponiendo que se deben de tomar medidas pertinentes a la hora de tratar de incrementar la productividad económica, ya que esto puede poner en riesgo a la biodiversidad nativa de la región.

En términos de conservación y de manejo los MDE también juegan un papel importante, Bolívar (2009) buscó áreas dentro del estado de Veracruz donde fuera viable mantener poblaciones de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), para esto comparó entre el método de MDE usando Maxent y el método de Modelo de Unidad de Hábitat Óptimo, el resultado de ambos modelos le permitió concluir que la zona de estudio no presenta un área de gran extensión para la presencia del venado cola blanca, de hecho los registros de presencia sólo lo muestran en la periferia sur de la zona, de igual forma, concluye que el uso de ambos modelos es eficiente, permitiendo así ampliar la panorámica de trabajo con los patrones de distribución y las diversas formas de estimarlos.

Longoria (2008), usó Maxent para modelar la distribución de siete especies de aves y seis especies de mamíferos presentes en el estado de Durango, México y las cuales se encuentran bajo alguna categoría en la NOM-059-SEMARNAT-2001 con el fin de ver como la presión humana afecta a dichas especies, este autor a diferencia de otros autores (Martinez-Alvarez,

2012; Retamoza, 2013), no utiliza las 19 variables climáticas de Bioclim, sino que usa capas propias, las cuales se obtuvieron a partir de un remuestreo de las capas que se generaron para el ordenamiento territorial de Durango. Dicho remuestreo fue con el fin de disminuir la resolución de las mismas. Entre estas variables se presentan algunas de carácter antropogénico como asentamientos humanos, cuerpos de agua, ríos y áreas forestales maderables, grado de modificación de la cobertura vegetal, entre otros. En los resultados que obtuvo se aprecia que las especies estudiadas no fueron tan susceptibles a los cambios en la vegetación como hipotetizaban, por lo menos para una de las especies de mamíferos (*Spermophilus madrensis*) el modelo sobreestimó la distribución de la especie ya que al corroborarla en campo, esta no se encontraba presente.

Sin embargo, Maxent no es el único software especializado en realizar este tipo de modelaciones, existen varios programas que emplean diversos algoritmos matemáticos, Ortega-Huerta y Peterson (2008), evaluaron el uso de seis modelos de distribución diferentes Maxent, BioMapper, Domain, FloraMap, GARP, Weights of Evidence, sobre diez especies de aves en México, entre las características más destacadas que se pueden apreciar en los distintos modelos está la capacidad de los modeladores de incluir variables diferentes. El algoritmo modelador evaluado menos flexible en este rubro es FloraMap ya que solo permite la modelación con las variables que ya se encuentran precargadas, en contraposición GARP y maxent permitían la incorporación de una mayor cantidad y diversidad de variables, de igual forma, estos dos últimos programas y sus algoritmos de modelación fueron los que presentaron un mayor rendimiento y los mejores resultados para todas las especies.

Dentro de los múltiples usos que tienen los modelos de distribución se encuentran los diseños para planes de protección dirigidos a especies en peligro de extinción, Kumar y Stohlgren (2009), utilizaron Maxent para determinar el área potencial de *Canacomyrica monticola* en Nueva Caledonia (ubicado entre Australia y Nueva Zelanda) utilizando tan solo 11 registros de la especie y una mezcla entre las variable de bioclim y las variables escénicas (como altura, pendiente, entre otras). Los resultados de este análisis arrojaron certeza estadística y el modelo determinó que la isla presenta condiciones para la presencia de la especie solo en la parte sur de la misma, concluyendo que es posible modelar con cierto margen de confianza la distribución potencial de especies amenazadas o en peligro de extinción y de pequeño rango geográfico

II.5. Corredores Biológicos

El crecimiento y desarrollo de las zonas urbanas han desembocado en una acelerada fragmentación del hábitat para un gran número de especies, esta fragmentación de hábitat puede no solo generar aislamiento entre poblaciones, afectando el flujo genético y la integridad de dichas poblaciones, sino que podría volver imposible que los individuos tuvieran acceso a zonas importantes para su sobrevivencia o sus ciclos fenológicos.

La lucha contra la fragmentación de los hábitats se ha basado en la creación de redes de corredores que interconectan las zonas de importancia para la conservación de un grupo diverso de especies. Un corredor biológico podría definirse como la franja de tierra que presente la mejor expectativa para servir las necesidades de movimiento de una especie individual después de que el resto de la matriz del paisaje ha sido utilizado para otros usos (Bier *et al.*, 2013).

Las especies que destacan por ser consideradas más frecuentemente en proyectos de conservación son principalmente las del grupo de grandes carnívoros, esto responde a que son especies más carismáticas y que, por estar en el tope de las redes tróficas sus números poblacionales suelen ser más reducidos que las de otros grupos (Bier *et al.*, 2016); normalmente los diseños de corredores biológicos responden a las necesidades de una especie en particular, sin embargo, en la práctica resulta complicado implementar un grupo de varios corredores para una sola especie para cada uno de ellos, por eso en aras de optimizar esfuerzos y recursos, es mejor la planificación de corredores biológicos que puedan ser utilizados por una amplia gama de taxa (Bier *et al.*, 2016).

Un ejemplo de este tipo de trabajos es el Corredor Biológico Mesoamericano el cual involucra a los países de Centroamérica y México en su región sur, y que tiene como propósito preservar la biodiversidad de esta zona sin comprometer el desarrollo de forma sustentable en estos países (Miller *et al.*, 2001).

III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las zonas dentro del Desierto Sonorense con mayor potencial para la conservación mediante la implementación de corredores biológicos multiespecíficos y el uso de la modelación de distribución de especies para las condiciones actuales y bajo un escenario de cambio climático?

IV. JUSTIFICACIÓN

La unificación y optimización de esfuerzos en términos de conservación marca una tendencia a la creación de corredores biológicos multiespecíficos, los cuales pueden ser utilizados por varias especies, esto minimiza esfuerzos de diseño y de gestión e implementación de las áreas de conservación. Dado que se esperan cambios drásticos en los regímenes climáticos que podrían afectar la fisiología y los patrones de distribución de las especies que componen dichos corredores, se vuelve necesario conocer tanto las áreas que podrían servir como corredores biológicos multiespecíficos actualmente, así como los cambios en la distribución de las especies ante diversos escenarios de cambio climático, y las áreas de pérdida irrecuperable de hábitat que podrían afectar la amplitud en la distribución. Todo lo anterior con el fin de preservar tanto las especies claves, así como las que dan sustento a los procesos ecológicos y migratorios del resto de la comunidad.

V. OBJETIVOS

V.1. Objetivo General

Generar una propuesta de conservación con base en áreas aptas para el establecimiento de corredores biológicos multiespecíficos para el Desierto Sonorense.

V.2. Objetivos Particulares

- Delimitar el área del Desierto Sonorense y zonas adyacentes que pueden presentar características ecológicas apropiadas para el establecimiento de corredores biológicos multiespecíficos.
- Analizar el cambio de la cobertura de suelo con el fin de delimitar áreas que puedan considerarse como aptas para el establecimiento de corredores biológicos multiespecíficos.
- Determinar las especies representativas para el área delimitada.
- Generar los modelos de distribución actuales y para un escenario de cambio climático para las especies representativas seleccionadas.
- Proponer las áreas aptas para el establecimiento de corredores biológicos multiespecíficos para el Desierto Sonorense y las recomendaciones de manejo adecuadas para su conservación.

VI. MÉTODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo se realizó siguiendo el diagrama de ruta metodológica descrito en la Figura 3

VI.1. Área de Estudio

El desierto Sonorense fue descrito por Shreve y Wiggins (1964) y el polígono se extiende desde la zona centro de Sonora en México hasta la parte central de Arizona en Estados Unidos, la parte Sur-Oriente del estado de California en Estados Unidos así como la zona oriente del Estado de Baja California y casi la totalidad del estado de Baja California Sur en México.

Para este estudio, se utilizó como base las ecoregiones terrestres de Norteamérica, en un nivel III de descripción, definidas por la Comisión de Cooperación Ambiental (2010), la cuál se forma para conjuntar esfuerzos políticos y ambientales de manera trinacional entre México, Estados Unidos y Canadá, dichas ecoregiones fueron delimitadas con base en la localidades, el clima, la vegetación, la hidrología, el terreno, la vida silvestre y el uso del suelo.

Para la delimitación del área de estudio se realizó una comparación entre el total de las ecoregiones nivel III que coincidieran con el polígono propuesto por Shreve y Wiggins (1964), se compararon las condiciones bióticas y abióticas de las de las ecoregiones del Desierto Sonorense (ecoregión 10.2.2), el Desierto Bajacaliforniano (ecoregión 10.2.3) y la Planicie Costera Sinaloense (ecoregión 14.3.1) y se determinó si presentaban características ecológicas similares que permitieran la integración de una sola área ecológica.

Para efectos de este estudio se tomaron en cuenta sólo las superficies continentales, discriminando las áreas insulares del Golfo de California y del océano Pacífico.

VI.2. Cobertura de Suelo

Se utilizaron las coberturas de suelo y vegetación para los años 2005 y 2010 publicados por la CCA (2013a, 2013b, las coberturas se encuentran en formato raster (GEOTIFF), con una resolución de 250 metros de píxel y fueron derivadas a partir de un conjunto de 12 imágenes MODIS para los años correspondientes y un proceso de clasificación semiautomática.

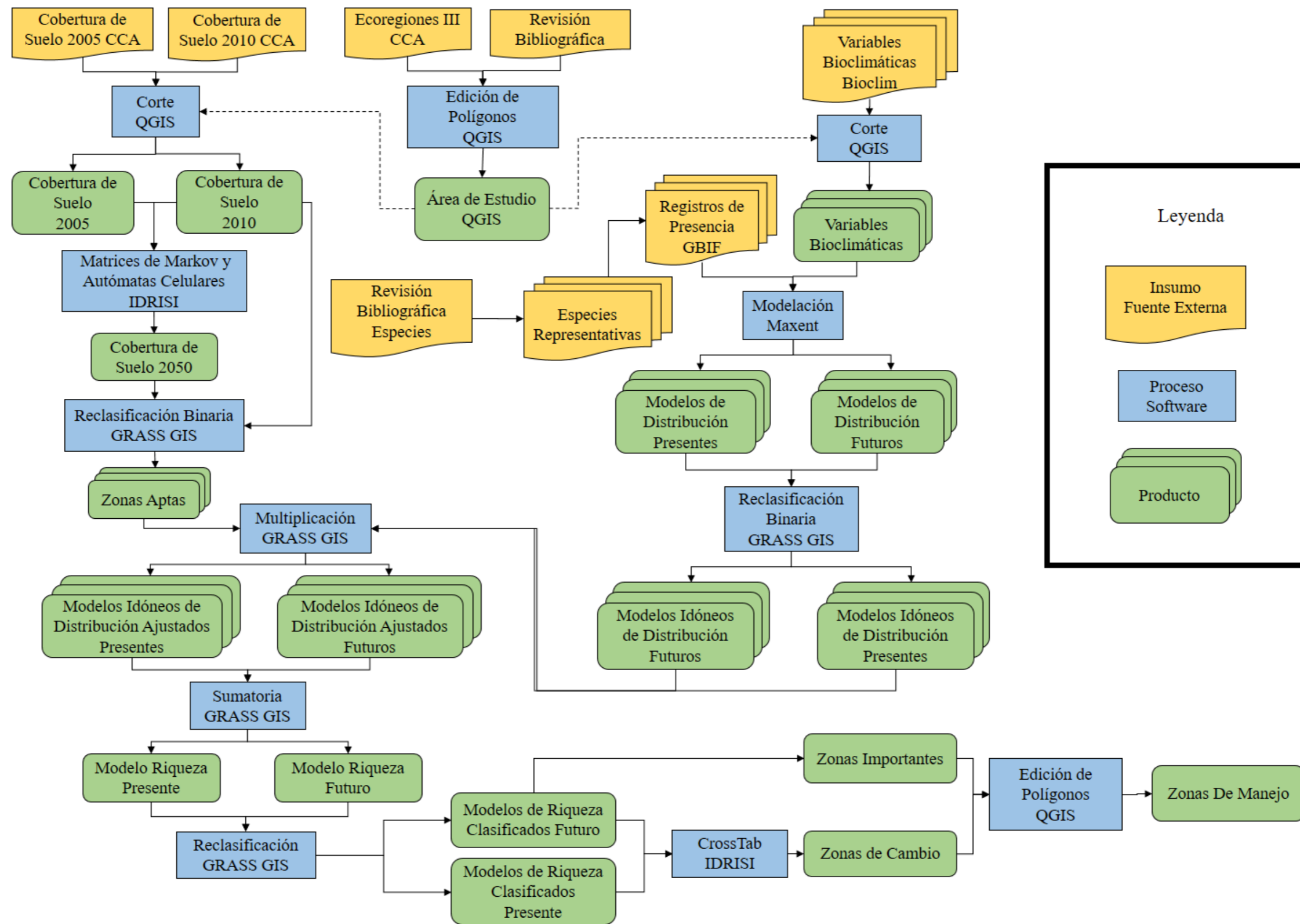


Figura 3. Diagrama de ruta metodológica.

La clasificación de cobertura de suelo base cuenta con 19 categorías (Tabla 1) y es la unificación de las categorías independientes que presentan México, Estados Unidos y Canadá.

Tabla 1. Clasificación de coberturas de suelo.

Código	cobertura del suelo	Clasificación
1	Bosque de coníferas templado o subpolar	Natural
2	Bosque de coníferas (taiga) subpolar	Natural
3	Bosque de latifoliadas perennifolio tropical o subtropical	Natural
4	Bosque de latifoliadas caducifolio tropical o subtropical	Natural
5	Bosque de latifoliadas caducifolio templado o subpolar	Natural
6	Bosque mixto	Natural
7	Matorral tropical o subtropical	Natural
8	Matorral templado o subpolar	Natural
9	Pastizal Tropical o subtropical	Natural
10	Pastizal templado o subpolar	Natural
11	Matorral con líquenes y musgo subpolar o polar	Natural
12	Pastizal con líquenes y musgo subpolar o polar	Natural
13	Suelo desnudo con líquenes y musgo subpolar o polar	Natural
14	Humedal	Natural
15	Suelo agrícola	No Natural
16	Suelo desnudo	No Natural
17	Asentamiento Humano	No Natural
18	Cuerpo de agua	Natural
19	Nieve y hielo	Natural

Las coberturas de suelo fueron cortadas al límite poligonal del área de estudio y se calculó la superficie para cada una de las categorías utilizando el complemento *Semi-Automatic Classification Plugin*, posteriormente se compararon los valores de superficies entre años con el fin de precisar las categorías que perdieron o ganaron superficie, agrupando las de tipo

antropogénico (urbano, agricultura y suelo desnudo), considerándolas como zonas de cambio irreversibles y superficie perdida de hábitat y distribución para las especies.

A partir de los archivos de cobertura de suelo del año 2005 y 2010, se realizó una proyección para el año 2050 utilizando el software Idrisi Selva (Ver. 17) mediante el uso de matrices de transición de Markov y áreas de probabilidad de transición y CA-Markov que resulta en la especialización de las transiciones a través de autómatas celulares, siguiendo la metodología propuesta por Eaton (2016).

VI.3. Selección de Especies Representativas para el Desierto Sonorense

Se seleccionaron las especies de estudio con base en la metodología propuesta por Eaton (2016), la cual utiliza como base el concepto de especies representativas o *proxy* (Caro, 2010; Wiens *et al.*, 2008), el listado base de especies se compiló del libro *Sonoran Desert plants: an ecological atlas* (Turner *et al.*, 2005) y el listado de especies vegetales descritas en las ecoregiones nivel III de la CCA de las diferentes zonas que integran el área de estudio. Los criterios para la selección de las especies representativas son:

1. Rango de distribución dentro del área de estudio:
 - a. amplia distribución: la especie está presente en gran parte del área de estudio
 - b. mesodistribución: la especie está presente en una parte del área de estudio (aproximadamente el 50% o menos)
 - c. distribución restringida: la especie se encuentra distribuida en un área muy pequeña
2. macrodistribución: se excluyeron las especies que presentaran amplia distribución a nivel de país (México y Estados Unidos) o continental.
3. número de registros: que el número de registros de presencia de la especie no fuera menos a 50, con el fin de facilitar la modelación de distribución.

VI.4. Registros de Presencia

Una vez determinadas las especies representativas para el Desierto Sonorense, se descargó la base de datos de los registros de presencia de la página de Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org) la cual cuenta con información procedente de varias fuentes de información y colecciones científicas para diversas taxa.

Una vez descargada la totalidad de la base de datos para las especies en estudio, éste listado de registros base fue depurado en una hoja de cálculo usando LibreOffice, se eliminaron todos los registros que no presentarían coordenadas y los que presentaban error en la notación de coordenadas (como los registros con latitud y longitud en cero), posteriormente se le dio el formato requerido por Maxent para la modelación de la distribución.

VI.5. Modelado de Distribuciones

VI.5.1. Variables de modelación

Se utilizaron las variables climáticas (Tabla 2) procedentes de *worldclim* (<http://www.worldclim.org>), las variables que representan las condiciones actuales son una media estadística de las condiciones climáticas entre 1950 y 2000, para modelar las distribuciones futuras, se consideraron las variables del escenario RCP85 de cambio climático para el año 2050, el cual es el escenario tendencial que presenta una mayor concentración de gases de efecto invernadero.

Las capas se encuentran en formato ASCII, con una resolución espacial de 900 metros de pixel, y en proyección geográfica, las 38 capas climáticas fueron cortados entre las coordenadas -121°, 38° y -108°, 22° límites extremos del área de estudio y zonas aledañas.

VI.5.2. Maxent

Se generaron los modelos de distribución potencial de especies presentes y futuros (MDPE_P y MDPE_F) utilizando el modelador Maxent 3.3.3k, el cual utiliza el algoritmo de máxima entropía para encontrar una relación entre los puntos georreferenciados de la especie y las capas climático-

temáticas, para posteriormente proyectar dicha relación en un mapa de idoneidad de hábitat o probabilidad de ocurrencia, el algoritmo utilizado se encuentra ampliamente descrito en S. Phillips et al., (2004).

Se siguió la metodología de modelación empleada por Siordia (2015), con la diferencia de que se realizaron 20 repeticiones con 1000 interacciones en lugar de 50 repeticiones, un entrenamiento con el 80% de los datos por especie y un 20% para su evaluación, se activaron la opciones de *random set* y *Jacknife* y se desactivan las opciones de *extrapolate* y *clipping*, con un valor de β igual a 1 y con una salida logística.

Los modelos resultantes fueron evaluados mediante el valor del área bajo la curva (AUC sus siglas en inglés) de la curva receptiva del operador o ROC (por sus siglas en inglés) donde, valores más cercanos a uno representan un buen ajuste del modelo a los valores de entrada del mismo, mientras que valores de 0.5 quieren decir que el modelo es similar a un modelo generado aleatoriamente. Valores superiores a 0.7 son aceptables (Phillips et al., 2004, Benito, 2009) aunque para efectos de este estudio se utilizaran los valores superiores a 0.8.

VI.6. Delimitación de Áreas para la Conservación y el Establecimiento de Corredores Biológicos para el Desierto Sonorense

VI.6.1. Delimitación de áreas

El postprocesamiento de los modelos de distribución potencial de las especies (MDPE) se realizó mediante el software GRASS GIS v7.0.4, los archivos raster fueron reproyectados y remuestreados utilizando el método del vecino más próximo a fin de que coincidieran en proyección y resolución con la capa de cobertura de suelo, de igual forma la capa de cobertura de suelo fue cortada a la extensión de los modelos de elevación y se generó una máscara para las zonas en que ambos tipos de archivos (MDPE y cobertura de suelo) coincidieran con valores válidos.

Tabla 2. Variables bioclimáticas usadas en la modelación de distribución

Código	Variable Climáticas
BIO-01	Temperatura Promedio Anual
BIO-02	Oscilación Diurna de la Temperatura
BIO-03	Isotermalidad (°C) $((\text{BIO}2/\text{BIO}7)*100)$
BIO-04	Estacionalidad de la temperatura (Coeficiente de variación, %)
BIO-05	Temperatura máxima promedio del periodo más caliente (°C)
BIO-06	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
BIO-07	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5/6)
BIO-08	Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C)
BIO-09	Temperatura promedio del cuatrimestre seco (°C)
BIO-10	Temperatura promedio del cuatrimestre cálido (°C)
BIO-11	Temperatura promedio del cuatrimestre frío (°C)
BIO-12	Precipitación anual (mm)
BIO-13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
BIO-14	Precipitación del periodo más seco (mm)
BIO-15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación, %)
BIO-16	Precipitación del cuatrimestre lluvioso (mm)
BIO-17	Precipitación del cuatrimestre seco (mm)
BIO-18	Precipitación del cuatrimestre cálido (mm)
BIO-19	Precipitación del cuatrimestre frío (mm)

Se determinaron los Modelos de Distribución Potencial Idónea de las Especies para escenarios presentes y futuros (MDPIE_P y MDPIE_F) para esto, cada uno de los MDPE continuo fue transformado en modelos booleanos, utilizando como punto de corte el valor medio del percentil 10 propio de cada modelo, que corresponde al valor de probabilidad sobre el cual se encuentran el 90% de los registros de presencia de cada especie. Se reclasificaron los archivos raster, asignando valor de cero a todos los píxeles con valor de probabilidad inferior al punto de corte, tomando esto como ausencia potencial y, valor de uno a todos los píxeles con valor superior al punto de corte, tomando esto como presencia potencial. La superficie de presencia potencial para los MDPIE's fue calculada utilizando QGIS y *semi-automatic classification plugin*.

Posteriormente se reclasifico la capa de cobertura de suelo para 2010 y la proyección del 2050, asignándole valor de cero a todos los píxeles referentes a la categoría no natural y el agua y, valor de uno a los referentes a la categoría natural (ver sección VI.2), con el fin de generar las capas de zonas aptas para el 2010 y el 2050.

Cada uno de los MDPIE se multiplicó por la capa de zonas aptas obteniendo así los Modelos de Distribución Potencial Idóneo Ajustado de las Especies (MDPIAE), con el fin de acotar las distribuciones potenciales tomando en cuenta la cobertura de suelo.

Se realizó una sumatoria de los MDPIAE para obtener el Modelo de Riqueza de las Especies Representativas de las Especies del Desierto Sonorense con base en los Modelos de Distribución Potencial Idóneo Ajustado (Modelo de Riqueza) presentes y futuros. Con el fin de determinar las áreas de mayor riqueza de especies y delimitar las zonas núcleo o áreas idóneas para el establecimiento de corredores (Eaton, 2016).

Los modelos de riqueza presente y futura fueron reclasificados con base en el número de especies representativas para el Desierto Sonorense presentes en cada zona, utilizando el criterio presentado en la Tabla 3 con el fin de determinar la zonificación de los grupos de riqueza de especies representativas del Desierto Sonorense.

Se realizó un cruce entre los grupos de riqueza presente y futura con el fin de determinar las zonas de cambio y las zonas de agrupación de cambio, y se clasificó mediante los criterios presentados en la Tabla 4 para determinar las zonas de alta ganancia, las zonas de alta perdida, las zonas importante sin cambios, las zonas poco importantes sin cambio o poco cambio, las

zonas importantes y las zonas importantes con bajo cambio en la riqueza de especies representativas.

Tabla 3. Valores de reclasificación del modelo de riqueza a fin de obtener grupos de riqueza.

Número de Especies Representativas Presente	Grupo de Riqueza	Categoría
0	0	Zonas Nula Riqueza
1 - 3	1	Zonas de Baja Riqueza
4 - 6	2	Zonas de Media Riqueza
7 - 9	3	Zonas de Alta Riqueza
10 - 14	4	Zonas de Máxima Riqueza

Tomando como base el modelo de riqueza, se obtuvo mediante una reclasificación, el modelo de zonas importantes, a fin de delimitar las áreas con mayor riqueza en el escenario de cambio climático para el 2050 y determina donde se encontrarían las zonas núcleo o zonas fuente y las zonas sumidero, para esto se utilizó el criterio de la Tabla 5.

Posteriormente, el modelo de zonas de importancia fue comparado con las áreas naturales protegidas que se encuentran dentro del área de estudio y zonas adyacentes, con el fin de determinar en qué proporción las zonas importantes se encontrarían bajo algún estatus de protección.

VI.6.2. Áreas Naturales Protegidas

Con el fin de determinar las superficies y las zonas importantes que se encuentran bajo algún estatus de protección, se utilizaron las áreas naturales protegidas de México y Estados Unidos procedentes de la Comisión de Cooperación Ambiental (2010).

Tabla 4. . Clasificación para la determinación de las zonas de agrupación de cambios en la riqueza mediante las zonas de cambio.

Clasificación	Cambio en los Grupos de Riqueza (Presente : Futuro)			
	0 : 4	1 : 4	2 : 4	0 : 3
Zonas de alta ganancia	1 : 3	2 : 3		
Zonas de alta pérdida	4 : 0	3 : 0	2 : 1	2 : 0
Zonas Importantes sin Cambio	4 : 4	3 : 3	2 : 2	
Zona Poco Importantes sin cambio	0 : 0	1 : 1	1 : 0	
Zonas Poco Importantes con poco cambio	0 : 1	0 : 2	1 : 0	1 : 2
Zonas Importantes con bajo cambio	4 : 4	3 : 4		

Se tomaron en cuenta todas las áreas naturales protegidas de carácter nacional o Federal presentes en el área de modelación, dado que tienen influencia, como zonas periféricas, en el Desierto Sonorense (área de estudio delimitada). Se unificaron mediante el algoritmo de disolución espacial todas las áreas con el fin de determinar el área total protegida, sin diferenciar la categoría de protección, y se utilizaron los polígonos con superficie mayor a 900 ha.

El modelo de zona de cambio y el modelo de zonas importantes fue sobrepuesto con la capa de áreas naturales protegidas con el fin de determinar si los cambios en la riqueza de especies representativas se localizan en las zonas protegidas.

Tabla 5. Criterios para la obtención de las zonas de Interés con base en la riqueza de especies representativas del desierto sonorense en el escenario del 2050.

Valor de Riqueza	Categoría
0 – 3	Zonas Nula
4 – 6	Zona Sumidero secundarias
7 – 9	Zona Sumidero primarias
10 – 13	Zona Núcleo o Fuente

VII. RESULTADOS

VII.1. Área de Estudio

Las ecoregiones seleccionadas para la delimitación del área de trabajo pertenecen a la región de los desiertos de Norteamérica (nivel I, región 10), la subdivisión de los desiertos cálidos (nivel II, región, 10.2) y se tomaron los polígonos del Desierto Sonorense y el Desierto Bajacaliforniano (Nivel III, regiones 10.2.2 y 10.2.3, respectivamente), dado que el polígono del desierto sonorense presenta una distribución disyunta en la zona sur del estado de Sonora, se incorporó el polígono más norteño de la ecoregión Planicie Costera Sinaloense (Ecoregión 14.3.1, Figura 4)

El área de estudio propuesta se encuentra entre las coordenadas 35.0333° Norte y -116.7533 Oeste y los 23.54124° Sur y -108.64303° Este, con una superficie total de 32463240 ha y se extiende por los estados de Sonora, Baja California, Baja California Sur y Sinaloa en México, y Arizona y California en Estados Unidos (Tabla 6).

Tabla 6. Superficie del área de estudio respecto a la división política dentro del área de estudio.

Estado	Superficie total del estado(Ha)	Proporción del área de estudio con respecto al estado	Superficie del área de estudio dentro del estado (Ha)	Proporción del estado con respecto a la zona de estudio
Arizona	29'465,880.27	29.99%	8'836,502.795	27.22%
Baja California	7'109,571.028	65.77%	4'676,067.961	14.40%
Baja California Sur	7'090,343.653	88.47%	6'272,894.997	19.32%
California	40'884,248.73	6.94%	2'836,009.253	8.74%
Sinaloa	5'649,016.72	3.50%	197,729.8732	0.61%
Sonora	18'073,863.35	53.36%	9'644,031.839	29.71%

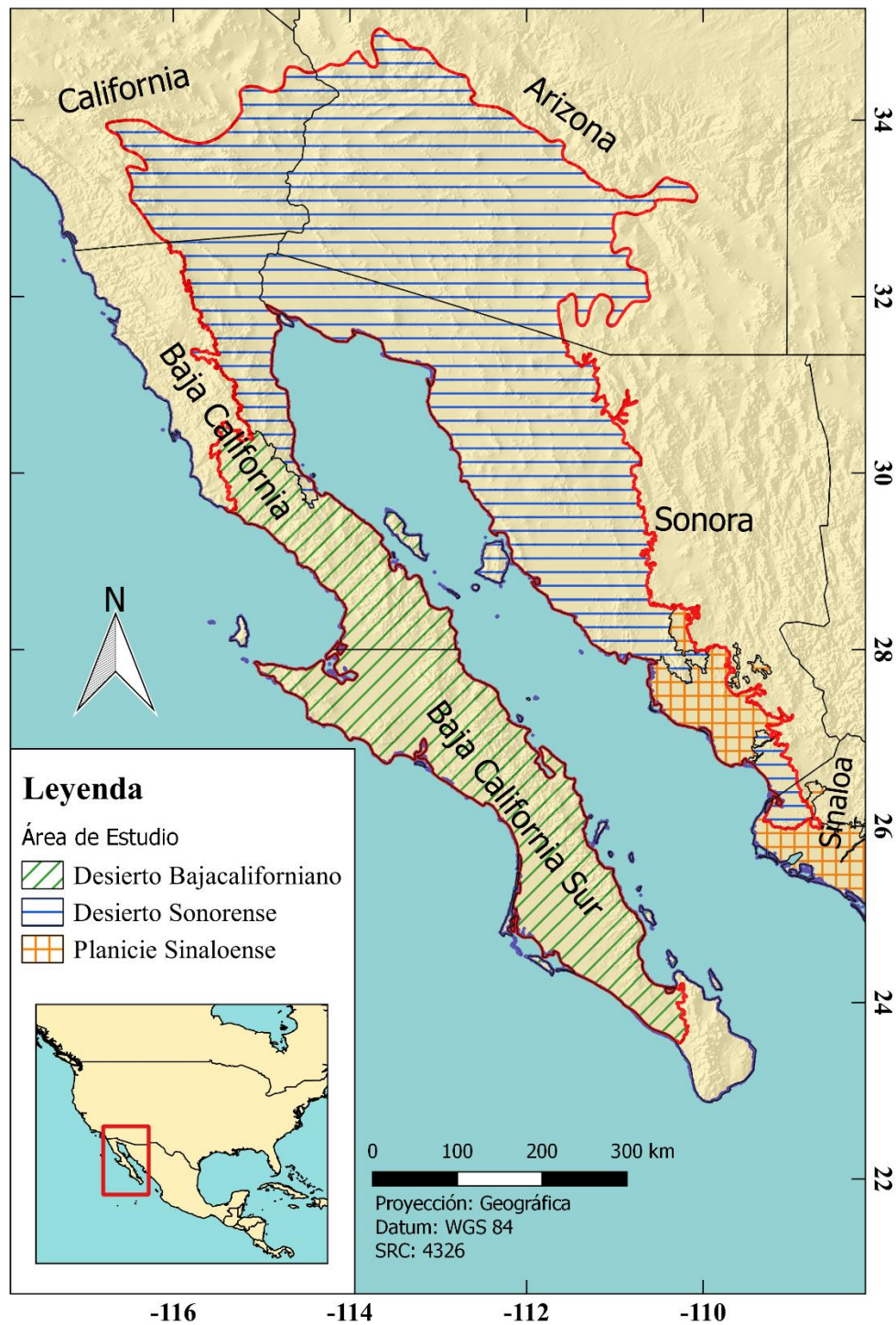


Figura 4. Delimitación del área de estudio.

El estado que presenta la mayor cobertura en el área de estudio es el estado de Sonora en México, abarcando el 29.71% del área de estudio con una superficie de 9'644,031 ha, seguido de Arizona en Estados Unidos con un 27.22% del área de estudio y una superficie de 8'836,502 ha, mientras que Sinaloa México, es el estado con menor representatividad con tan solo 0.61% comprendiendo una superficie de 197,729 ha.

A pesar de que el 88.47% del estado de Baja California Sur se encuentra dentro del área de estudio, su superficie solo representa el 19.32% del área de estudio, lo que equivale a una superficie de 6'272,894 ha.

VII.2. Cobertura de Suelo

Para el análisis de la cobertura de suelo, fue excluida el agua continental y marina, ya que tanto la línea de costa como los embalses presentes son fluctuantes en escalas de tiempo muy cortas y su delimitación y representación espacial depende de ello y la escala de producción del producto cartográfico.

Dentro del área de estudio la clase la cobertura de suelo que presentó una mayor superficie es el matorral tropical o subtropical con superficies de 27'933,381.25 ha y 27'956,018.75 ha para los años 2005 y 2010 respectivamente, mientras que el bosque mixto presenta la menor superficie, con 293.75 ha y 200 ha para los años 2005 y 2010, respectivamente.

Las superficies de cobertura de suelo antropizada (urbano, suelo desnudo y agricultura) para el año 2005 fue de 3'061,875 ha mientras que para el año 2010 fue de 3'051,962.5 ha, registrando una pérdida de 9912.5 ha mientras que las coberturas naturales pasaron de una superficie de 29'027,962.5 ha en 2005 a 29'044,550 ha en 2010, presentando una ganancia de 16587.5 ha (Tabla 7)

Las diferencias en las sumatorias entre los años analizados, se deben a las diferencias en las coberturas de agua no consideradas.

Tabla 7. Comparación de las superficies de cobertura de suelo de los años 2005 y 2010 por agrupaciones antropizadas y naturales.

Tipo de cobertura de suelo	Superficies de cobertura de suelo año 2005 (Ha)	Superficies de cobertura de suelo año 2010 (Ha)	Diferencia entre las Superficies de Cobertura (2005 - 2010)
Natural	29'027,962.5	29'044,550	-16,587.5
No Natural	3'061,875	3'051,962.5	9,912.5

Los usos de suelo que presentaron un mayor cambio entre el 2005 y el 2010 fueron el suelo agrícola con una pérdida de -22,368.75 ha, el matorral tropical o subtropical con una ganancia de 22,637.5 ha y el suelo desnudo con una ganancia de 12,406.25 ha, mientras que las coberturas que menos cambio presentaron fueron el Bosque de latifoliadas caducifolio templado o subpolar que no presentó cambio en su superficie, el Bosque de coníferas templado o subpolar con una ganancia de 60 ha, y el Bosque mixto con una pérdida de 93 ha con respecto al año 2005 (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación de las superficies de cobertura de suelo entre los años 2005 y 2010 por tipo de cobertura.

Id	Clase	Superficie 2005 (ha)	Superficie 2010 (ha)	Diferencia (2010-2005) (ha)
1	Bosque de coníferas templado o subpolar	13,475	13,543.75	68.75
4	Bosque de latifoliadas caducifolio tropical o subtropical	529,587.5	527,843.75	-1743.75
5	Bosque de latifoliadas caducifolio templado o subpolar	893.75	893.75	0
6	Bosque mixto	293.75	200	-93.75
7	Matorral tropical o subtropical	27'933,381.25	27'956,018.75	22,637.5
8	Matorral templado o subpolar	356,575	356,406.25	-168.75
9	Pastizal Tropical o subtropical	6,500	8,718.75	2,218.75
10	Pastizal templado o subpolar	142,743.75	137,762.5	-4,981.25
14	Humedal	44,512.5	43,162.5	-1350
15	Suelo agrícola	151,8087.5	1'495,718.75	-22,368.75
16	Suelo desnudo	1'296,737.5	1'309,143.75	12,406.25
17	Asentamiento Humano	247,050	247,100	50
18	Cuerpo de agua	373,618.75	366,943.75	-6,675

VII.3. Selección de Especies Representativas del Desierto Sonorense

Se aplicaron los criterios de selección para determinar a las especies representativas, el listado base compiló a 310 especies. El primer filtrado generó un listado de 20 especies representativas, mientras que un segundo filtrado, que permitió afinar la aplicación de los criterios, redujo el número a 14 especies representativas (Tabla 9).

Tabla 9. Especies vegetales representativas para el Desierto Sonorense.

Familia	Especie	Autor
Acanthaceae	<i>Justicia californica</i>	(Benth.) D. Gibson
Amaranthaceae	<i>Atriplex polycarpa</i>	(Torr.) S. Watson
Apocynaceae	<i>Asclepias subulata</i>	Decne.
Asteraceae	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	(Cav.) Payne
Asteraceae	<i>Ambrosia dumosa</i>	(A. Gray) Payne
Asteraceae	<i>Encelia farinosa</i>	Torr. y A.Gray
Burseraceae	<i>Bursera microphylla</i>	A. Gray
Cactaceae	<i>Pachycereus schottii</i>	(Engelm.) Britton y Rose
Fabaceae	<i>Cercidium microphyllum</i>	(Torr.) Rose y I. M. Johnston
Fabaceae	<i>Olneya tesota</i>	A. Gray
Lamiaceae	<i>Hyptis emoryi</i>	Torr.
Malvaceae	<i>Horsfordia newberryi</i>	A. Gay
Rhamnaceae	<i>Condalia globosa</i>	I.M.Johnst
Simmondsiaceae	<i>Simmondsia chinensis</i>	(Link) Schneid

Se obtuvieron un total de 14 especies correspondientes a 13 géneros y 11 familias, las cuales representan por su distribución espacial, las características ecológicas y a otras especies dentro del área de estudio, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas dentro del polígono

delimitado como Desierto Sonorense y su distribución fuera de este no comprende grandes extensiones a nivel de países o continental.

VII.4. Modelos de Distribución

VII.4.1. Variables ambientales

Se obtuvieron 38 archivos raster en formato ascii procedentes del corte de las variables climáticas, 19 de las cuales corresponden a las variables de tiempo presente (medias entre 1950 y 2000) y 19 para el escenario RCP85, con una superficie de 10,995,325 ha y contempla en su totalidad el área de estudio y zonas aledañas (Figura 5).

VII.4.2. Modelos de distribución potencial de las especies representativas del Desierto Sonorense

Se obtuvieron los modelos de distribución potencial de 14 especies (MDPE) representativas seleccionadas, tanto para escenarios actuales como la proyección en un escenario climático futuro (RCP85-2050), con un total de 200 réplicas para cada especie, dando como resultado un total de 560 MDEP's los cuales abarcan el área de estudio descrita en el capítulo VII.1, de igual forma se generaron los archivos raster para cada especie que corresponden a los valores mínimos, máximos medios, máximos y la desviación estándar de las 20 réplicas para cada una de las especies representativas. Una ficha detallada para cada especie puede ser consultada en los anexos I al XIV.

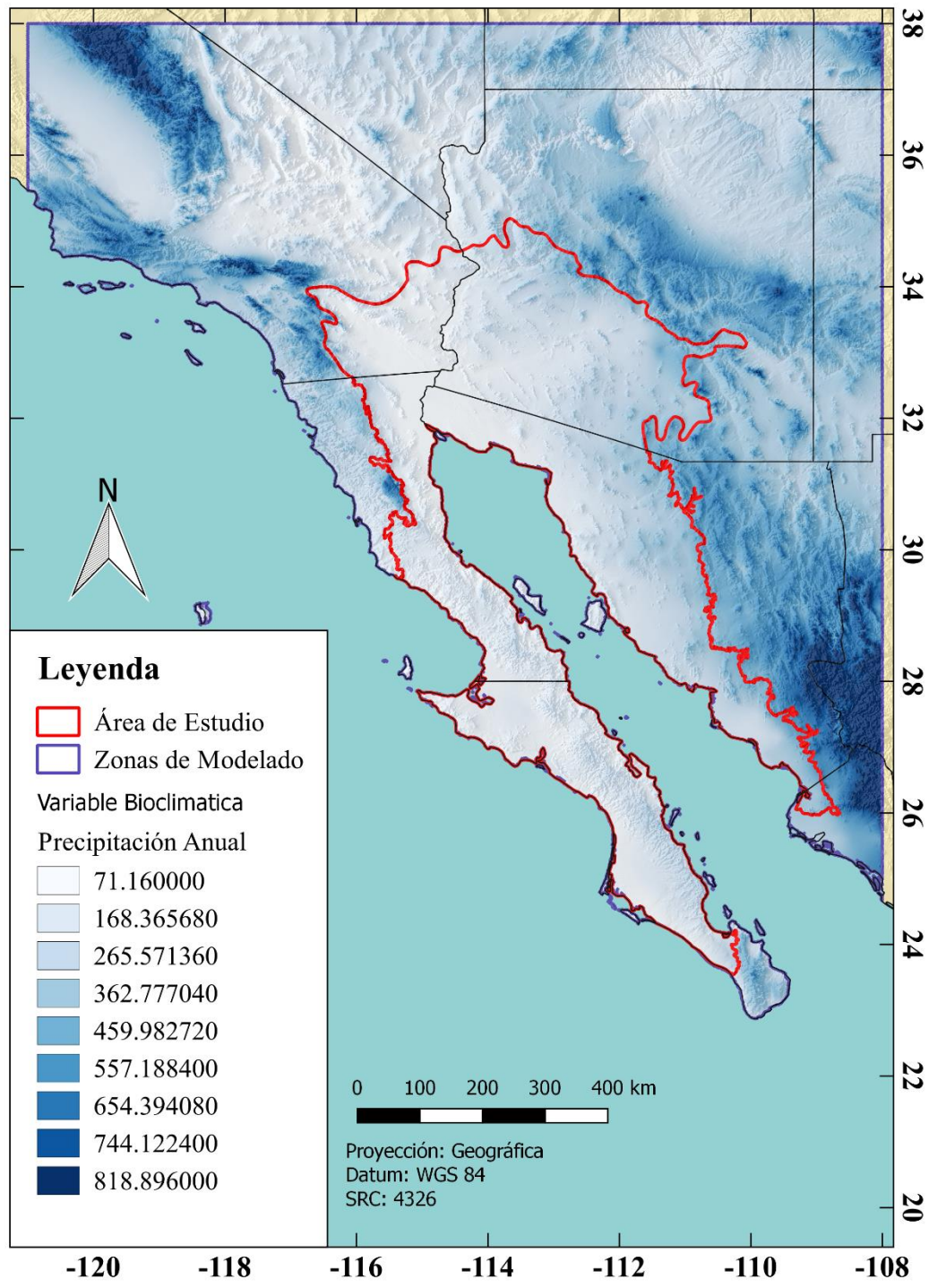


Figura 5. Extensión de los cortes de las capas ambientales y el área de estudio.

VII.4.3. Validación de los modelos de distribución potencial

Los valores para el área bajo la curva (AUC) de la curva operativa del receptor (ROC) para la media de cada uno de los modelos presentaron valores superiores a 0.85, siendo *Hyptis emoryi* y *Horsfordia newberryi* los modelos medios con valores más altos, con 0.979 y 0.9515 respectivamente, y *Encelia farinosa* y *Ambrosia ambrosioides* los de valores más bajos con 0.8662 y 0.8717 respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10 Valores mínimos, media y máximos de AUC para la curva ROC para las 20 réplicas de cada modelo de distribución por especie.

Especies	AUC mínimo	AUC media	AUC máximo
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	0.7734	0.8717	0.9447
<i>Ambrosia dumosa</i>	0.8692	0.897	0.9156
<i>Asclepias subulata</i>	0.7969	0.8808	0.9243
<i>Atriplex polycarpa</i>	0.8271	0.8869	0.9192
<i>Bursera microphylla</i>	0.8887	0.9149	0.9527
<i>Cercidium microphyllum</i>	0.7222	0.9084	0.9836
<i>Condalia globosa</i>	0.853	0.93	0.9854
<i>Encelia farinosa</i>	0.822	0.8662	0.9136
<i>Hyptis emoryi</i>	0.9327	0.979	0.979
<i>Horsfordia newberryi</i>	0.8282	0.9518	0.9948
<i>Justicia californica</i>	0.8831	0.9182	0.9543
<i>Olneya tesota</i>	0.8357	0.913	0.9823
<i>Pachycereus schottii</i>	0.7701	0.9055	0.996
<i>Simmondsia chinensis</i>	0.847	0.9045	0.95

De las 20 réplicas, los modelos de *Ambrosia ambrosioides*, *Asclepias subulata*, *Cercidium microphyllum* y *Pachycereus schottii* presentaron valores mínimos de AUC inferiores a 0.8 sin embargo son valores superiores a 0.7, lo cual significa que todos los modelos se ajustan bien a los datos de entrada y son modelos mejores que uno hecho simplemente al azar, siendo así

confiables para su interpretación (Phillips *et al.*, 2004, Benito, 2009). Se pueden consultar los valores de AUC para las ROC de cada modelo por especie en el anexo XVI.

VII.4.4. Variables ambientales en la construcción de los modelos de distribución potencial

Las variables ambientales que presentaron mayor importancia y contribución para la elaboración de la mayoría de los modelos fueron BIO 11 y BIO 06, éstas se encuentran entre las tres variables de mayor aporte para siete y cinco especies respectivamente (Tabla 11), mientras que las variables con valores altos de permutación fueron BIO-4, BIO-6 y BIO-18 y se encuentran entre las 3 variables con valores más altos para siete y cinco especies respectivamente (Tabla 12). En los anexos II al XV se puede apreciar la contribución media de cada variable a los MDPE

VII.4.5. Superficies de distribución potencial idónea de las especies representativas del desierto sonorense

Se obtuvieron 28 modelos de distribución potencial idónea para las especies representativas del desierto sonorense (MDPIE) utilizando el valor de corte del percentil 10 para cada especie, dos modelos por cada especie, 14 corresponden a la reclasificación de la media de las 20 réplicas de los modelos de distribución presente y 14 a la media de las 20 réplicas de los escenarios de cambio climático futuros para el 2050.

Para los modelos presentes, la especie que presenta la mayor superficie de distribución potencial con respecto a la zona de modelación fue *Ambrosia ambrosioides* con una superficie 33'046,781.25 ha, seguida de *Asclepias subulata* con una superficie de 31'514,331.25 ha, mientras que las especies con menor superficie potencial fueron *Hyptys emoryi* con una superficie de 18'646,475 ha, *Ambrosia dumosa* con una superficie de 20'569,950 ha y *Justicia californica* con una superficie de 20'574,600 ha (Tabla 13).

Tabla 11. Variables con valores medio más altos en porcentaje de contribución en los modelos de distribución. A = variable con valor más alto, B = variable con el segundo valor más alto, C = variable con el tercer valor más alto.

Especies	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio5	Bio6	Bio7	Bio8	Bio9	Bio10	Bio11	Bio12	Bio13	Bio14	Bio15	Bio16	Bio17	Bio18	Bio19
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	C										A								B
<i>Ambrosia dumosa</i>					B										C				A
<i>Asclepias subulata</i>					C	A								B					
<i>Atriplex polycarpa</i>			C						B										A
<i>Bursera microphylla</i>				B							A			C					
<i>Cercidium microphyllum</i>	A									B	C								
<i>Condolia globosa</i>				C		B		A											
<i>Encelia farinosa</i>									A		C								B
<i>Hyptis emoryi</i>					A						C				B				
<i>Horsfordia newberryi</i>									A		B				C				
<i>Justicia californica</i>				C		B					A								
<i>Olneya tesota</i>					C	D				A	B								
<i>Pachycereus schottii</i>	C	0						A										B	
<i>Simmondsia chinensis</i>				B		A							C						

Tabla 12. Variables con valores medio más altos en permutación de importancia en los modelos de distribución. A = variable con valor más alto, B = variable con el segundo valor más alto, C = variable con el tercer valor más alto.

Especies	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio5	Bio6	Bio7	Bio8	Bio9	Bio10	Bio11	Bio12	Bio13	Bio14	Bio15	Bio16	Bio17	Bio18	Bio19
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	B										A								C
<i>Ambrosia dumosa</i>				B									C						A
<i>Asclepias subulata</i>	B	C				A													
<i>Atriplex polycarpa</i>													C		B				A
<i>Bursera microphylla</i>				A		B													C
<i>Cercidium microphyllum</i>	A			C			B												
<i>Condalia globosa</i>				C				A								B			
<i>Encelia farinosa</i>						C											B	A	
<i>Hyptis emoryi</i>			C			A									B				
<i>Horsfordia newberryi</i>				A		B									C				
<i>Justicia californica</i>				A	C	A					B								
<i>Olneya tesota</i>			C			B				A									
<i>Pachycereus schottii</i>	B	0	0					A										C	
<i>Simmondsia chinensis</i>				B		A												C	

En los modelos de escenarios de cambio climático para 2050, los MDPIE con mayor superficie potencial idónea fueron *Asclepias subulata*, *Pachycereus schottii*, *Ambrosia ambrosioides* con una superficie de 32'303,693.75 ha, 32'213,743.75 ha y 30'005,337.5 ha, respectivamente, mientras que las especies con menor superficie de distribución potencial idónea fueron *Ambrosia dumosa* con una superficie de 13'773,550 ha y *Condolia globosa* con una superficie de 15'576,906.25 ha (Tabla 14).

De las 14 especies modeladas, solo cinco especies ganan superficie de distribución potencial idónea por efectos del cambio climático en el escenario hipotético RCP85 para el año 2050. Estas especies fueron *Horsfordia newberryi* con una superficie de 5'314,700 ha, *Cercidium microphyllum* con 2'463,493.75 ha, *Pachycereus schottii* con 1'890,812.50 ha, *Encelia farinosa* con 1'743,375.00 ha y *Asclepias subulata* con una superficie ganada de 789,362.50 ha. Mientras que las especies con mayor pérdida de superficie de distribución potencial idónea fueron *Ambrosia dumosa* con 6'796,400.00 ha y *Condolia globosa* con 6'095,368.75 ha perdidas (Tabla 14).

Al ajustar los modelos (MDPIEA) con la capa de zonas aptas producto de la reclasificación de la cobertura de suelo, tanto los MDPIE presentes como futuros mantienen la misma tendencia en el orden de extensión de superficie registrándose pérdida de superficie de distribución para todas las especies. Para los modelos presentes ajustados (MDPIEA), las especies que más pérdida de superficie presentan fueron *Asclepias subulata* con una superficie perdida de 4'934,568.75 ha y *Atriplex polycarpa* con una superficie de 4'352,787.50 ha las cuales representan 15.66% y el 19.43% de su superficie potencial idónea original, a pesar que de que *Horsfordia newberryi* pierde menor superficie que *A. subulata*, las 3'615,137.50 ha perdidas por el ajuste representan el 16% de su superficie potencial idónea original. (Tabla 13).

Para los MDPIEA futuros la especie que más pierde por efectos del ajuste fue *H. newberryi* con una superficie de 4'726,187.50 ha seguido de *A. subulata* con una superficie de 4'580,368.75 ha lo cual representa un 16.93% y un 14.18% de su superficie potencial idónea futura original, sin embargo, a pesar de que *Atriplex polycarpa* pierde menos superficie que las dos especies previamente mencionadas, la pérdida de 4'028,812.50 ha representa un 21.05% de su superficie potencial idónea futura original, siendo esta especie la que proporcionalmente pierde más superficie potencial idónea en el futuro por efectos de la cobertura de suelo (Tabla 13 y Tabla 14. Cambios en las superficies de los Modelos Distribución Potencial Idóneo de las

Especies (MDPIE) futuros por efectos del ajuste por la cobertura del suelo. MDPIEAf modelo de distribución potencial idónea de las especies ajustado futuro.).

VII.5. Modelos de Riqueza de Especies Representativas y Zonas de Interés

VII.5.1. Modelos de riqueza

El modelo de riqueza de especies representativas presente para el Desierto Sonorense cuenta con 15 categorías que van del cero al 14, que constituyen el número de especies con potencial de distribución esta área; la mayoría de la superficie de modelación cuenta con la presencia de por lo menos una especie representativa (56'422,087.50 ha,). Para el modelo de riqueza del presente, la categoría que cuenta con una superficie más amplia es donde no se encuentra ninguna especie representativa, con una superficie de 53'173,237.5 ha (las superficies aquí expresadas se encuentran calculadas con base en la superficie de modelación). Las categorías con valores de riqueza de especies representativas que presentan mayor superficie son aquellas donde se encuentran una, dos y tres especies representativas, con superficies de 10'109,600 ha 6'832,668.75 ha y 6'771,037.50 ha respectivamente, mientras que las categorías con valores más altos de riqueza de especies representativas son las que cuentan con menor superficie, las zonas donde el modelo de riqueza indica la presencia de 14 especies representativas es la que cuenta con la menor superficie, 383,487.50 ha, seguida de las zonas donde se encuentran 13 especies representativas con una superficie de 1'661,512.50 ha. (Tabla 15).

Tabla 13. Cambios en las superficies de los Modelos Distribución Potencial Idóneo de las Especies (MDPIE) presentes por efectos del ajuste por la cobertura del suelo. MDPIEAp modelo de distribución potencial idónea de las especies ajustado presente

Especies	Superficie MDPIEp	Superficie MDPIEAp	Diferencia superficie perdida	Porcentaje de Pérdida
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	33'046,781.25	30'294,193.75	2'752,587.50	8.33%
<i>Ambrosia dumosa</i>	20'569,950.00	17'856,125.00	2'713,825.00	13.1%9
<i>Asclepias subulata</i>	31'514,331.25	26'579,762.50	4'934,568.75	15.66%
<i>Atriplex polycarpa</i>	22'401,256.25	18'048,468.75	4'352,787.50	19.43%
<i>Bursera microphylla</i>	25'035,500.00	22'453,462.50	2'582,037.50	10.31%
<i>Cercidium microphyllum</i>	26'219,981.25	23'651,362.50	2'568,618.75	9.80%
<i>Condolia globosa</i>	21'672,275.00	19'205,631.25	2'466,643.75	11.38%
<i>Encelia farinosa</i>	20'685,287.50	17'551,568.75	3'133,718.75	15.15%
<i>Hyptis emoryi</i>	18'646,475.00	16'242,975.00	2'403,500.00	12.89%
<i>Horsfordia newberryi</i>	22'600,900.00	18'985,762.50	3'615,137.50	16.00%
<i>Justicia californica</i>	20'574,600.00	18'533,506.25	2'041,093.75	9.92%
<i>Olneya tesota</i>	22'146,418.75	18'992,775.00	3'153,643.75	14.2%4
<i>Pachycereus schottii</i>	30'322,931.25	26'576,987.50	3'745,943.75	12.35%
<i>Simmondsia chinensis</i>	21'829,612.50	19'535,281.25	2'294,331.25	10.51%

Tabla 14. Cambios en las superficies de los Modelos Distribución Potencial Idóneo de las Especies (MDPIE) futuros por efectos del ajuste por la cobertura del suelo. MDPIEaf modelo de distribución potencial idónea de las especies ajustado futuro.

Especies	Superficie MDPIEf	Superficie MDPIEaf	Diferencia superficie pérdida	porcentaje de Perdida	Diferencia MDPIEAp y MDPIEaf
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	30'005,337.50	28'812,331.25	1'193,006.25	3.98%	288,856.25
<i>Ambrosia dumosa</i>	13'773,550.00	11'710,581.25	2'062,968.75	14.98%	4'082,575.00
<i>Asclepias subulata</i>	32'303,693.75	27'723,325.00	4'580,368.75	14.18%	-5'723,931.25
<i>Atriplex polycarpa</i>	19'136,700.00	15'107,887.50	4'028,812.50	21.05%	-1'088,231.25
<i>Bursera microphylla</i>	24'505,318.75	22'241,525.00	2'263,793.75	9.24%	-2'051,856.25
<i>Cercidium microphyllum</i>	28'683,475.00	26'226,275.00	2'457,200.00	8.57%	-5'032,112.50
<i>Condalia globosa</i>	15'576,906.25	14'727,375.00	849'531.25	5.45%	3'628,725.00
<i>Encelia farinosa</i>	22'428,662.50	20'161,637.50	2'267,025.00	10.11%	-4'877,093.75
<i>Hyptis emoryi</i>	15'826,275.00	14'257,743.75	1'568,531.25	9.91%	416,700.00
<i>Horsfordia newberryi</i>	27'915,600.00	23'189,412.50	4'726,187.50	16.93%	-8'929,837.50
<i>Justicia californica</i>	18'917,468.75	17'449,506.25	1'467,962.50	7.76%	-383,962.50
<i>Olneya tesota</i>	20'872,375.00	18'136,793.75	2'735,581.25	13.11%	-1'879,600.00
<i>Pachycereus schottii</i>	32'213,743.75	30'605,431.25	1'608,312.50	4.99%	-5'636,756.25
<i>Simmondsia chinensis</i>	19'868,743.75	18'162,468.75	1'706,275.00	8.59%	-333,462.50

Para los modelos de riqueza para el escenario del 2050 (MDPIAf), son similares las tendencias de tamaño de superficie, siendo las zonas con riqueza de 14, 13 y 12 especies las de menos superficie con; 28,031.25 ha, 361,056.25 ha, 1'769,618.75 ha, respectivamente. Cerca de la mitad de las categorías de riqueza ganan superficie por efectos del cambio climático para el año 2050, siendo las zonas donde ninguna especie está presente la que más superficie gana con 774,975.00 ha, mientras que para las zonas con riqueza de por lo menos una especie, las categorías donde convergen cuatro y cinco especies son las que más ganancia presentan, con una ganancia de 838,737.50 ha y 787,006.25 ha, respectivamente, mientras que la categoría donde sólo se encuentra una especie y la categoría para 13 especies son las que más pérdida de superficie presentan con 2'530,393.75 ha perdidas y 1'300,456.25 ha perdida respectivamente (Tabla 15).

VII.5.2. Zonas de riqueza

Al agrupar los valores del modelo de riqueza se obtuvo el mapa de grupos de riqueza presente y futura (Figura 6a y Figura 6b) donde para ambos mapas el grupo con mayor superficie es el grupo cero, donde no se encuentra ninguna especie representativa, se observó que según las categorías representan mayor riqueza, la superficie del grupo disminuye, así la categoría cuatro, que agrupa a las zonas de mayor riqueza, es la que menos superficie presenta con tan solo 8'981,931.25 ha para el modelo presente y 6'697,281.25 ha para el modelo futuro del 2050. A excepción de la categoría uno y cuatro, todas las categorías ganan superficie al comparar los resultados del modelo de riqueza presente con el modelo de riqueza del año 2050 (Tabla 16).

Tabla 15. Superficies de los modelos de riqueza. MRp: modelo de riqueza presente con base en los MDPIAp, MRf: modelo de riqueza futuro con base en los MDPIAp.

Valor de Riqueza	Superficie del MRp (ha)	Superficie del MRf (ha)	Diferencia entre los MR
0	53'173,237.50	53'948,212.50	774,975.00
1	10'109,600.00	7'579,206.25	-2'530,393.75
2	6'832,668.75	7'145,125.00	312,456.25
3	6'771,037.50	6'037,612.50	-733,425.00
4	4'938,943.75	5'777,681.25	838,737.50
5	4'406,231.25	5'193,237.50	787,006.25
6	4'638,681.25	5'162,006.25	523,325.00
7	3'733,450.00	4'903,868.75	1'170,418.75
8	3'531,393.75	4'020,137.50	488,743.75
9	2'478,150.00	3'130,956.25	652,806.25
10	1'927,168.75	2'431,656.25	504,487.50
11	2'245,181.25	2'106,918.75	-138,262.50
12	2'764,581.25	1'769,618.75	-994,962.50
13	1'661,512.50	361,056.25	-1'300,456.25
14	383,487.50	28,031.25	-355,456.25
superficie total con especies presentes	56'422,087.50	55'647,112.50	-774,975.00

Tabla 16. Superficies de los grupos de riqueza presente y futuro y su comparación.

Categoría de los Grupos de Riqueza	Superficie de los Grupos de Riqueza Presente (ha)	Superficie de los Grupos de Riqueza Futuros (ha)	Diferencia
0	53'173,237.50	53'948,212.50	774,975.00
1	23'713,306.25	20'761,943.75	-2'951,362.50
2	13'983,856.25	16'132,925.00	2'149,068.75
3	9'742,993.75	12'054,962.50	2'311,968.75
4	8'981,931.25	6'697,281.25	-2'284,650.00

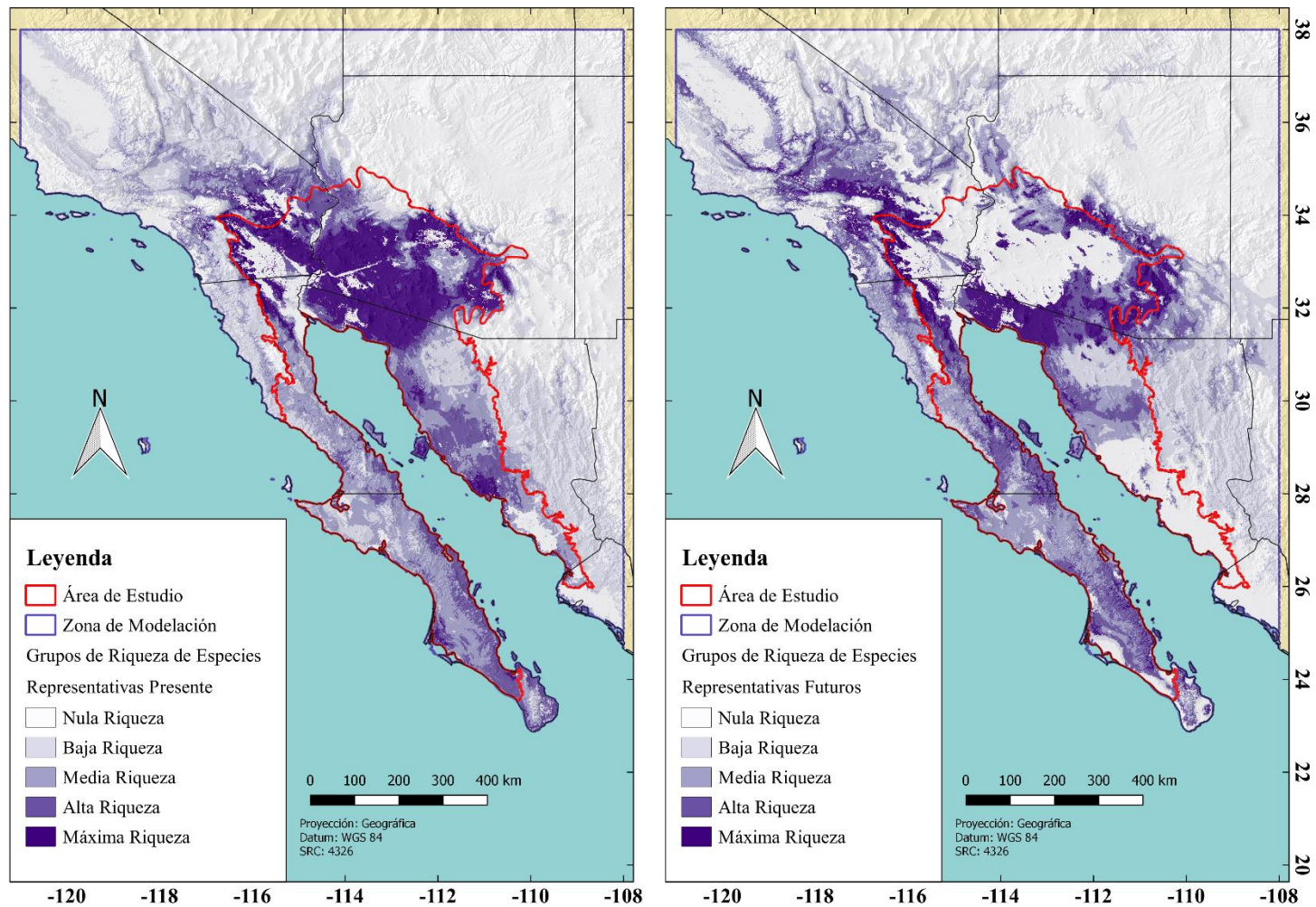


Figura 6. Mapas de los grupos de riqueza, a la derecha el mapa de grupos de riqueza presente y a la izquierda el mapa de grupos de riqueza futuro.

El cruce entre los modelos de grupos de riqueza presentes y futuros muestra que las mayores tasas de cambio en superficie se da entre los niveles más bajos de riqueza de especies representativas del desierto sonorense, principalmente en la transición de cero a una especie y viceversa (Tabla 17), y el análisis de zonas de agrupación de cambios de riqueza de especies representativas muestra que las zonas que presentan un mayor cambio de superficie son las zonas de poca importancia sin cambios de riqueza de especies representativas para el desierto sonorense, en total una superficie de 9,196,000.00 ha presentan una alta ganancia en la riqueza de especies representativas del desierto sonorense, mientras que 10,802,037.50 ha corresponden a zonas de importancia sin cambio en la riqueza de especies representativas del desierto sonorense (Tabla 18, Figura 7).

Tabla 17. Tasas de cambio en la comparación entre las zonas de riqueza de especies representativas del desierto sonorense presentes y futuras.

		Modelo de Riqueza Presente (superficie por clase en Ha)				
		0	1	2	3	4
Modelo de Riqueza Futuro (superficie por clase en Ha)	0	6'720,492	431,470	446,350	484,896	548,506
	1	1'309,990	1'738,207	185,478	82,472	5,764
	2	340,241	1'144,722	750,954	291,100	54,251
	3	117,182	381,998	681,138	448,630	299,846
	4	19,813	97,732	173,497	251,781	528,742

Los cambios en términos de mayor ganancia de riqueza de especies se dan en las zonas límites del desierto sonorense, tanto en la zona noroeste como en la zona noreste del polígono del área de estudio, y de forma fragmentada a lo largo de la península de Baja California, México, mientras que las zonas de alta pérdida se encuentran en la parte norte del Desierto Sonorense, zona que corresponde al sur de los estados de Arizona y California en Estados Unidos, y también en la parte sur del estado de Sonora, México y en menor medida y de manera fragmentada en la parte sur de la península de Baja California en México.

Tabla 18. Superficies de las zonas de agrupación de cambios de riqueza de especies representativas para el desierto sonorense.

Categoría	Descripción	Hectáreas
1	Zonas de alta ganancia	9'196,000.00
2	Zonas de alta pérdida	13'117,606.25
3	Zonas Importantes sin Cambio	10'802,037.50
4	Zona Poco Importantes sin cambio	52'866,868.75
5	Zonas Poco Importantes con poco cambio	20'165,143.75
6	Zonas Importantes con bajo cambio	3'447,668.75

VII.6. Zonas de Importancia para el Establecimiento de Corredores Biológicos

VII.6.1. Delimitación de zonas importantes para el establecimiento de corredores

El modelo de zona de importancia muestra que las zonas núcleo que se encuentran distribuidas de manera disyunta a lo largo de la península de baja california y en la zona que conecta Baja California, Sonora, California y Arizona, con una superficie total de 6'697,281.25 ha, encontrándose rodeadas principalmente por las zonas sumidero primarias las cuales abarcan una superficie total de 12'054,962.50 ha. Las cuales a su vez se encuentran rodeadas por las zonas sumidero secundarias con una superficie total de 16'132,925.00 ha. dejando a las zonas nulas como las zonas con mayor superficie (74'710,156.25 ha., Tabla 19), presente en parches de diversas extensiones intercalados entre las diversas zonas de interés (Figura 8).

Tabla 19. Superficie de las zonas de interés para el desierto sonorense con base en las especies representativas.

Zona de Interés	Superficie (ha)
Zonas Nulas	74'710,156.25
Zonas Sumidero secundarias	16'132,925.00
Zonas Sumidero primarias	12'054,962.50
Zonas Fuente	6'697,281.25

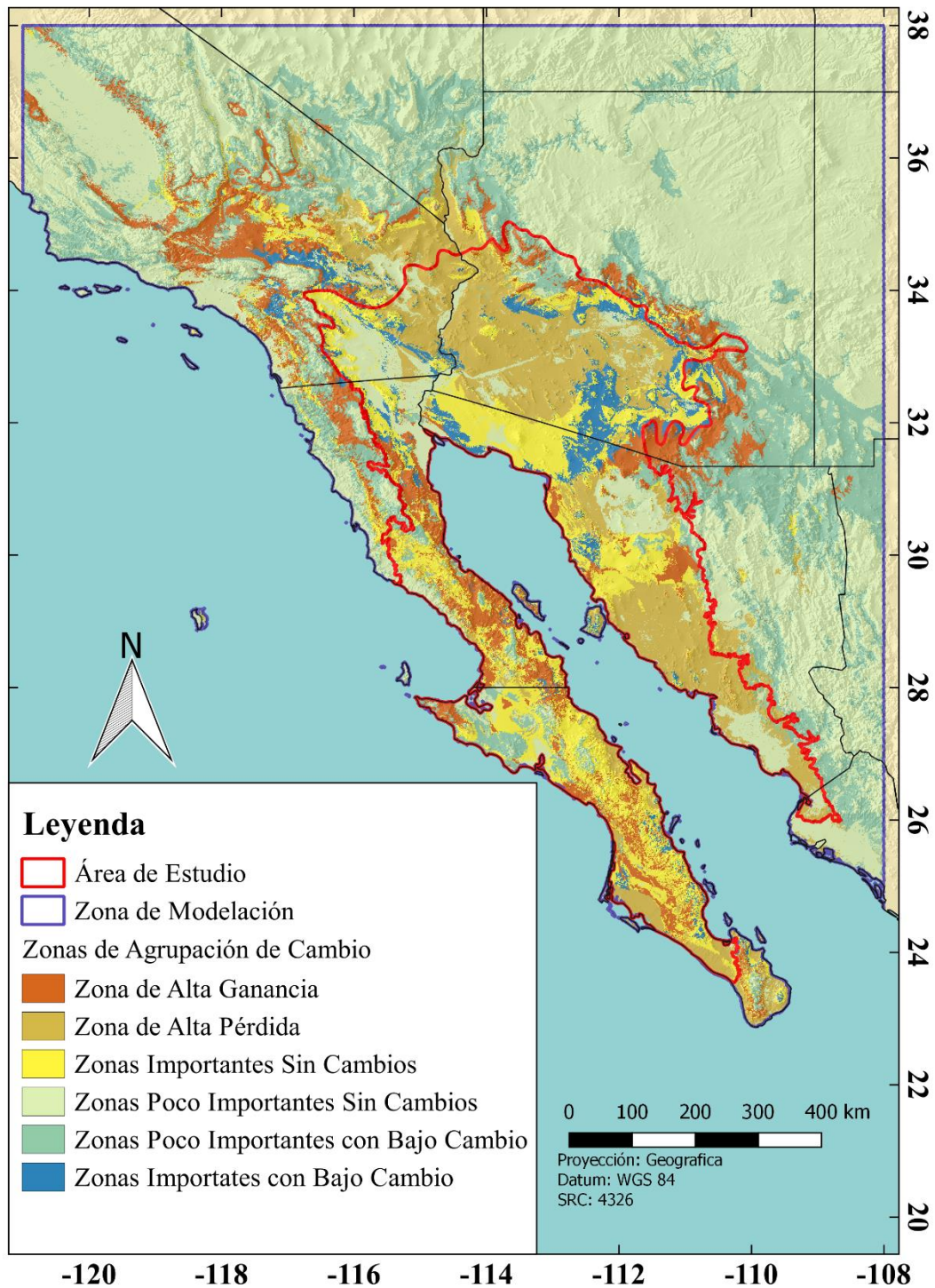


Figura 7. Mapa de zonas de agrupación de cambios de riqueza de especies representativas del desierto sonorense.

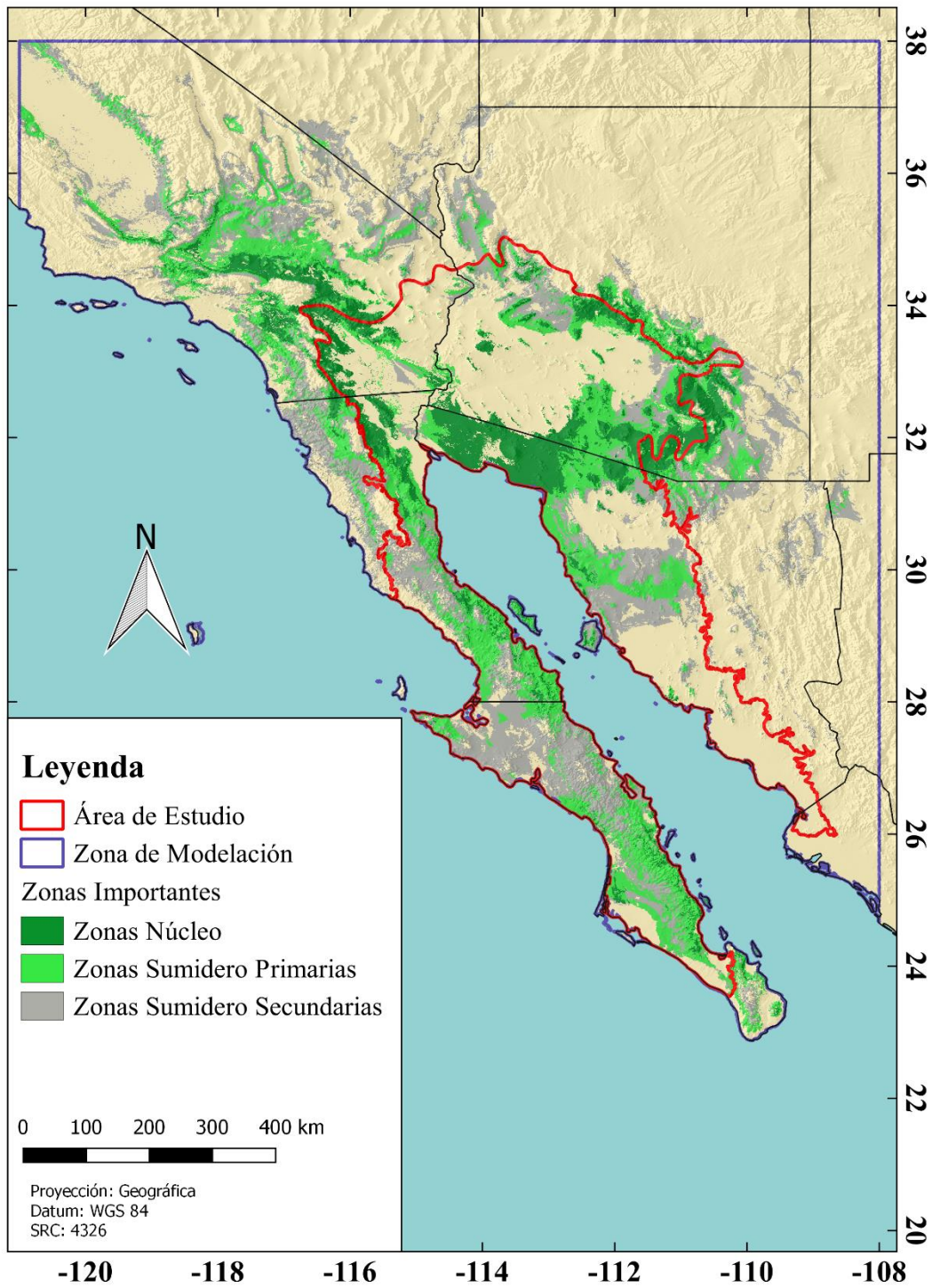


Figura 8. Mapa de las zonas de importancia.

VII.6.2. Áreas Naturales Protegidas

Para las zonas de cambio en la riqueza de especies representativas del Desierto Sonorense, un 23.75% de las zonas de alta ganancia se encuentran dentro a las áreas naturales protegidas, esto corresponde a una superficie de 2'184,281.25 ha, mientras que 1,162,462.50 ha son zonas de alta pérdida de riqueza de especies representativas dentro de áreas naturales protegidas (Tabla 20). Las áreas naturales protegidas para la península de Baja California, México, presentan una superficie que, resulta adecuada y conveniente, ya que albergan zonas tanto de alta ganancia como de pérdida de riqueza de especies representativas, a su vez, las áreas naturales presentes en la zona noreste del desierto Sonorense, zona que corresponde al estado de Arizona en Estados Unidos, concuerdan con zonas de alta ganancia de riqueza de especies.

Tabla 20. Superficies de las zonas de cambio en la riqueza de especies representativas del desierto sonorense dentro de las áreas naturales protegidas.

Zonas de cambio	Superficie en una ANP (ha)	Superficie total (ha)	Porcentaje protegido
Zonas de alta ganancia	2'184,281.25	9'196,000.00	23.75%
Zonas de alta pérdida	1'162,462.50	13'117,606.25	8.86%
Zonas Importantes sin Cambio	2'898,756.25	10'802,037.50	26.84%
Zona Poco Importantes sin cambio	10'842,743.75	52'866,868.75	20.51%
Zonas Poco Importantes con poco cambio	3'871,956.25	20'165,143.75	19.20%
Zonas Importantes con bajo cambio	322,043.75	3'447,668.75	9.34%

Las áreas naturales en el norte de México presentan poca afectación en términos de riqueza de especies representativas, ya que en ellas se encuentran zonas importantes sin cambios en la riqueza de especies representativas, mientras que las áreas naturales de la zona noroeste del área de estudio, así como las zonas de las áreas naturales del noreste que se encuentran más alejadas del área de estudio, se ven con una afectación neutra ya que se catalogan como zonas de baja importancia con poco cambio (Figura 9).

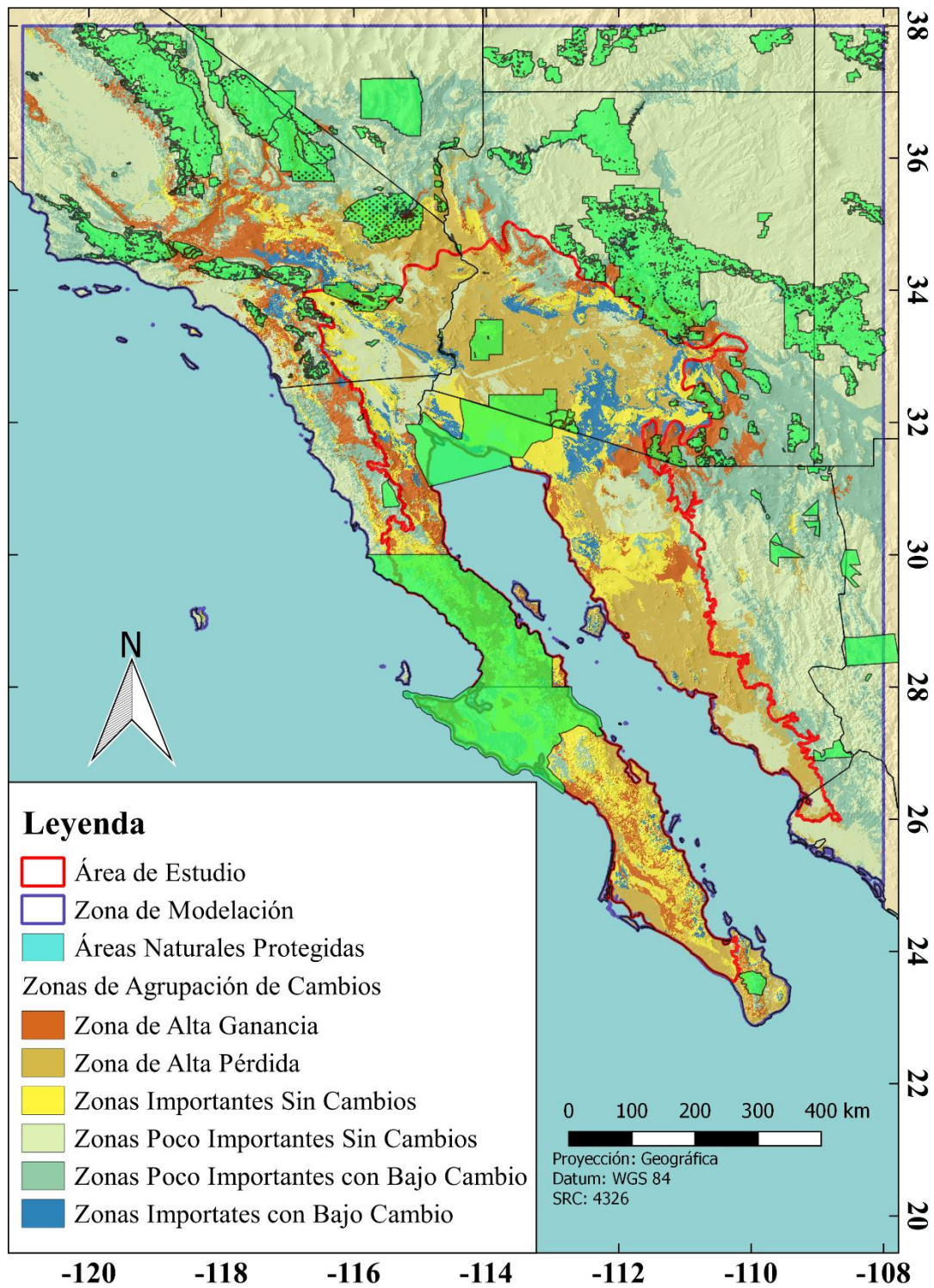


Figura 9. Zonas de Cambio en la riqueza de especies representativas del Desierto Sonorense y su distribución con respecto a las áreas naturales protegidas.

Con respecto a las zona de importancia para el establecimiento de corredores biológicos, en total, una superficie de 7'340,981.25 ha se encuentra dentro de los límites de algún área natural protegida ya sea en México o en Estados Unidos, donde, las zonas fuente, corresponden a una superficie de 1'602,200.00 lo cual representa un 23.92% de su superficie total (Tabla 21).

Tabla 21. Superficie de las zonas de importancia para el establecimiento de corredores biológicos dentro de algún estatus de protección por áreas naturales protegidas

Clase	superficie en una ANP	Superficie total	Porcentaje protegido
Zonas Sumidero secundarias	3'453,643.75	16'132,925.00	21.41%
Zonas Sumidero primarias	2'285,137.50	12'054,962.50	18.96%
Zonas Fuente	1'602,200.00	6'697,281.20	23.92%

Una gran parte de las zonas fuente se encuentran protegidas por las reservas de la parte norte de México, mientras que las zonas fuentes presentes en Estados Unidos, en la parte Noroeste y noreste del área de estudio, se encuentran principalmente en las zonas periféricas externas de las áreas naturales protegidas, mientras que para la zona de la península de Baja California, las zonas fuente se encuentran en fragmentos de territorio relativamente pequeños, donde un gran número de estos parches, se encuentran fuera de algún área de protección ambiental (Figura 10).

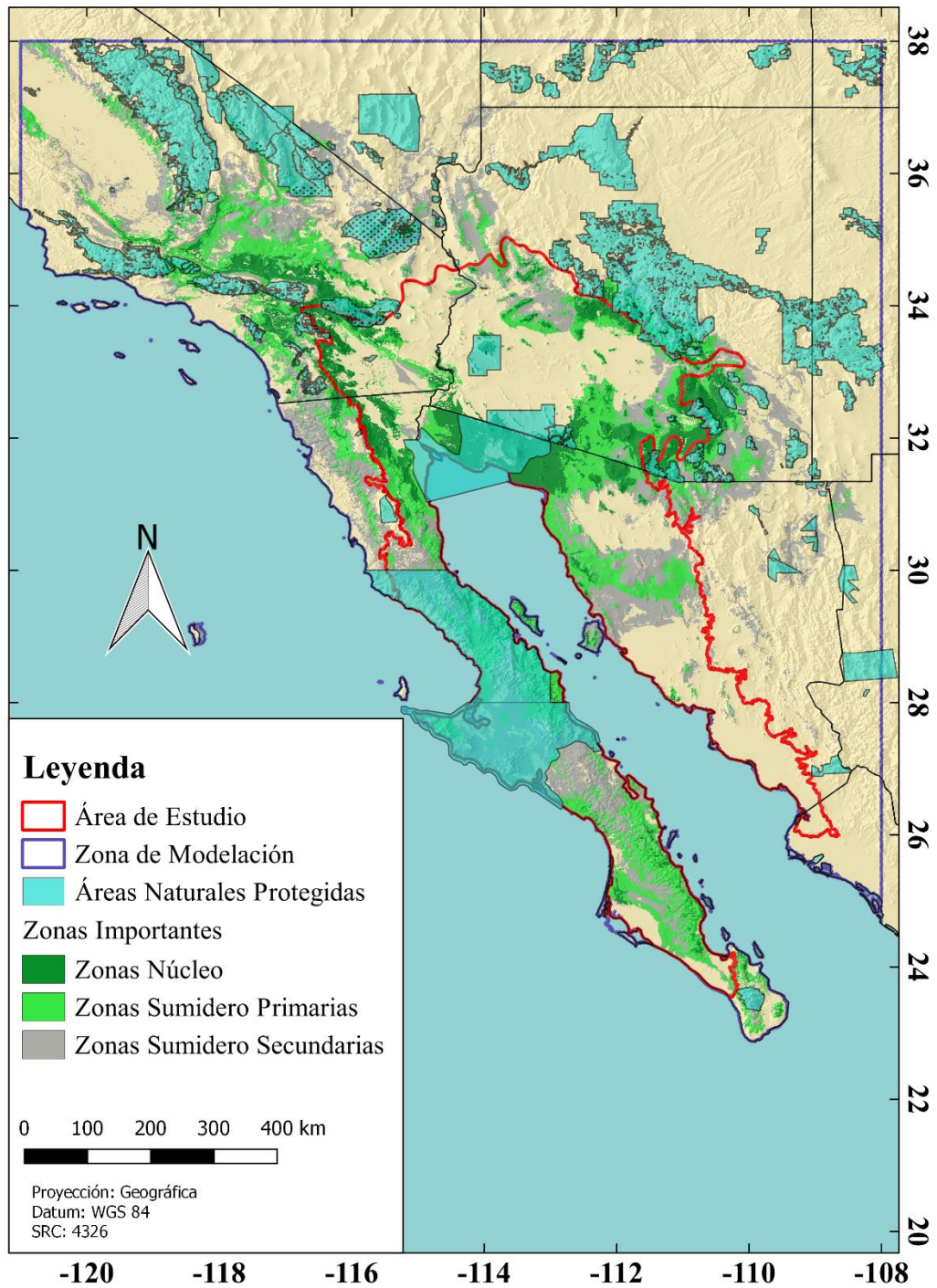


Figura 10. Zonas importantes para el establecimiento de corredores biológicos y su distribución de protección mediante las áreas naturales protegidas.

VIII. DISCUSIÓN

VIII.1. Área de Estudio

Los límites del desierto Sonorense propuestos en este trabajo resultan muy similares a los propuestos por Shreve y Wiggins (1964), las principales diferencias se encuentran en los límites del área de estudio en la zona sur del estado de Sonora, en la parte más norteña del estado de Sinaloa en México y las zonas periféricas del mismo desierto, esto puede deberse a que en la parte sur del estado de Sonora se encuentra un ecotono entre matorral desértico y selva baja, y los criterios utilizados por Shreve y Wiggins (1964) para delimitar el Desierto Sonorense fueron meramente florísticos. Tanto el Desierto Bajacaliforniano como el Desierto Sonorense propuesto por la CCA presentan características ecológicas similares, lo cual permite manejarlo como una sola entidad ecológica tal cual lo hicieron Shreve y Wiggins, sin embargo como se propone en el presente trabajo, el uso de factores ambientales no florísticos, como lo son la hidrología, la fauna, el análisis de uso del suelo y las divisiones políticas territoriales, entre otras, permitieron una delimitación periférica más acorde con la conservación.

En diversos trabajos para la conservación de especies amenazadas para el manejo de vida silvestre y para especies exóticas que utilizan modelos de distribución para para la toma de decisiones, la delimitación del área de estudio para la modelación suele ser mediante un criterio del tipo político o natural. Benito (2009) modeló la distribución de especies de plantas amenazadas utilizando como área de estudio Sierra Nevada, España, una conformación geológica y ecológica, mientras que trabajos como los de Arriaga *et al.* (2003); Bolívar, (2009); Antaramián y Ortega, (2009) delimitan sus áreas de estudio y las zonas de modelación mediante límites políticos estatales o nacionales, sin embargo, dado que, el Desierto Sonorense es un área que involucra no solo dos países culturalmente distintos, sino estados dentro de los mismos con prácticas distintas, resulta conveniente la implementación de criterios tanto ecológicos como antropogénicos para una delimitación que permita un estudio más integral del mismo.

Para la construcción del polígono del área de estudio, se utilizó como base las ecoregiones propuestas por la CCA, y se consideró un parche de la planicie sinaloense (Figura 4) propuesta por la CCA en su nivel de ecoregión III, esto con el fin de dar continuidad a los dos polígonos disyuntos del desierto sonorense propuestos por la CCA, sin embargo, estas dos zonas

consideradas, la planicie sinaloense y el parche sureño del desierto sonorense, podrían ser excluidos del polígono final del Desierto Sonorense, teniendo como base los modelos de riqueza y la delimitación de zonas importantes generadas en los resultados de los capítulos VII.5 y VII.6; a pesar de lo anterior, es necesario analizar de manera más precisa la vegetación presente en dicho parche con el fin de poder incluirlo como parte del Desierto Sonorense o determinar si se trata de una fragmentación del mismo Desierto por efectos de los campos de cultivo presentes en la zona.

VIII.2. Cobertura de Suelo

Los cambios en la cobertura de suelo, tienen un efecto en los servicios ecosistémicos principalmente los relacionados con actividades agrícolas (Chapin *et al.*, 2000; Gandarilla, 2015).

Se registró que la cobertura de suelo presenta cambios de baja magnitud entre los años 2005 y 2010, la mayoría de las zonas presentan coberturas del tipo natural, dicha cobertura gana terreno a las no naturales representados por el suelo desnudo, las zonas urbanas y las zonas agrícolas, Gandarilla (2015), analizó los cambios en la cobertura de suelo de dos subcuencas en Sonora, entre los años 1993 y 2011, encontrando que las mayores tasas de conversión a zonas agrícolas provienen de pastizal y matorral en un 63% de la superficie, sin embargo, la ganancia de superficie total de las áreas naturales, al comparar las coberturas de suelo de la CCA, podría deberse a la recuperación de zonas de suelo desnudo o campos de cultivos abandonados por efectos del crecimiento de vegetación secundaria, tendencias observadas por otros autores (Eaton, 2015; Ojeda-Revah *et al.*, 2008).

A pesar de observar un cambio en las superficies entre las zonas naturales y no naturales para los años 2005 y 2010, este análisis solo se efectuó sobre la superficie total, de las categorías de las coberturas, por lo que es necesario determinar las tasas de cambio entre las categorías de cobertura de suelo (Gandarilla, 2015), de igual forma, siguiendo la misma resolución temporal, es conveniente analizar la cobertura de suelo para el año 2015 (al momento la CCA no ha publicado la información), con el fin de no solo determinar las tendencias de cambio, sino también para poder validar el modelo de cobertura de suelo para el año 2050 con una mejor precisión.

VIII.3. Selección de especies representativas del Desierto Sonorense

Las 14 especies seleccionadas para la realización de este estudio representan por su forma de vida, la denominación dentro de las comunidades y sus rangos de distribución, los procesos ecológicos presentes en el Desierto Sonorense; esto coincide parcialmente con las especies que la CCA marca como especies características de la ecoregión del Desierto Sonorense, dado que se catalogan a las especies de *Encelia farinosa*, *Olneya tesota*, *Ambrosia dumosa* y *Pachycereus schottii* (cactáceas columnares) como especies características de esta ecoregión (Comisión de Cooperación Ambiental, 2009).

De igual forma, una característica presente en varias de las especies seleccionadas es el endemismo al área de estudio, esto les confiere un mayor peso como especies representativas de la región; *Simmondsia chinensis*, es una especie arbustiva endémica para el Desierto Sonorense, tanto en la porción mexicana, como en la sección norteamericana (Gentry, 1958), de igual forma *Olneya tesota*, es una especie que solo se encuentra presente en el Desierto Sonorense (García-Moya y McKell, 1970). Varias especies, al encontrarse distribuidas a lo largo del área de estudio, pueden dar cuenta de procesos a escalas temporales mayores, Fehlberg y Ranker, (2009) determinaron que *Encelia farinosa* presenta variaciones genéticas en sus diferentes poblaciones a largo y ancho del Desierto Sonorense, dando cuenta así de una expansión en su rango de distribución a partir de la última glaciación.

El uso del concepto de especies representativas como un criterio de selección de especies de estudio, permite en términos ecológicos y de manejo, trabajar frecuentemente con especies poco carismáticas y si con aquellas que representan, por su distribución el espacio que se quiere manejar o conservar. Es común que los criterios de selección de especies para la conservación, sean en términos de la importancia comercial o según especies que son ampliamente reconocidas por la sociedad (Arriaga *et al.*, 2004; Martínez-Alvarez, 2012; Retamoza, 2013).

VIII.4. Modelos de Distribución de Especies Representativas

Los 14 modelos de distribución presentaron valores de ROC superiores a 0.8, que indica que los modelos resultantes se ajustan bien a los valores de entrada, el alto grado de ajuste de las especies modeladas puede deberse que las 14 especies resultan representativas del Desierto

Sonorense y se encuentran distribuidas a lo largo de condiciones ambientales propias del área de estudio.

A pesar de que existen diversos programas para la modelación de distribución de especies, una gran cantidad de trabajos emplean Maxent como modelador, Siordia (2015), modeló la distribución de ardillas de la península de Baja California, México; Bolívar (2009), utilizó Maxent para determinar áreas de aprovechamiento de venado cola blanca para el estado de Veracruz, México; Ortega y Peterson (2008), evaluaron el rendimiento de 6 programas de modelación para la distribución de especies, obteniendo los mejores resultados con GARP y Maxent, por lo que, los modelos obtenidos en este trabajo, representan, aunque no de forma exacta, pero sí de forma confiable, la distribución potencial de las especies representativas para el desierto Sonorense, y la ubicación de zonas de interés para el establecimiento de corredores con base en la diversidad biológica presente en esos sitios.

Al modelar las 14 especies, utilizando 20 réplicas para cada modelo por especie, se tiene la certeza estadística de que los modelos no presentaran un ajuste muy laxo ni sobreajuste, dado que disminuye el sesgo en la distribución probabilística de los registros empleados para el entrenamiento y la validación de los modelos, aunque en la bibliografía no existe un consenso de cuál es el número de repeticiones adecuadas, hay trabajos en donde han modelado utilizando 50 y hasta 100 réplicas, así como trabajos donde se han usado solo 15, 10 y hasta una réplica para obtener el modelo de distribución potencial (Longoria, 2008; Rödder *et al.*, 2009; Jarnevish y Reynolds, 2011; Padallia *et al.*, 2014; Siordia, 2015).

VIII.5. Modelos de Riqueza y Zonas de Importancia

Las zonas de alta riqueza con base en las especies representativas seleccionadas, se encuentran ubicadas principalmente en la parte norte del área de estudio y en la zona límite entre México y Estados Unidos, esto puede ser en respuesta a un gradiente de aridez presente en el desierto sonorense, donde la aridez se incrementa de forma latitudinal (Díaz-Padilla *et al.*, 2011).

En la parte suroeste del estado de Arizona, se aprecia una alta pérdida de la riqueza de especies representativas, esto en gran medida podría deberse a cambios en los patrones climáticos específicos, los cuales merecen un análisis minucioso que escapa de los objetivos de este trabajo, sin embargo esto se contrapone a lo esperado, ya que el aumento en las temperaturas

mínimas en la región norte del Desierto Sonorense, permitiría que las especies susceptibles a puntos de congelación ampliaran sus rangos geográficos (Weiss y Overpeck, 2005), sin embargo, esto podría hacer referencia a variaciones climáticas estacionales que afecten la fisiología de las especies representativas, esto requiere un estudio climático regional y fisiológico de las especies de carácter minucioso. Aunado a esto, la riqueza de especies representativas podría verse afectada por variaciones climáticas locales, producto de las prácticas inadecuadas de manejo en términos del uso del suelo (Balling Jr.*et al.*, 1997).

A pesar de que las categorías de protección en las áreas naturales protegidas (ANPs) en Estados Unidos son más diversas que en México (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2010), el modelo de cambios permite apreciar que las ANPs en México presentan una cobertura mayor en los patrones de pérdida de riqueza por efectos de cambio climático, dadas las grandes dimensiones de estas áreas, este efecto de protección y la variabilidad del medio podrían fungir como argumento positivo frente a la serie de problemáticas que conlleva el diseño y ejecución de áreas naturales protegidas con grandes extensiones de terreno, ya sean los problemas de carácter social, por la imposición a los residentes locales o los costos de operación, protección y manejo.

Las zonas de importancia que merecen un mayor análisis, según los patrones de diversidad, son las zonas importantes sin cambio ya que estas coinciden con algunas áreas naturales protegidas, donde las especies se mantienen bajo algún tipo de política de manejo y conservación. De igual forma, dos categorías de las zonas de cambio que generan un interés particular son las zonas de alta ganancia y las zonas de alta pérdida, esto podría justificar la reubicación de individuos de las especies representativas de zonas de alta pérdida a zonas de alta ganancia (Mawdsley *et al.*, 2006), lo anterior podría asegurar la presencia de las especies en las zonas más adecuadas, según los modelos de distribución potencial, bajo las circunstancias de que los cambios climáticos sean en una escala temporal tan corta que los individuos no pudieran migrar de forma natural.

Las áreas que presentan mayor importancia por su alto valor de riqueza de especies representativas pueden ser consideradas como las zonas en las que se deban de focalizar los esfuerzos para la conservación (Mawdsley *et al.*, 2006), dado que presentan las condiciones tanto climáticas como de cobertura de suelo idóneas para su distribución y permanencia, así se deben de priorizar los esfuerzos de manejo y conservación en estas zonas y hacia las zonas sumidero primarias como interconexiones entre las zonas de conservación.

IX. CONCLUSIONES

El desierto Sonorense se constituye no solo como una unidad ecológica binacional, que se extiende parcialmente por las planicies de Sonora, Arizona, California, Baja California y Baja California Sur y parte de Sinaloa, delimitado mediante su composición florística en términos de manejo y conservación, es plausible su delimitación periférica más exacta mediante el uso de múltiples factores naturales tanto bióticos como abióticos así como factores de carácter político, administrativos y sociales.

A pesar de los cambios irreversibles en las coberturas de suelo, existen zonas con pocos niveles de cambio y zonas perturbadas que experimentan procesos de recuperación ecológica, generando así que la mayor parte de la superficie del Desierto Sonorense aún se encuentra en condiciones adecuadas para el establecimiento de corredores biológicos que permitan la interconexión de zonas aptas para la conservación dentro del mismo.

Las 14 especies seleccionadas son representativas de las especies del desierto sonorense por los procesos ecológicos en los que se encuentran involucrados y su extensión dentro del mismo desierto, dado esto, las superficies importantes para la conservación obtenidas mediante la modelación de la distribución de estas 14 especies permitirían la conservación del grupo de especies con las que están relacionadas, lo que es una ventaja al trabajar con las especies representativas.

Las áreas seleccionadas para el estado de Sonora, México y Arizona, Estados Unidos, presentan condiciones importantes para su conservación dada la riqueza de especies representativas, de la parte noroeste del Desierto Sonorense.

Las áreas naturales protegidas dentro de la península de Baja California presentan un alto potencial para la conservación de zonas sumidero primaria y secundaria, lo cual permite el diseño de corredores desde la parte sur de la península hasta la parte noroeste del Desierto Sonorense.

Las zonas de alta ganancia y de alta pérdida de riqueza representan zonas críticas para la conservación de especies, que propiciarán la implementación de estrategias de manejo que permitan la interacción entre estas dos zonas.

X. RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS DE MANEJO

Con base en los resultados del presente trabajo, a continuación se emite una serie de recomendaciones y propuestas de manejo que permitan dar seguimiento, complementar e implementar los resultados de este trabajo.

X.1. Recomendaciones

- Identificar las interacciones entre las especies representativas y con otras especies, con el fin de poder consolidar las áreas y rutas para los corredores biológicos multiespecíficos.
- Determinar la estructura poblacional de las especies representativas, principalmente en las zonas de alta pérdida de riqueza, a manera de poder focalizar esfuerzos a los individuos que pueden ser rescatados y translocados.
- Dar seguimiento a la respuesta de las poblaciones de especies representativas a las tendencias del cambio climático, a fin de poner en práctica programas de rescate y reforestación.
- Evaluar la tenencia de la tierra en los sitios clasificados como zonas fuente y en las zonas de corredores con el fin de poder implementar diferentes estrategias de conservación o identificar potenciales amenazas a la presencia de las especies.
- Revisar y evaluar las políticas de cambio de uso de suelo en el ámbito local y regional, con el objetivo de que los procesos de cambio generen un mínimo impacto en términos de fragmentación, buscando que las políticas y normativas coordinadas en la materia fomenten, incentiven y pongan en práctica, acciones que permitan la interconexión de zonas de alta riqueza de especies representativas.
- A pesar de que las áreas urbanas están consideradas en este trabajo como zonas no aptas para el establecimiento de corredores biológicos, es recomendable diseñar y desarrollar infraestructura urbana verde, que incluya beneficios para las especies representativas y que permita la interconexión de zonas importantes a través de las zonas urbanas.
- Diseñar y planear la interconexión entre las zonas fuente y las áreas naturales protegidas, empleando principalmente las zonas sumidero primarias y en menor medida las zonas

sumidero secundarias, la figura administrativa y legal que se puede utilizar son las áreas de conservación voluntaria consideradas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que permiten la gestión y consolidación de este tipo de áreas de protección desde una perspectiva comunitaria y ciudadana. Esto se puede implementar a través de las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC), como Pronatura A.C., Terra Peninsular A.C. u otras que en el ámbito regional cuenten con amplia experiencia en la gestión de tierras para la conservación.

- Revisar y adecuar los planes de manejo de las Áreas Naturales Protegidas con el fin de que contemplen una respuesta a los cambios en los patrones climáticos, que fomenten la interconexión interna entre zonas importantes dada su riqueza de especies representativas, y que las adecuaciones a los planes de manejo, puedan contemplar una figura de toma de decisiones más flexible, que permita una respuesta rápida y adecuada a fenómenos no previstos.

X.2. Propuestas de Manejo

- Reubicar individuos de las zonas de rescate que se localizan en zonas de alta pérdida de riqueza de especies bajo los escenarios de cambio climático empleados en este trabajo, a zonas de reubicación primaria que son zonas de alta ganancia de riqueza y zonas de reubicación secundaria, las cuales son zonas donde los valores de riqueza de especies representativas se mantienen elevados a pesar de las variaciones climáticas, para esto se puede emplear la información del mapa de la Figura 11, el cual marca en color naranja las zonas con potencial para el rescate de individuos por pérdida de habitat potencial, dichos individuos deben ser translocados principalmente a las zonas primarias de manejo marcada en color verde, donde se espera que la densidad de individuos sea baja ya que son zonas que pasaron de tener baja riqueza de especies a tener un mayor potencial de albergar una alta riqueza de las mismas, en segundo término, los individuos rescatados pueden ser translocados a las zonas secundarias de manejo indicadas con color azul, donde se espera que ya se encuentren establecidas poblaciones de las especies representativas, y por ende la introducción de individuos debe de ser mínima, con el fin de causar el menor impacto posible en la distribución de la estructura genética de las

poblaciones presentes. También es recomendable dar seguimiento a las poblaciones translocadas.

- Generar un banco de germoplasma de las especies representativas, tomando en cuenta la diversidad genética presente en el Desierto Sonorense, que permitan apoyar las labores de reforestación o densificación.
- Diseñar programas de germinación y propagación de especies representativas del Desierto Sonorense y programas de reforestación con el fin de fortalecer la estructura de las comunidades en las zonas donde las tasas de cambio de riqueza marcan altas ganancias y las especies de ciclo de vida lento no puedan migrar a las velocidades adecuadas. En el mapa de la Figura 11 se indican las zonas primarias de manejo, donde se deben de focalizar los esfuerzos de reforestación utilizando especies representativas, ya que el modelo indica incremento en los valores de probabilidad de ocurrencia y los valores de riqueza, por tanto en el presente se espera que las poblaciones de estas especies sean de baja densidad; de igual forma, los programas de reforestación deben de procurar que las poblaciones en las zonas secundarias de manejo presenten el reclutamiento adecuado que asegure la permanencia de las poblaciones presentes en dichas zonas.

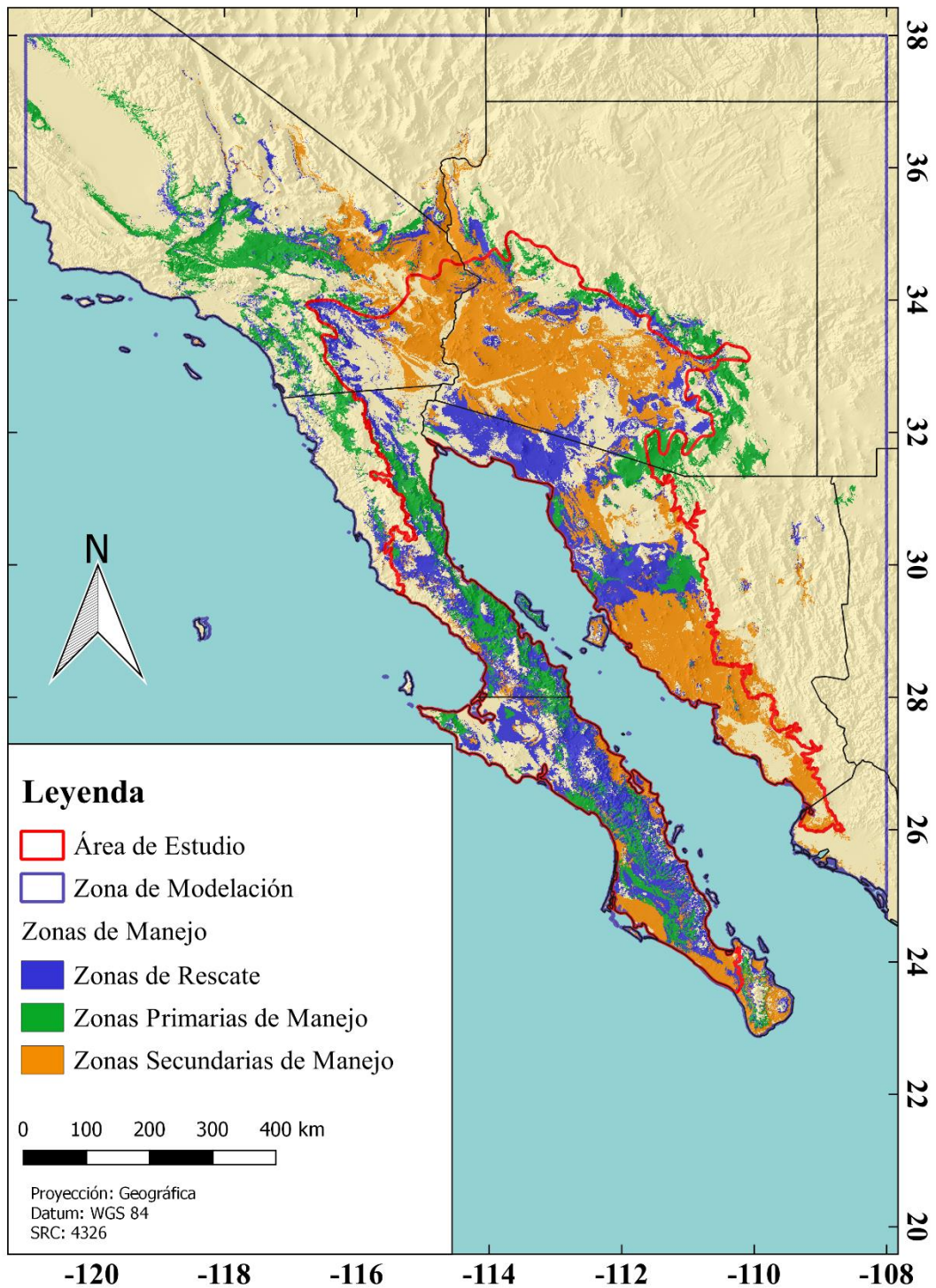


Figura 11. Mapa guía para el manejo de las especies representativas del Desierto Sonorense, zonas de rescate y zonas de reubicación.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, L., Castellanos V., A. E., Moreno, E., y Alarcon, J. (2004). Potential Ecological Distribution of Alien Invasive Species and Risk Assessment: a Case Study of Buffel Grass in Arid Regions of Mexico. *Conservation Biology*, 18(6), 1504-1514. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00166.x>
- Balling Jr, R. C., Klopatek, J. M., Hildebrandt, M. L., Moritz, C. K., y Watts, C. J. (1998). Impacts of land degradation on historical temperature records from the Sonoran Desert. *Climatic Change*, 40(3-4), 669–681.
- Benito, B. (2009). *Ecoinformática Aplicada a la Conservación: Simulación de Efectos del Cambio Global en la Distribucion de la Flora de Andalucía*. Universidad de Granada.
- Bier, P., Majka, D., Jenness, J., Bross, B., y Garding, E. (2013). CorridorDesing. Recuperado a partir de <http://corridordesign.org/>
- Bolívar, B. (2009). *Análisis del hábitat óptimo y modelado de nicho ecológico para la conservación del venado cola blanca en el centro de veracruz*. Instituto de Ecología, A.C.
- Brito-Castillo, L., Crimmins, M. A., y C., D.-C. S. (2010). Clima. En F. E. Molina-Freaner y T. R. Van Devender (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora* (pp. 73-96). UNAM, México.
- Caro, T. (2010). *Conservation by proxy: indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species*. Island Press.
- Chapin III, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hobbie, S. E. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234–242.
- Comisión de Cooperación Ambiental (2009). Ecological Region of North America. Archivo vectorial en format shapefile. <http://www.cec.org/es/herramientas-y-recursos/archivos-cartogr%C3%A1ficos/ecorregiones-terrestres-nivel-iii> . Última revision: 18 de Agosto del 2016.
- Comisión de Cooperación Ambiental, mediante: Department of Forestry and Natural Resources, Clemson University (2010). Terrestrial Protected Areas of North American, 2010. Archivo vectorial en formato shapefile. <http://www.cec.org/es/herramientas-y-recursos/archivos-cartogr%C3%A1ficos/%C3%A1reas-terrestres-protegidas-2010>. Última revisión: 18 de Agosto del 2016.

- Comisión de Cooperación Ambiental, mediante: Centre for Remote Sensing, Earth Sciences Sector, Natural Resources Canada; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Comisión Nacional Forestal; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; U.S. Geological Survey. (2013a). 2005 Land Cover of North America at 250 meters. Edición 2.0. Archivo raster en formato GeoTiff. <http://www.cec.org/es/herramientas-y-recursos/archivos-cartogr%C3%A1ficos/cobertura-del-suelo-2005>. Última revisión: 18 de Agosto del 2016
- Comisión de Cooperación Ambiental, mediante: Centre for Remote Sensing, Earth Sciences Sector, Natural Resources Canada; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Comisión Nacional Forestal; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; U.S. Geological Survey. (2013b). 2010 Land Cover of North America at 250 meters. Edición 1.0. Archivo raster en formato GeoTiff. <http://www.cec.org/es/herramientas-y-recursos/archivos-cartogr%C3%A1ficos/cobertura-del-suelo-2010>. Última revisión: 18 de Agosto del 2016.
- Díaz-Padilla, G., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes, R. A., Ángel-Pérez, D., Ana, L., Ruíz-Corral, A., Ibarra-Castillo, D. (2011). Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 17(SPE.), 267–275.
- Dimmitt, M. A. (2000). Biomes and communities of the Sonoran Desert region. *A natural history of the Sonoran Desert*, 3, 28.
- Eaton González, B. R. (2016). *Fragmentación y corredores biológicos en el noroeste de Baja California*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Fehlberg, S. D., y Ranker, T. A. (2009). Evolutionary history and phylogeography of *Encelia farinosa* (Asteraceae) from the Sonoran, Mojave, and Peninsular Deserts. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 50(2), 326–335.
- Gandarilla Aizpuro, F. J. (2015). *Evaluación de la dinámica de cambios de cobertura de suelo en las subcuencas río San Miguel y río Zanjón, Sonora*. Universidad de Sonora.
- García-Moya, E., y McKell, C. M. (1970). Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology*, 51(1), 81–88.
- Gentry, H. S. (1958). The natural history of jojoba (*Simmondsia chinensis*) and its cultural

- aspects. *Economic Botany*, 12(3), 261–295.
- GRASS Development Team, (2012). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.1. Open Source Geospatial Foundation. <http://grass.osgeo.org>.
- Grinnell, J. (1917). the niche-relationship of the californa thrasher. *AUK.*, XXXIV, 427 - 433.
- Hutchinson, G. E. (1957). Cold spring harbor symposium on quantitative biology. *Concluding remarks*, 22, 415-427.
- Idrisi Selva (2012). Clark Labs, Clark University. Version 1.7. <http://www.clarklabs.org>
- Jarnevich, C. S., y Reynolds, L. V. (2011). Challenges of predicting the potential distribution of a slow-spreading invader: a habitat suitability map for an invasive riparian tree. *Biological Invasions*, 13(1), 153–163.
- Kumar, S., y Stohlgren, T. (2009). Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and natural*, 1(4), 94-98.
- Longoria, C. (2008). *Distribución hipotética de especies de aves y mamíferos con categoría de riesgo en la NOM-059-SEMANAT-2001 registradas en el estado de Durango*. Instituto Politécnico Nacional.
- Lozier, J. D., Aniello, P., y Hickerson, M. J. (2009). Predicting the distribution of Sasquatch in western North America: Anything goes with ecological niche modelling. *Journal of Biogeography*, 36(9), 1623-1627. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02152.x>
- Martínez-Yrizar, A., Felger, R., y Búrquez, A. (2010). Los Ecosistemas Terrestres: un Diverso Capital Natural. En F. Molina Freaner y T. Van Devender (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora* (Mora-Cantú, pp. 129-156). México D.F.
- Miller, K., Chang, E., Johnson, N., Martínez de Anguita, P., Lagos, O., Solís, V., Escudos, J. (2001). *En busca de un enfoque común para el corredor biológico mesoamericano*. World Resources Institute, Baltimore, MD (EUA).
- Ojeda-Revah, L., Bocco, G., Ezcurra, E., y Espejel, I. (2008). Land-cover/use transitions in the binational Tijuana River watershed during a period of rapid industrialization. *Applied Vegetation Science*, 11(1), 107–116.

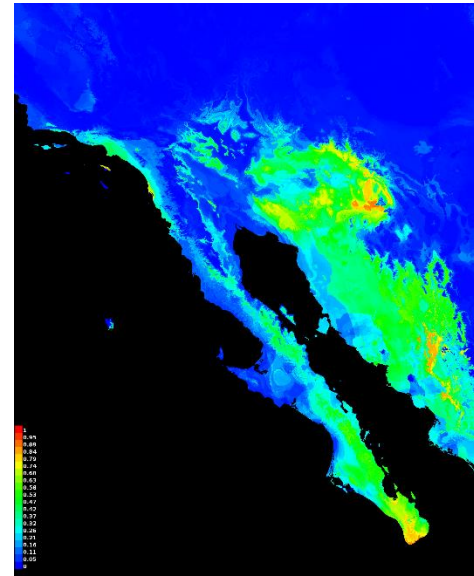
- Ortega-Huerta, M. A., y Peterson, A. T. (2008). Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79, 205-216.
- Padalia, H., Srivastava, V., y Kushwaha, S. P. S. (2014). Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP. *Ecological Informatics*, 22, 36–43.
- Phillips, S., Dudík, M., y Schapire, R. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the twenty-first ...*, 655-662.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Phillips, S. J., y Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161–175.
- Quantum GIS Development Team, (2016=). Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Rödder, D., Kielgast, J., Bielby, J., Schmidtlein, S., Bosch, J., Garner, T. W. J., ... Lötters, S. (2009). Global amphibian extinction risk assessment for the panzootic chytrid fungus. *Diversity*, 1(1), 52–66.
- Shreve, F., y Wiggins, I. L. (1964). Vegetation and flora of the Sonoran desert. Vols 1 and 2. *Vegetation and flora of the Sonoran desert. Vols 1 and 2*.
- Siordia González, N. F. (2015). *Modelado de la distribución potencial de dos especies de ardillas en la península de Baja California: Tamias obscurus y Xerospermophilus tereticaudus*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Soberón, J., y Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National ...*, 106, 19644-19650. Recuperado a partir de <http://www.pnas.org/content/106/suppl.2/19644.short>
- Soberon, J., y Peterson, T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversito Informatics*, 2, 1-10. Recuperado a partir de <http://kuscholarworks.ku.edu/dspace/handle/1808/6566>
- Turner, R. M., Bowers, J. E., y Burgess, T. L. (2005). *Sonoran Desert plants: an ecological atlas*. University of Arizona Press.

Weiss, J. L., y Overpeck, J. T. (2005). Is the Sonoran Desert losing its cool? *Global Change Biology*, 11(12), 2065–2077.

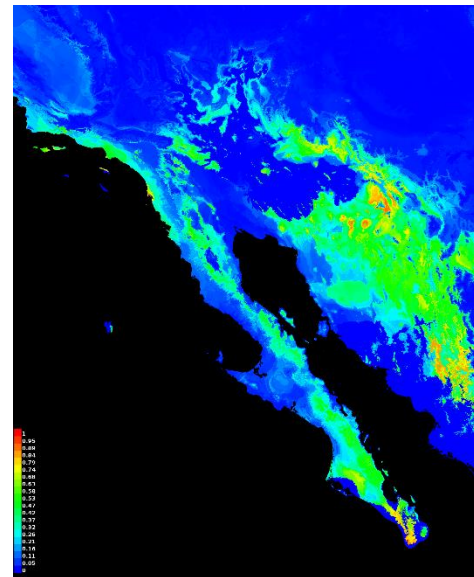
Wiens, J. A., Hayward, G. D., Holthausen, R. S., y Wisdom, M. J. (2008). Using surrogate species and groups for conservation planning and management. *Bioscience*, 58(3), 241-252.

ANEXO I. FICHA DEL MODELO DE *Ambrosia ambrosioides*

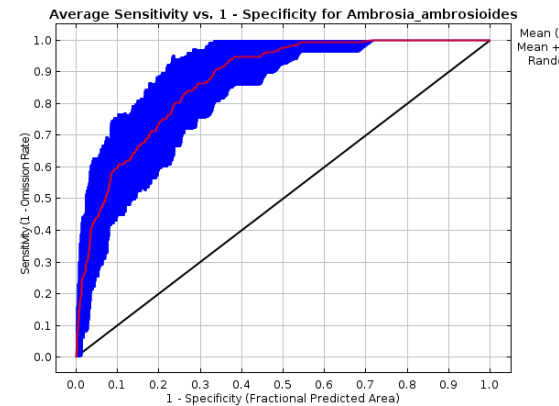
El modelo de Distribución potencial de *Ambrosia ambrosioides* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 125 registros de presencia para la construcción del modelo y siete para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.872 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



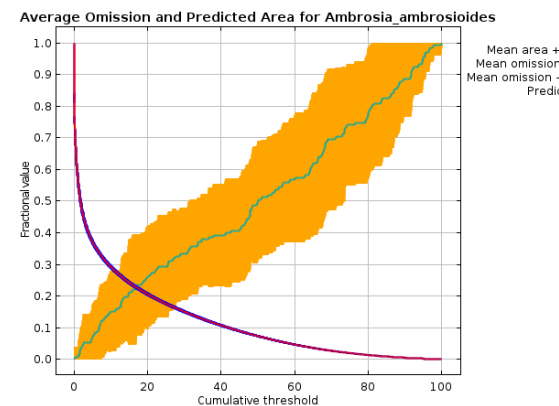
Modelo de Distribución Potencial Presente



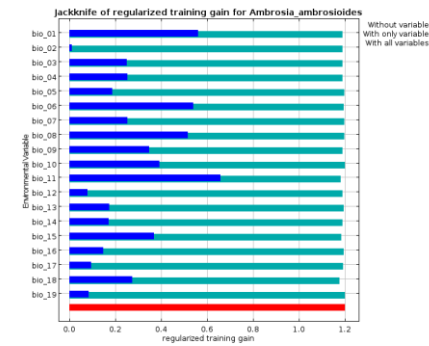
Modelo de Distribución Potencial Futuro



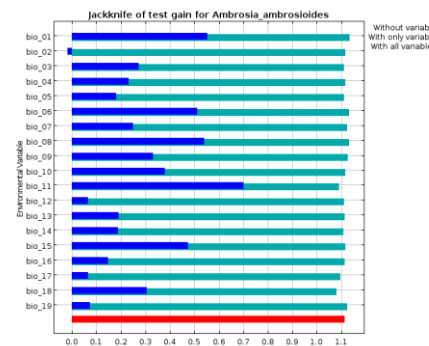
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



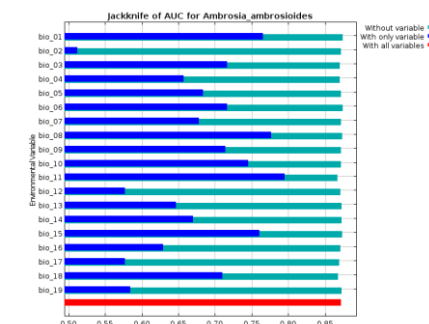
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



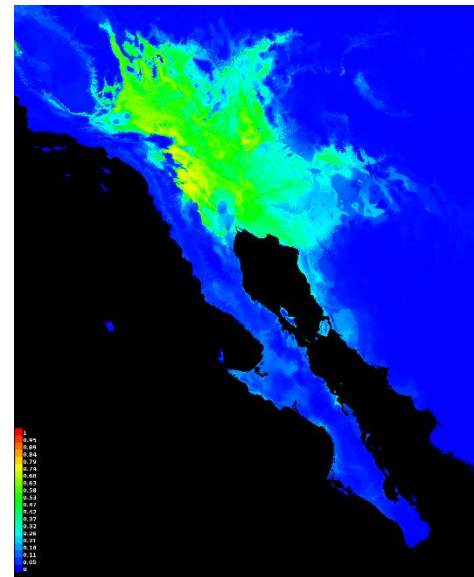
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

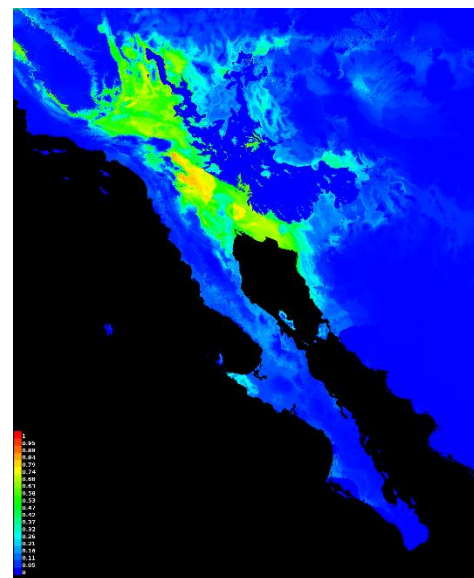
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_11	43.9	27.5
bio_18	15.8	13.3
bio_01	8.3	14.9
bio_12	4.5	5.9
bio_03	3.7	6.8
bio_06	3.6	3.3
bio_04	3.5	4.7
bio_15	2.8	5.3
bio_07	2.3	0.2
bio_09	2.2	1.8
bio_02	1.6	3
bio_16	1.5	1.9
bio_13	1.3	1.6
bio_17	1.1	3.9
bio_19	1.1	0.1
bio_14	1	4.3
bio_08	0.9	0.8
bio_05	0.5	0.5
bio_10	0	0

ANEXO II. FICHA DEL MODELO DE *Ambrosia dumosa*

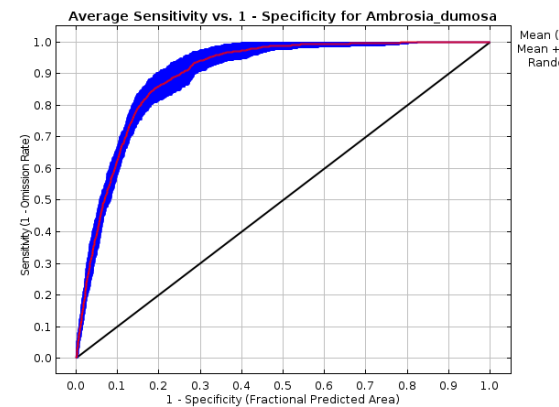
El modelo de Distribución potencial de *Ambrosia dumosa* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 936 registros de presencia para la construcción del modelo y 49 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.897 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



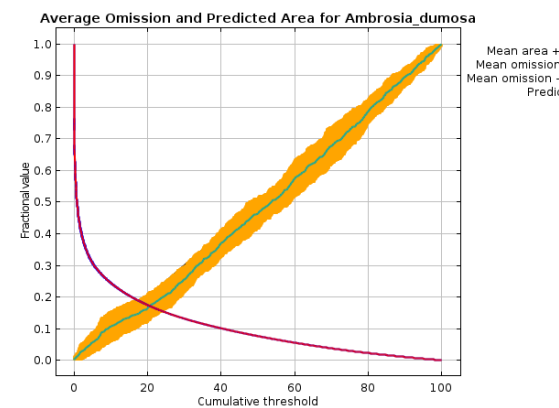
Modelo de Distribución Potencial Presente



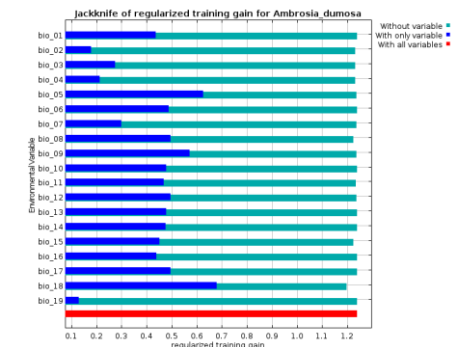
Modelo de Distribución Potencial Futuro



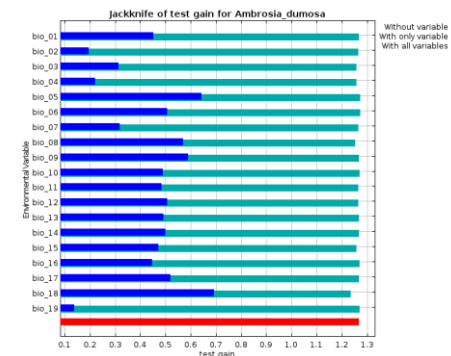
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



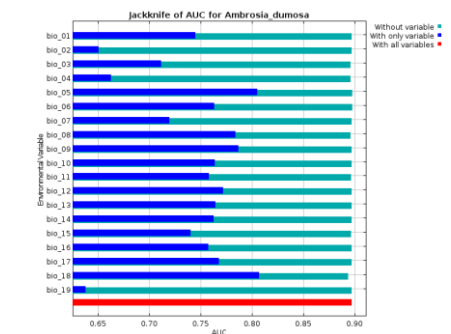
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



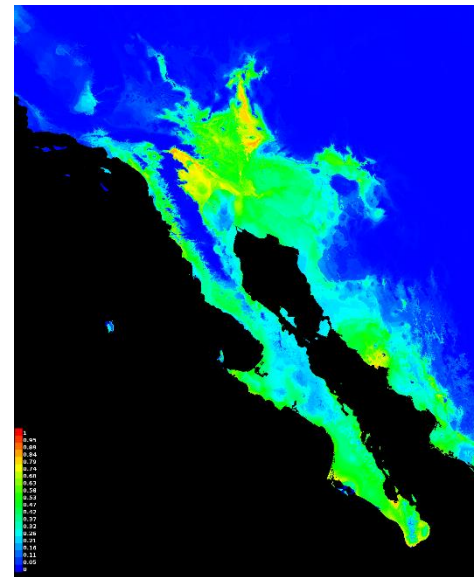
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

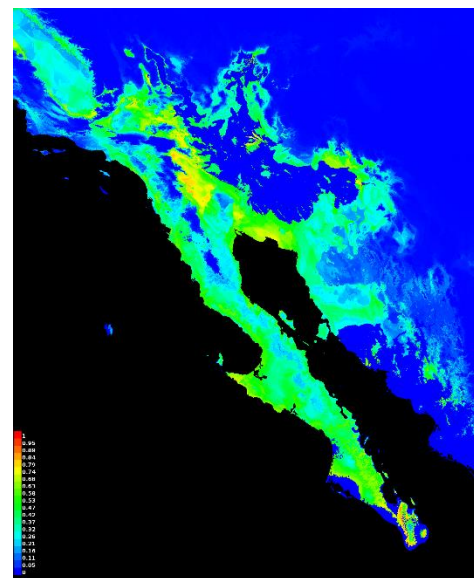
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_18	33.8	32.1
bio_05	20.7	3.1
bio_15	12.1	7.5
bio_09	9.8	3.6
bio_03	4.3	3.6
bio_08	4.3	4.7
bio_04	3.1	14.8
bio_13	2.8	9
bio_11	2.4	8.5
bio_14	2	0
bio_19	1.6	0.5
bio_02	1.4	3.8
bio_07	0.5	1.2
bio_12	0.4	3.2
bio_06	0.2	0.8
bio_10	0.2	0.1
bio_17	0.2	1.5
bio_16	0.1	0.3
bio_01	0.1	1.7

ANEXO III. FICHA DEL MODELO DE *Asclepias subulata*

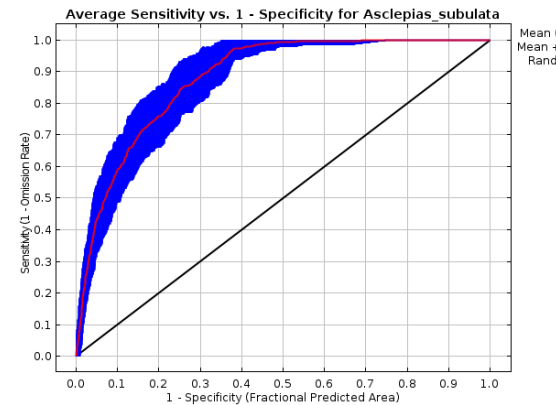
El modelo de Distribución potencial de *Asclepias subulata* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 355 registros de presencia para la construcción del modelo y 19 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.881 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



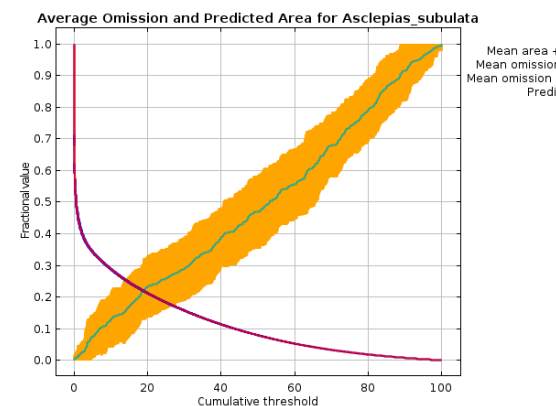
Modelo de Distribución Potencial Presente



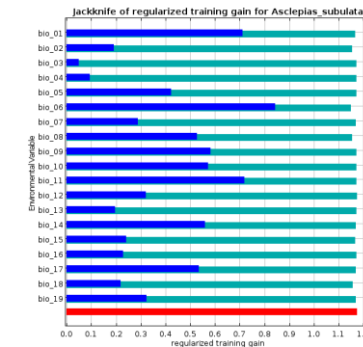
Modelo de Distribución Potencial Futuro



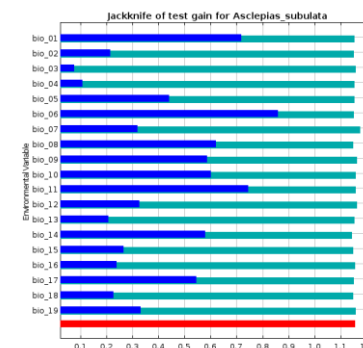
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



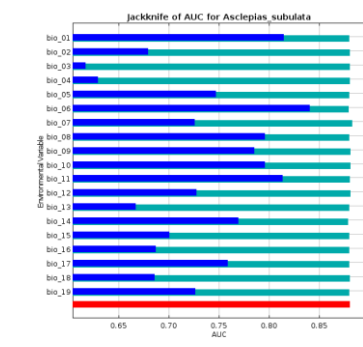
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



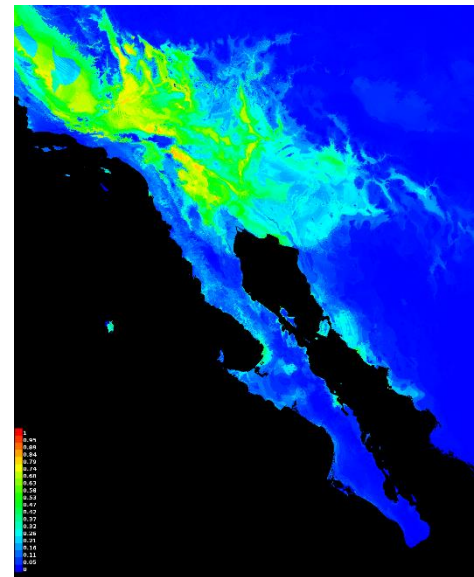
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

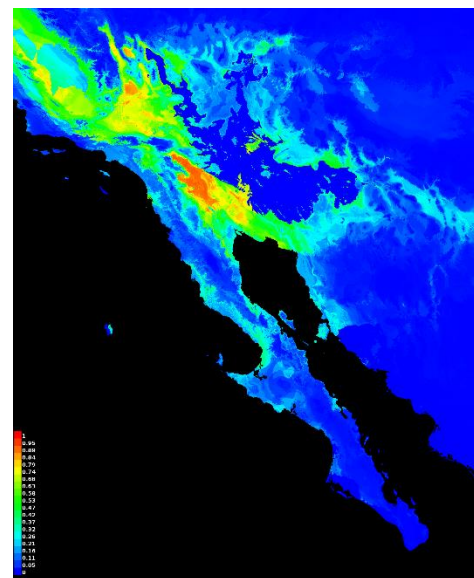
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_06	54.1	42.6
bio_14	6.6	3.5
bio_05	5.4	0.8
bio_01	5	9.5
bio_11	4.3	4.4
bio_02	3.9	6.9
bio_07	3.8	2.1
bio_08	3.4	5.3
bio_09	2.8	3.3
bio_17	2.6	2.7
bio_18	2	5.8
bio_10	1.9	2.2
bio_15	1.2	4.6
bio_03	0.8	0.9
bio_19	0.7	2.2
bio_16	0.4	1.3
bio_12	0.4	0.1
bio_13	0.4	0.6
bio_04	0.4	1.4

ANEXO IV. FICHA DEL MODELO DE *Atriplex polycarpa*

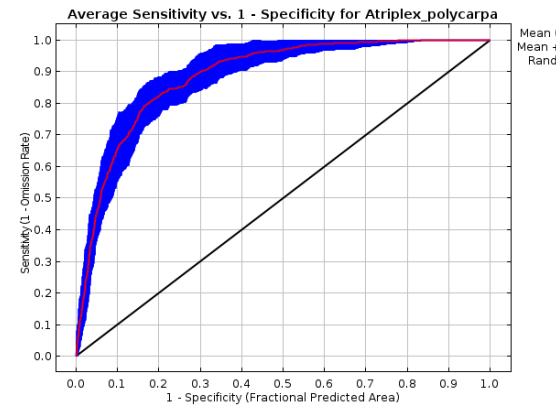
El modelo de Distribución potencial de *Atriplex polycarpa* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 491 registros de presencia para la construcción del modelo y 26 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.887 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



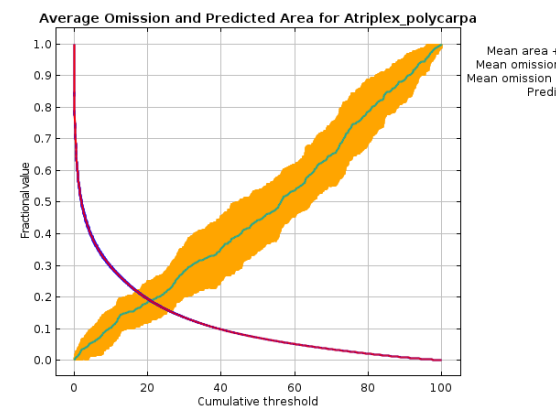
Modelo de Distribución Potencial Presente



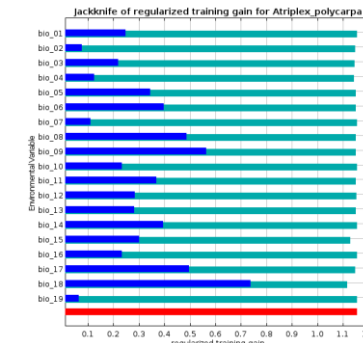
Modelo de Distribución Potencial Futuro



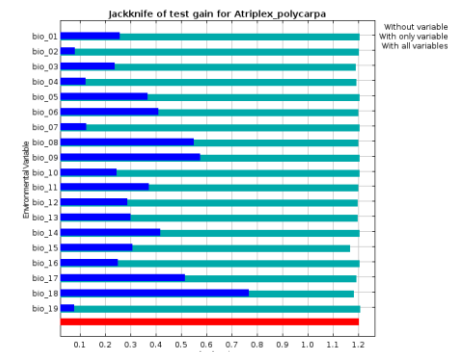
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



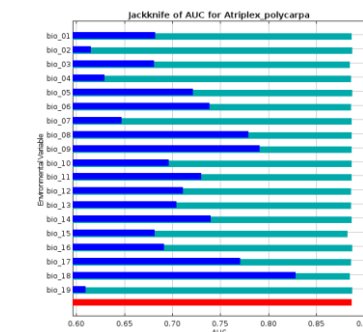
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



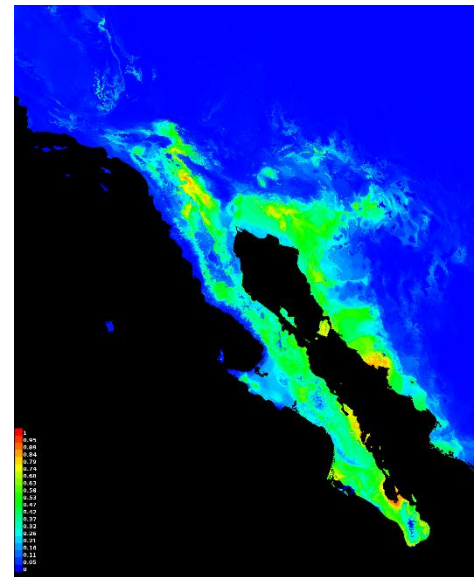
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

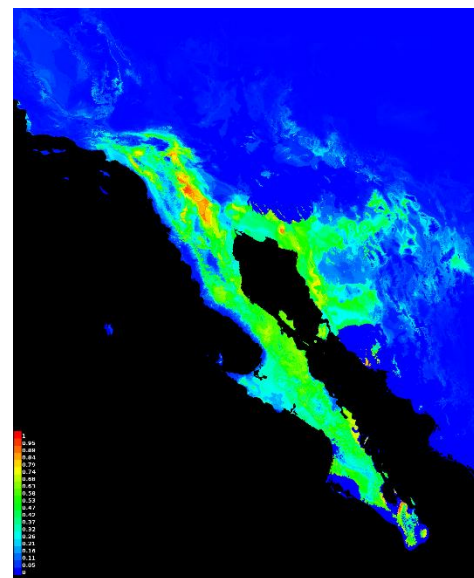
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_18	49.3	45.7
bio_09	15.7	6.1
bio_03	9.1	5.1
bio_15	6.1	11.3
bio_17	5.2	2.3
bio_13	3.5	6.4
bio_04	2.9	6.4
bio_06	2	6.2
bio_08	1.7	1.7
bio_02	1.5	1.4
bio_11	0.6	3.8
bio_05	0.6	1.1
bio_16	0.6	0.3
bio_19	0.5	0.3
bio_12	0.3	0.8
bio_14	0.2	0
bio_10	0.1	0.5
bio_07	0.1	0.3
bio_01	0	0

ANEXO V. FICHA DEL MODELO DE *Bursera microphylla*

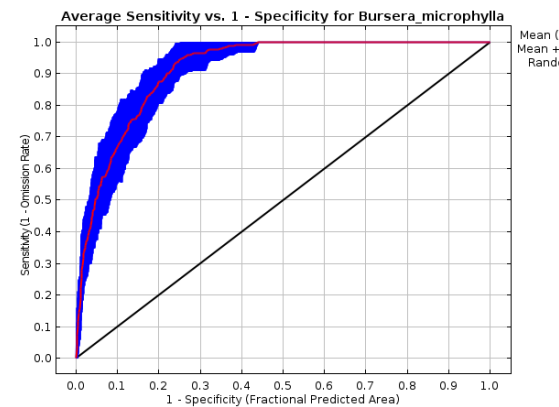
El modelo de Distribución potencial de *Bursera microphylla* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 239 registros de presencia para la construcción del modelo y 12 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.915 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



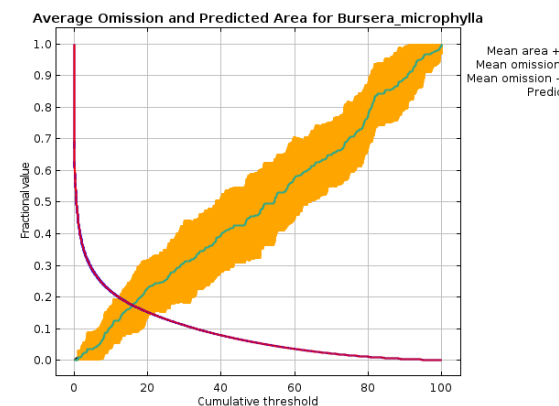
Modelo de Distribución Potencial Presente



Modelo de Distribución Potencial Futuro



Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



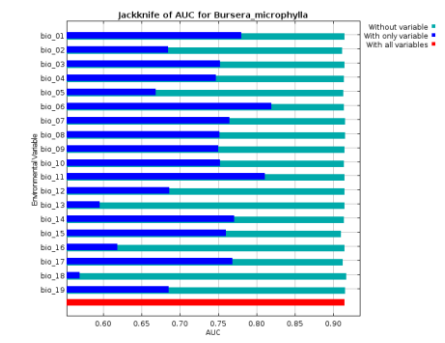
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



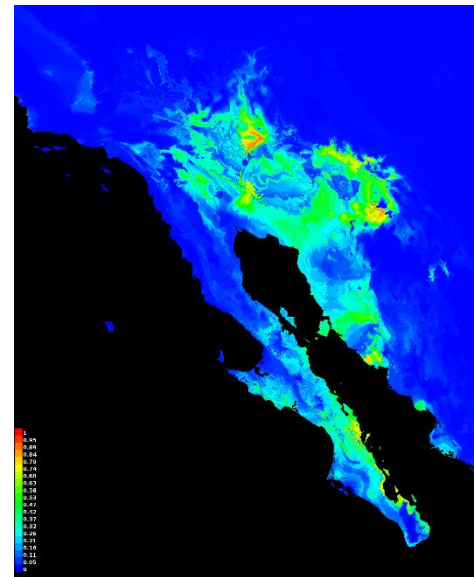
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

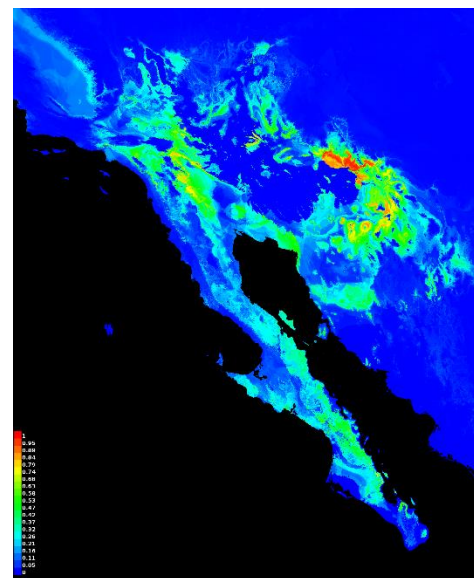
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_11	21.4	0.7
bio_04	16.9	19.2
bio_14	13	7.5
bio_18	8.6	10.1
bio_06	7	11.3
bio_02	6	6
bio_12	4.8	0.1
bio_09	4.1	7.6
bio_10	3	3.6
bio_15	2.9	7.6
bio_03	2.6	9.4
bio_16	2.3	1.4
bio_01	2.1	1
bio_13	1.6	2.1
bio_08	1.3	1.9
bio_19	0.7	1.4
bio_07	0.7	1.9
bio_05	0.4	1.8
bio_17	0.4	5.1

ANEXO VI. FICHA DEL MODELO DE *Cercidium microphyllum*

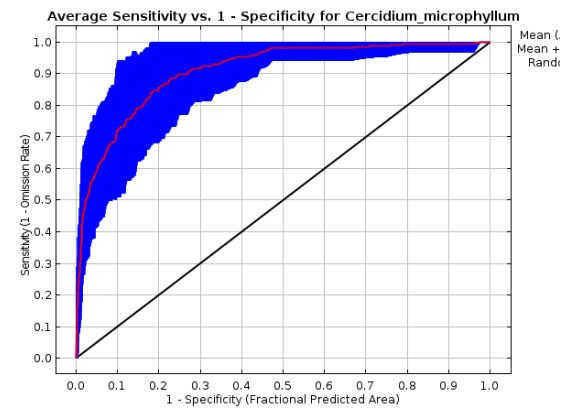
El modelo de Distribución potencial de *Cercidium microphyllum* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 159 registros de presencia para la construcción del modelo y ocho para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.908 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



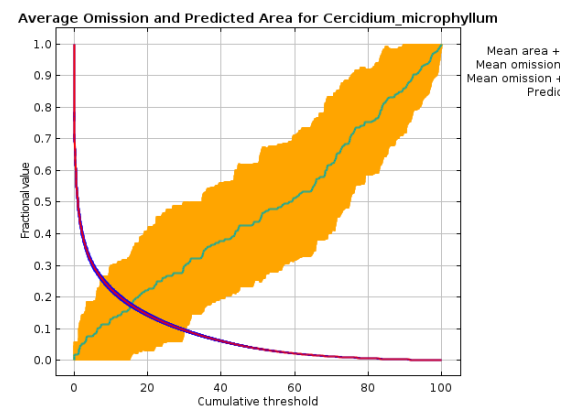
Modelo de Distribución Potencial Presente



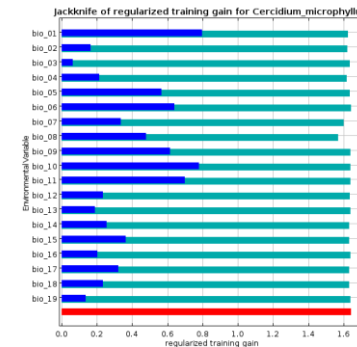
Modelo de Distribución Potencial Futuro



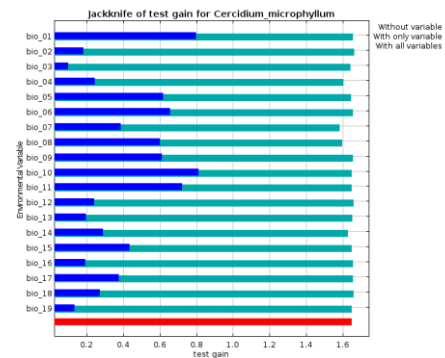
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



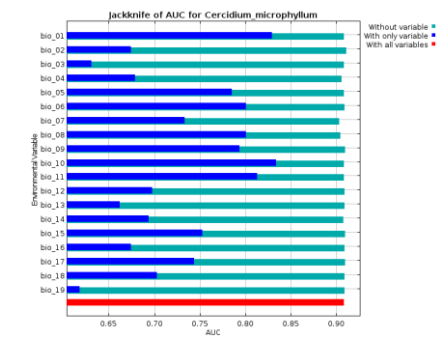
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



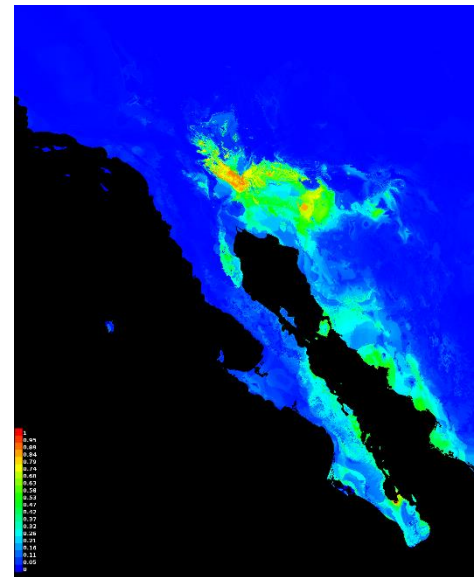
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

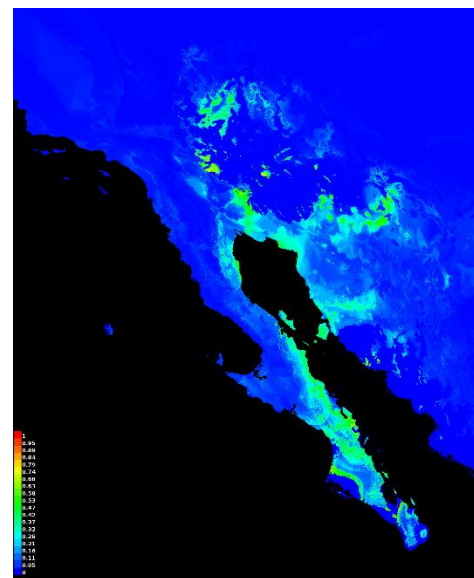
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_01	27.4	17.8
bio_10	13.1	6.5
bio_11	9.9	7.3
bio_07	6.3	10.2
bio_08	6.1	5.3
bio_02	5.2	8.3
bio_16	4.5	1.2
bio_17	3.9	6.1
bio_04	3.6	8.7
bio_05	3.3	2.7
bio_18	3.3	4
bio_13	3.3	6.3
bio_03	3	2.8
bio_12	1.6	4.7
bio_06	1.4	0.4
bio_15	1.3	2.3
bio_19	1	1.3
bio_09	1	1.5
bio_14	0.8	2.8

ANEXO VII. FICHA DEL MODELO DE *Condalia globosa*

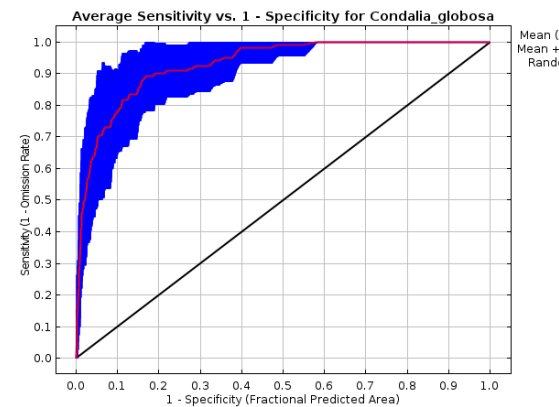
El modelo de Distribución potencial de *Condalia globosa* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 113 registros de presencia para la construcción del modelo y seis para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.930 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



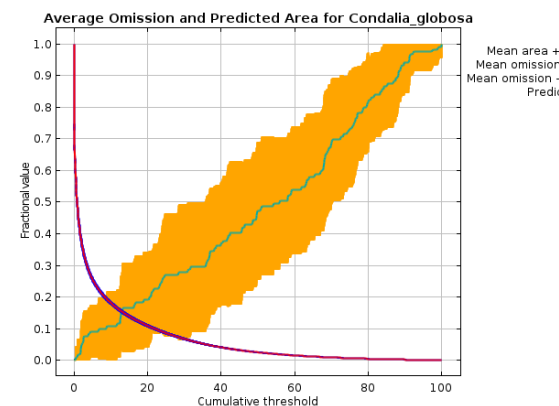
Modelo de Distribución Potencial Presente



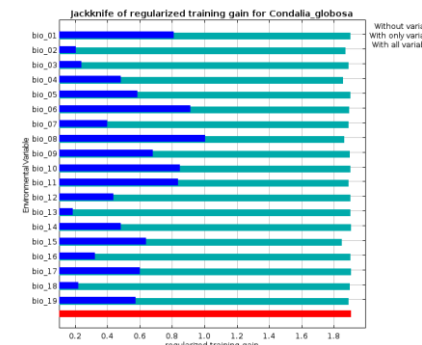
Modelo de Distribución Potencial Futuro



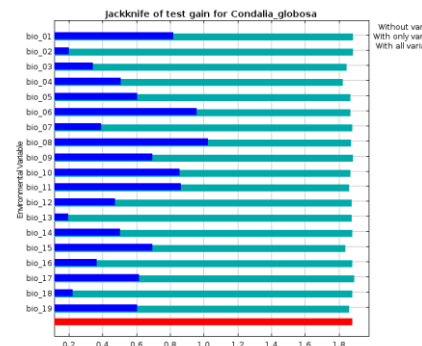
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



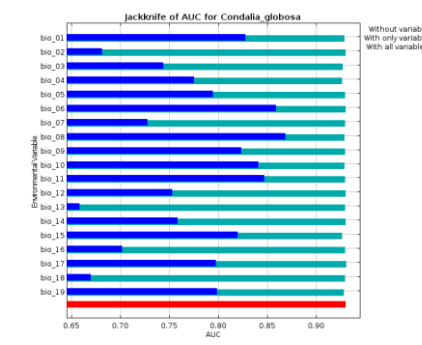
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



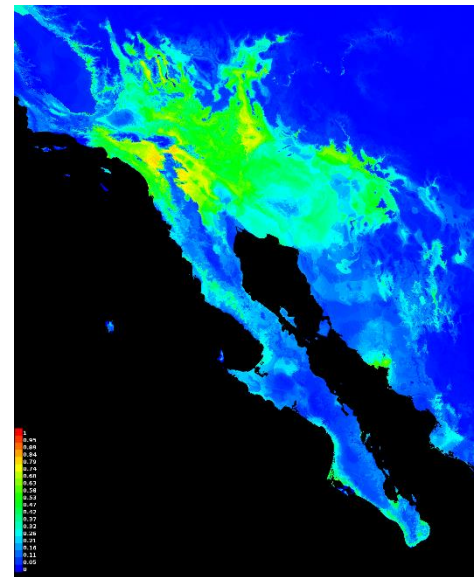
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

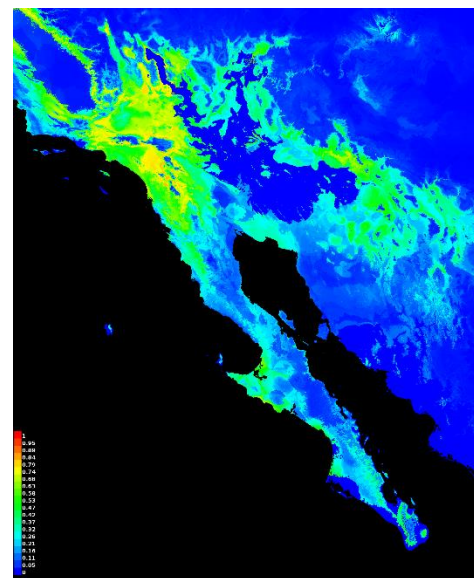
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_08	35.2	31
bio_06	17.8	1.3
bio_04	9.7	13.6
bio_15	6.5	16.8
bio_02	5.1	8.5
bio_17	4.1	0.2
bio_11	3.6	3.9
bio_03	3.5	6.2
bio_07	3.3	6.1
bio_12	2.5	0.5
bio_16	2.2	0.1
bio_19	1.7	4.4
bio_10	1.3	0.4
bio_05	1.2	0.7
bio_09	1.1	1.4
bio_18	0.6	1.1
bio_01	0.4	2.7
bio_13	0.3	1.1
bio_14	0	0

ANEXO VIII. FICHA DEL MODELO DE *Encelia farinosa*

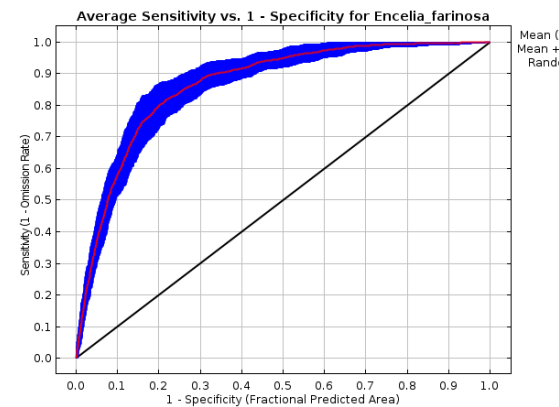
El modelo de Distribución potencial de *Encelia farinosa* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 1027 registros de presencia para la construcción del modelo y 54 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.866 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



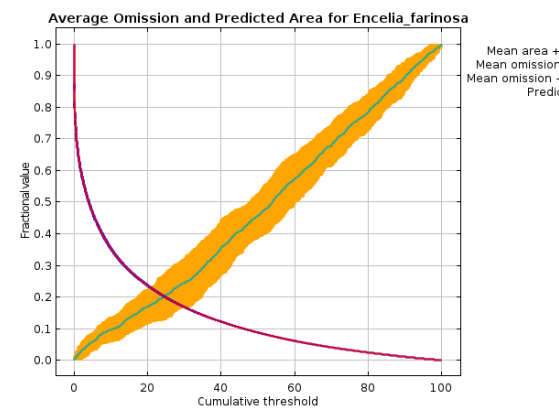
Modelo de Distribución Potencial Presente



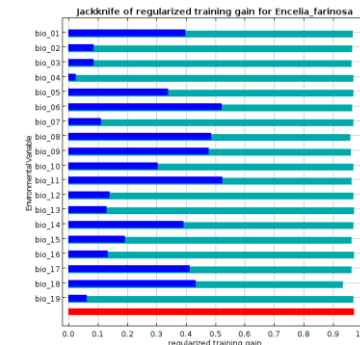
Modelo de Distribución Potencial Futuro



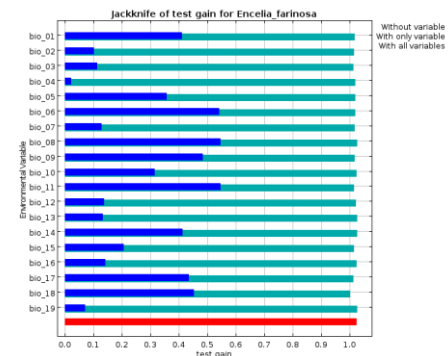
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



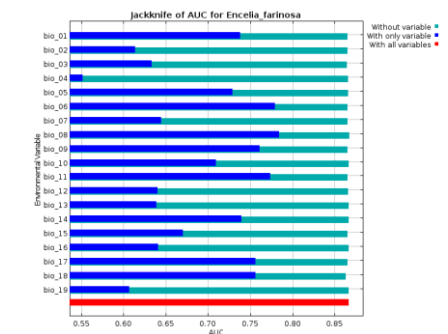
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



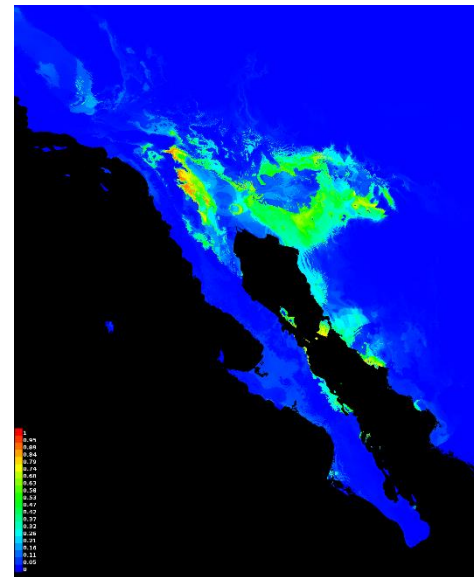
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

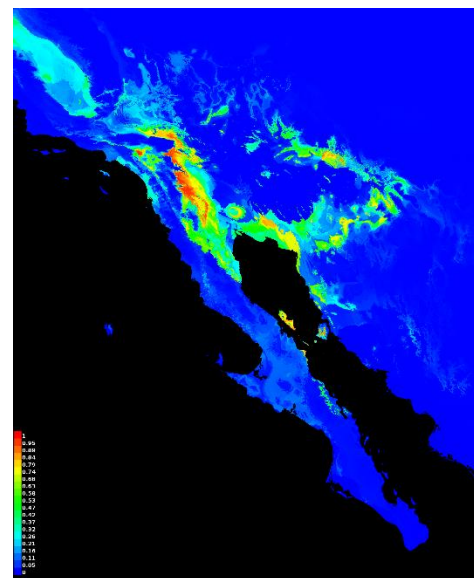
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_09	28.1	6.6
bio_18	22	27.9
bio_11	19.5	8.3
bio_08	8.7	3.5
bio_03	4.6	4.4
bio_01	2.8	4.8
bio_06	2.7	11
bio_17	2.4	13.7
bio_05	2.2	1.1
bio_15	1.7	5.8
bio_02	1.4	2.1
bio_19	0.9	1.5
bio_04	0.7	1.6
bio_07	0.7	1.7
bio_16	0.6	0.5
bio_10	0.6	3
bio_12	0.3	0.4
bio_13	0.2	0.2
bio_14	0.1	1.9

ANEXO IX. FICHA DEL MODELO DE *Horsfordia newberryi*

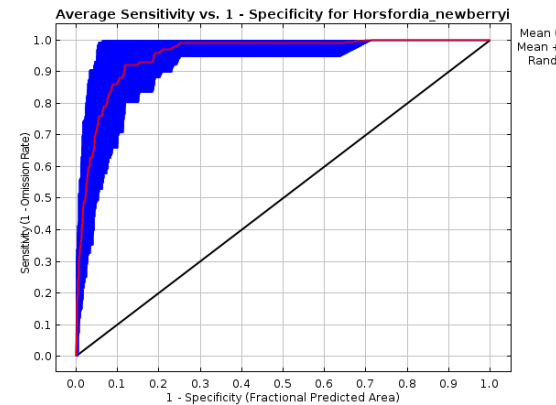
El modelo de Distribución potencial de *Horsfordia newberryi* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 95 registros de presencia para la construcción del modelo y cinco para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.952 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



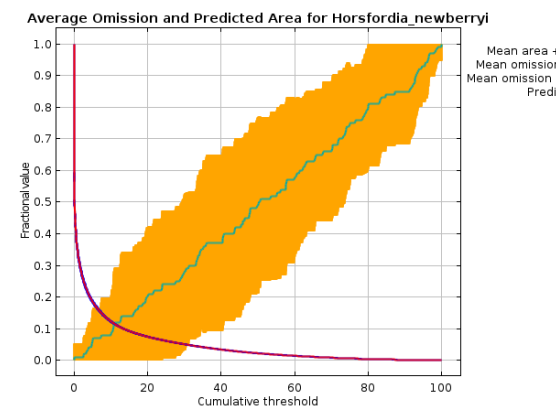
Modelo de Distribución Potencial Presente



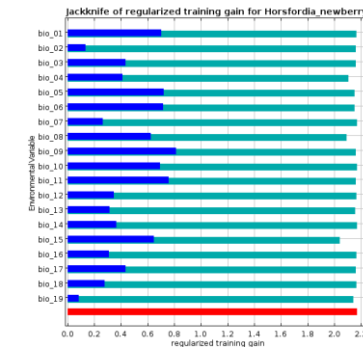
Modelo de Distribución Potencial Futuro



Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



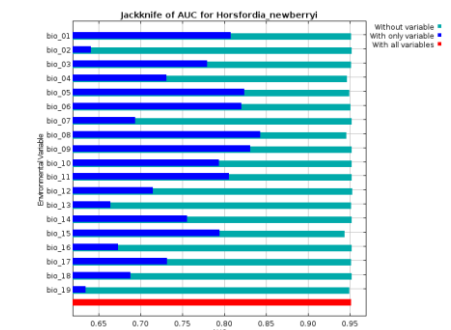
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



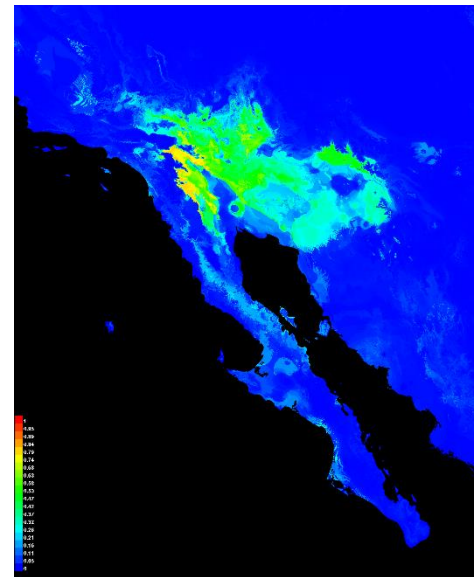
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

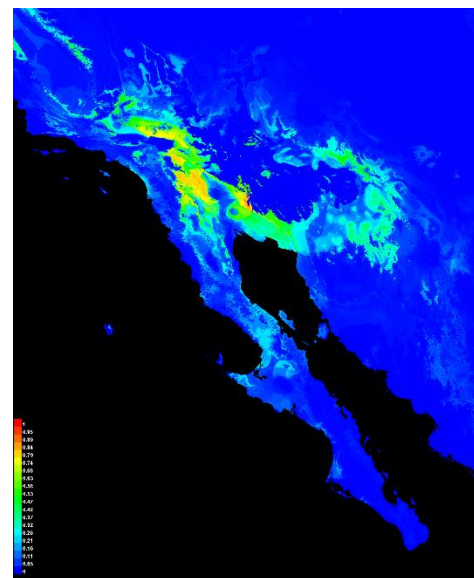
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_09	22.3	4
bio_11	15.6	5.3
bio_15	15.6	16
bio_04	12	23.1
bio_16	7.7	4.5
bio_08	5.8	6.9
bio_06	4.5	16.7
bio_13	4.2	6.5
bio_19	3.5	8.6
bio_02	1.4	1.5
bio_12	1.3	0.3
bio_03	1.1	0.4
bio_05	1.1	2
bio_17	1.1	1.5
bio_18	1	1
bio_01	0.7	0.7
bio_10	0.7	0.1
bio_07	0.6	0.6
bio_14	0.1	0.2

ANEXO X. FICHA DEL MODELO DE *Hyptis emoryi*

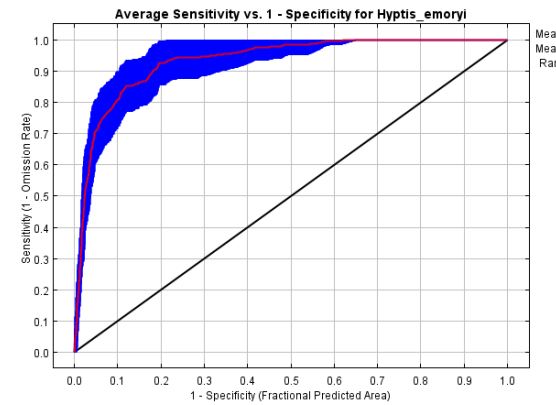
El modelo de Distribución potencial de *Hyptis emoryi* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 310 registros de presencia para la construcción del modelo y 16 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.933 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



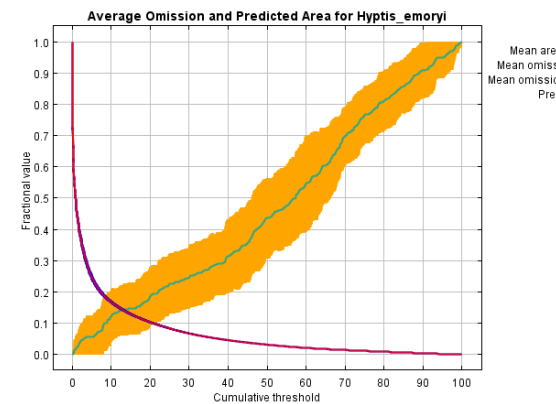
Modelo de Distribución Potencial Presente



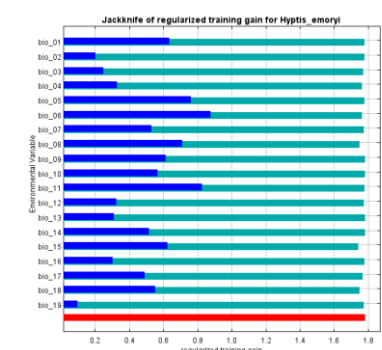
Modelo de Distribución Potencial Futuro



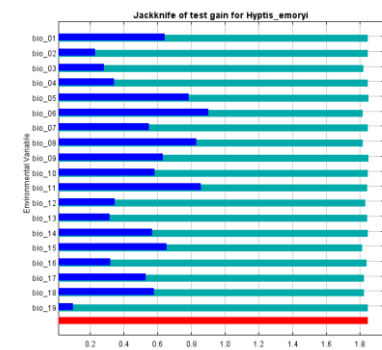
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



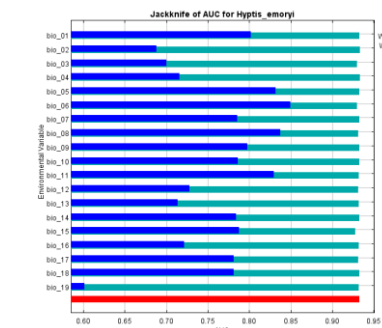
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



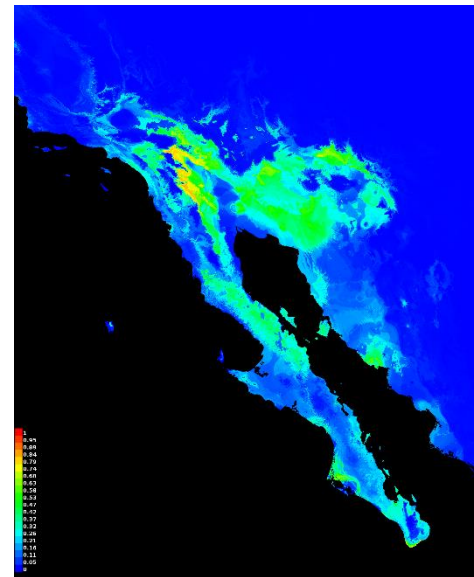
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

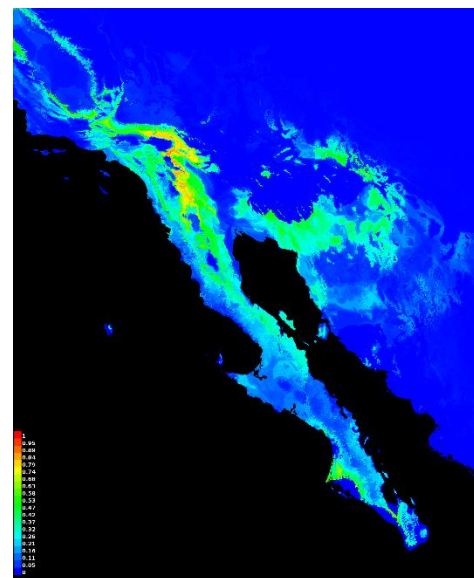
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_05	18.3	1.6
bio_15	15.4	16.6
bio_11	14.8	3.2
bio_06	12.4	31
bio_18	10.4	7.9
bio_08	7.1	5.1
bio_03	5.5	8.2
bio_07	5	7.5
bio_04	4.3	6.9
bio_17	2.9	2.4
bio_12	0.9	4.7
bio_02	0.9	1.5
bio_19	0.8	2.1
bio_14	0.4	0
bio_01	0.3	0.3
bio_16	0.1	0.4
bio_09	0.1	0.5
bio_10	0.1	0
bio_13	0.1	0.2

ANEXO XI. FICHA DEL MODELO DE *Justicia californica*

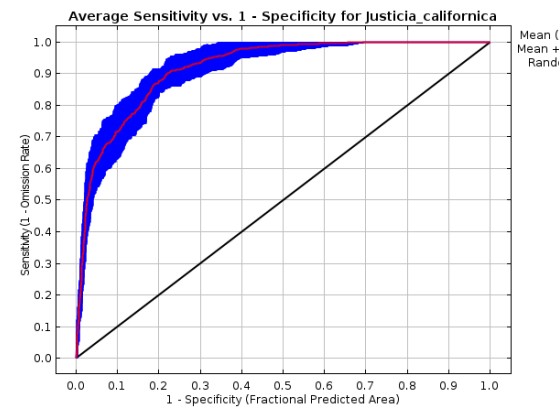
El modelo de Distribución potencial de *Justicia californica* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 430 registros de presencia para la construcción del modelo y 22 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.918 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



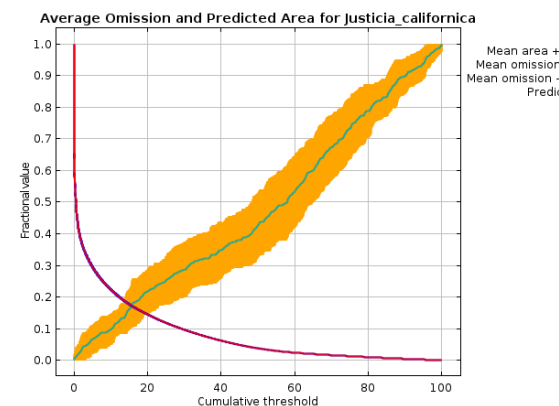
Modelo de Distribución Potencial Presente



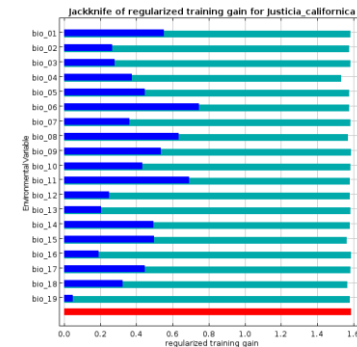
Modelo de Distribución Potencial Futuro



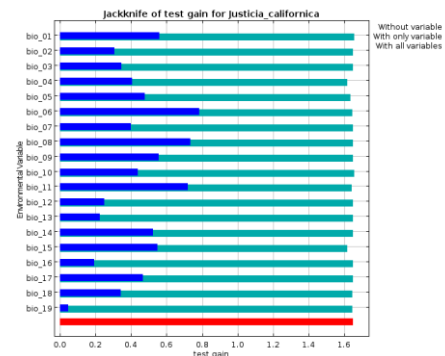
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



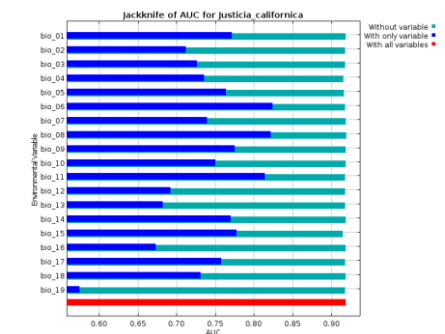
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



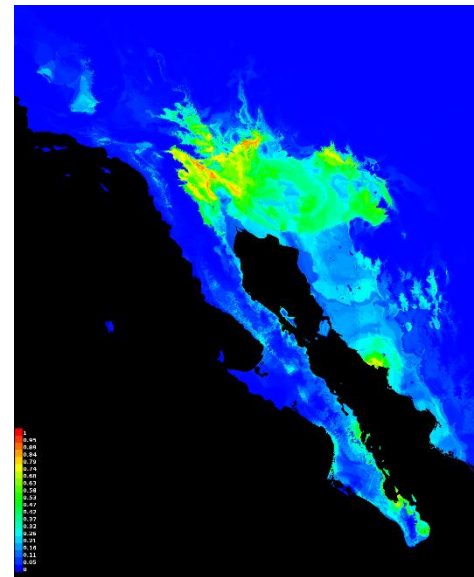
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

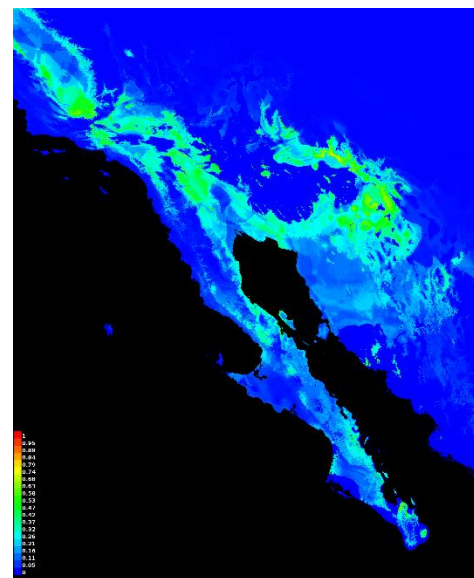
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_11	21	6.8
bio_06	14.4	20
bio_04	13.6	34.8
bio_15	11.4	6.4
bio_08	11	2.9
bio_09	4.8	0.5
bio_03	3.7	0.8
bio_14	3.7	2.2
bio_12	3.3	1.3
bio_18	2.9	4.4
bio_02	2.8	4.1
bio_05	2.1	6.7
bio_10	1.3	0.6
bio_07	1.2	1.1
bio_16	1	1
bio_19	0.8	2
bio_17	0.7	0.6
bio_13	0.3	1.9
bio_01	0.2	1.6

ANEXO XII. FICHA DEL MODELO DE *Olneya tesota*

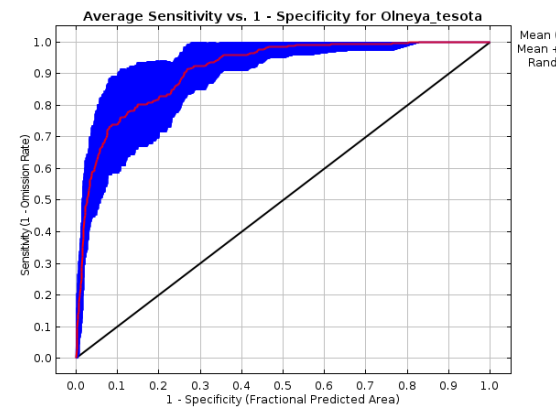
El modelo de Distribución potencial de *Olneya tesota* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 188 registros de presencia para la construcción del modelo y 10 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.913 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



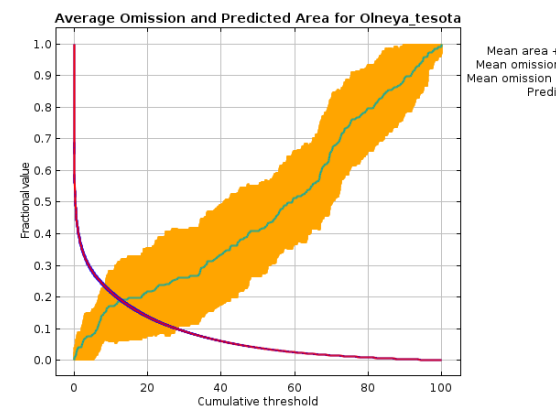
Modelo de Distribución Potencial Presente



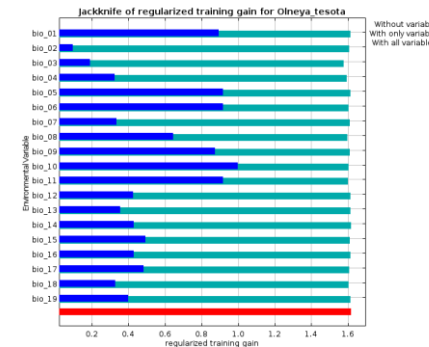
Modelo de Distribución Potencial Futuro



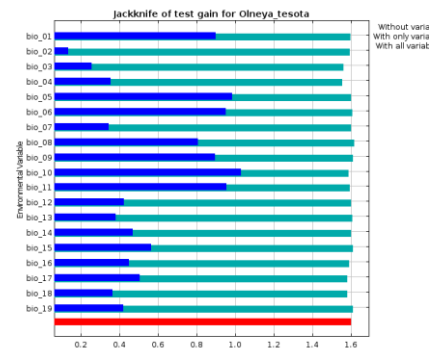
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



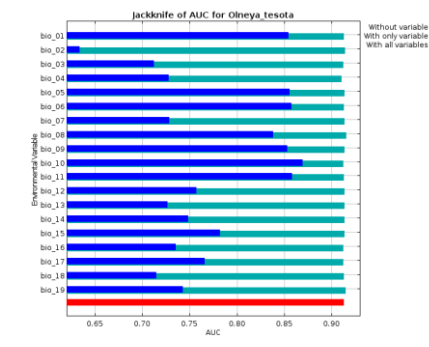
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



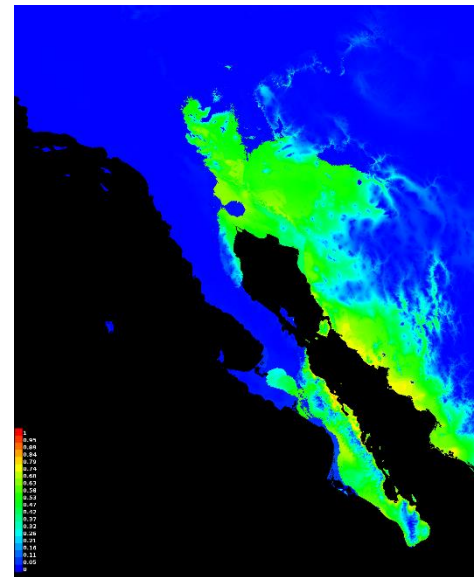
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

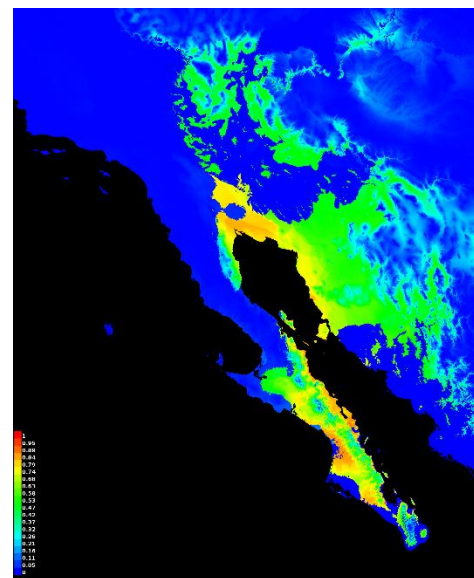
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_10	20.4	19.8
bio_11	18.4	8.7
bio_05	11	0.8
bio_06	10.4	18
bio_09	8.3	4.7
bio_03	8.2	12.7
bio_01	4.6	0.5
bio_18	3.8	3.1
bio_08	3.4	2.2
bio_04	2.5	8.3
bio_07	2.1	3
bio_02	1.6	2.5
bio_13	1.3	4.3
bio_17	1	5.7
bio_15	0.9	2.2
bio_16	0.9	0.6
bio_12	0.8	1.1
bio_19	0.3	1.7
bio_14	0	0

ANEXO XIII. FICHA DEL MODELO DE *Pachycereus schottii*

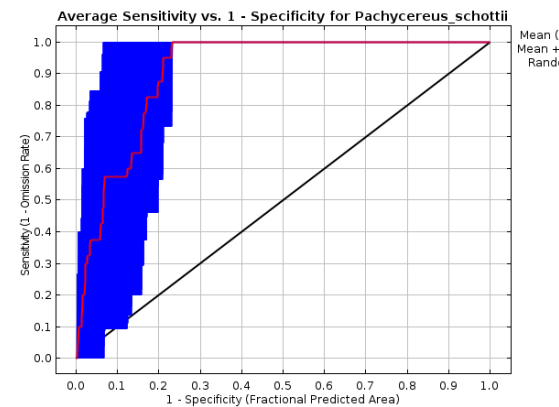
El modelo de Distribución potencial de *Pachycereus schottii* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 21 registros de presencia para la construcción del modelo y uno para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.905 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



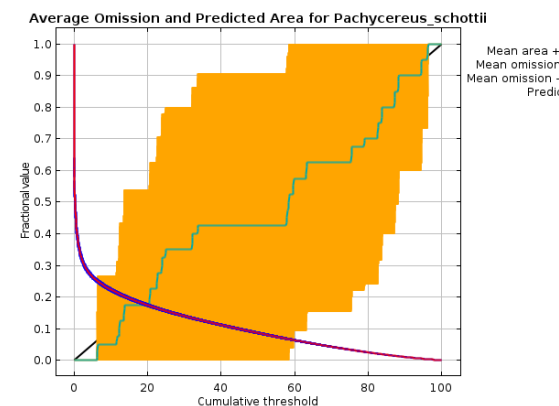
Modelo de Distribución Potencial Presente



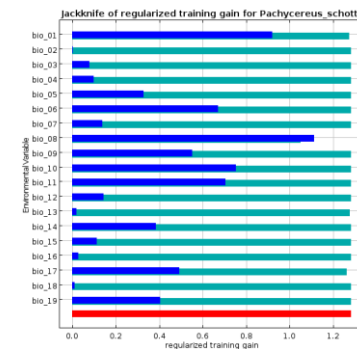
Modelo de Distribución Potencial Futuro



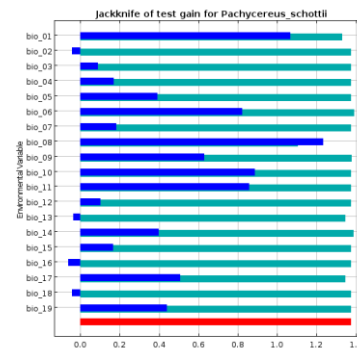
Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



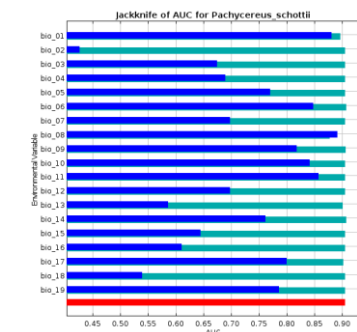
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



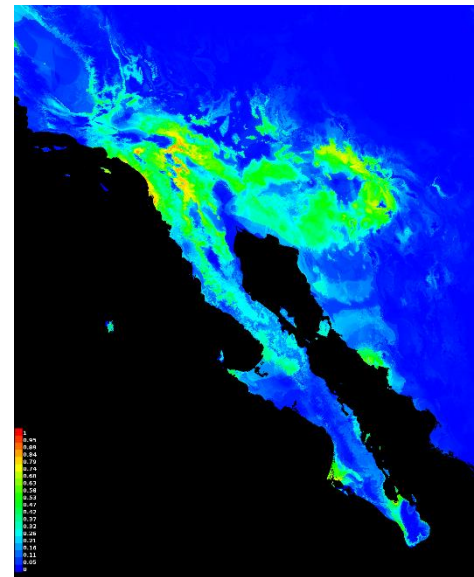
Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

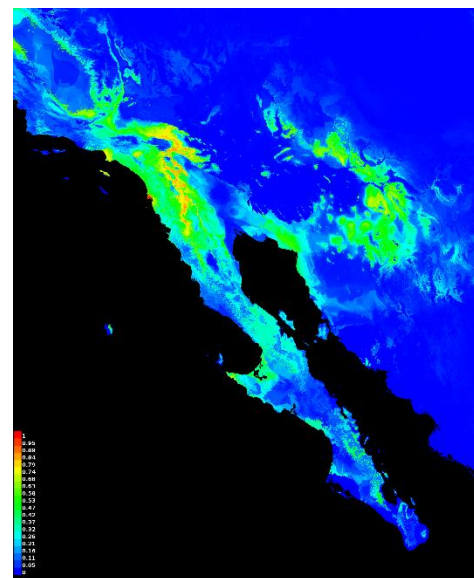
Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_08	75.5	82.4
bio_17	11.7	7.7
bio_01	5.4	9.2
bio_06	2.7	0.1
bio_11	2	0
bio_10	1.1	0
bio_13	0.6	0.5
bio_14	0.4	0.1
bio_09	0.3	0
bio_12	0.1	0
bio_19	0.1	0
bio_16	0	0
bio_18	0	0
bio_03	0	0
bio_04	0	0
bio_15	0	0
bio_05	0	0
bio_02	0	0
bio_07	0	0

ANEXO XIV. FICHA DEL MODELO DE *Simmondsia chinensis*

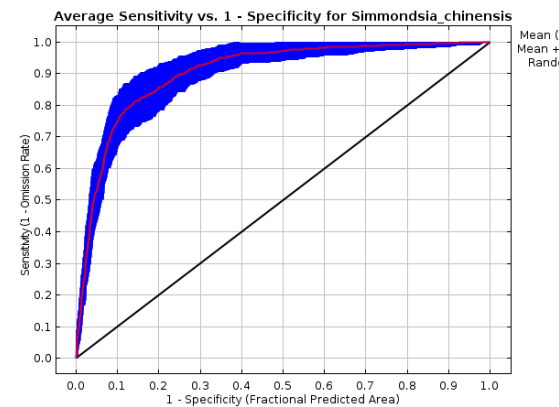
El modelo de Distribución potencial de *Simmondsia chinensis* generado con Maxent 3.3.3k, el resultado es el valor medio de 20 réplicas para el cual se emplearon las 19 variables bioclimáticas procedentes de wordclim (www.worldclim.com) para los escenarios presentes (1950-2000) y el escenario de cambio climático RCP85-2050, y 528 registros de presencia para la construcción del modelo y 28 para la evaluación del mismo. Presentó un valor de evaluación medio de AUC de 0.904 mediante el método de ROC. A continuación se muestran los mapas de distribución potencial actual, distribución potencial futura, las gráficas de validación de ROC, la curva de omisión-predicción, las tablas de contribución media de cada variable, así como las gráficas de Jackknife



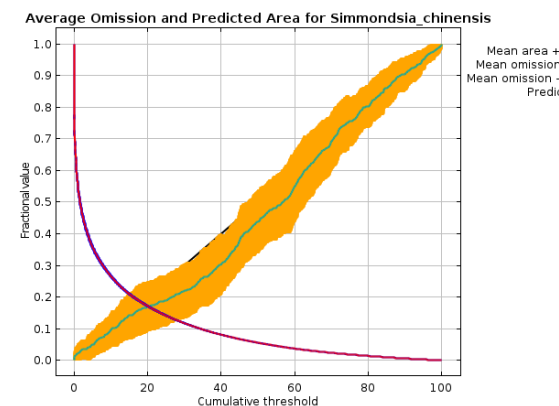
Modelo de Distribución Potencial Presente



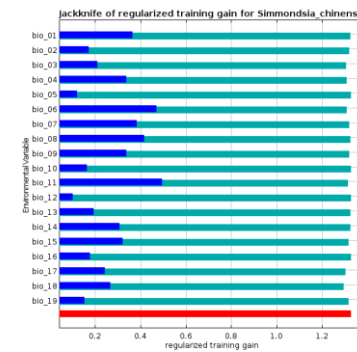
Modelo de Distribución Potencial Futuro



Gráfica ROC para Validación del Modelo Mediante el Valor de AUC



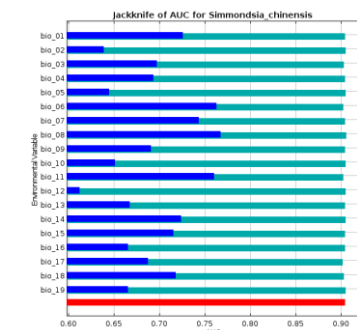
Gráfica de Omisión y Predicciones Área



Jackknife de la prueba de importancia de las variables.



Jackknife de la prueba de validación



Jackknife del AUC

Tabla de valores de contribución de las variables bioclimáticas en la construcción del modelo

Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de permutación
bio_06	24.6	20.4
bio_04	10.1	18.1
bio_13	9.9	5.4
bio_07	7.6	4.7
bio_15	6.8	4.1
bio_18	6.6	11.1
bio_09	6.1	4.1
bio_08	5.9	0.2
bio_19	5.9	1.9
bio_11	4.3	4.2
bio_03	4.1	6.3
bio_17	3.3	15.1
bio_02	2.6	1.4
bio_14	1	1
bio_10	0.6	0.6
bio_16	0.5	0.3
bio_01	0.2	0.6
bio_05	0.1	0.2
bio_12	0	0.3

**ANEXO XV. TABLA CON LOS VALORES DE AUC DE LA CURVA ROC POR ESPECIE PARA LAS 20
REPLICAS**

	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	<i>Ambrosia dumosa</i>	<i>Asclepias subulata</i>	<i>Atriplex polycarpa</i>	<i>Bursera microphylla</i>	<i>Cercidium microphyllum</i>	<i>Condalia globosa</i>	<i>Encelia farinosa</i>	<i>Horsfordia newberryi</i>	<i>Justicia californica</i>	<i>Olneya tesota</i>	<i>Pachycereus schottii</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>
modelo 1	0.7939	0.8808	0.8757	0.9001	0.895	0.7632	0.9594	0.822	0.9631	0.9312	0.8969	0.8344	0.847
modelo 2	0.8646	0.8884	0.8585	0.9096	0.9349	0.9236	0.9642	0.8677	0.9686	0.9303	0.8465	0.9079	0.8991
modelo 3	0.7992	0.9103	0.886	0.8582	0.9304	0.9386	0.9057	0.8364	0.9333	0.9002	0.8357	0.9321	0.8872
modelo 4	0.8087	0.8893	0.8512	0.9125	0.9254	0.9791	0.9587	0.9136	0.8921	0.9072	0.9396	0.8667	0.9333
modelo 5	0.8548	0.8924	0.9095	0.8693	0.9358	0.9626	0.9722	0.8616	0.9857	0.8831	0.8958	0.803	0.9004
modelo 6	0.925	0.9138	0.8998	0.8902	0.9034	0.8561	0.8859	0.8739	0.982	0.9288	0.9668	0.9333	0.8686
modelo 7	0.8531	0.8692	0.9243	0.9192	0.9206	0.8722	0.9315	0.8622	0.9859	0.9429	0.9131	0.9941	0.9448
modelo 8	0.9101	0.9088	0.7969	0.9032	0.9155	0.9586	0.9088	0.8727	0.9536	0.8978	0.9167	0.9416	0.8649
modelo 9	0.902	0.8958	0.8702	0.8271	0.9345	0.9836	0.9769	0.8981	0.9706	0.9543	0.9614	0.7906	0.9356
modelo 10	0.8686	0.8929	0.8717	0.8649	0.8904	0.8942	0.9471	0.8388	0.9568	0.8962	0.9247	0.9661	0.9111
modelo 11	0.9355	0.9028	0.9204	0.9104	0.9113	0.904	0.903	0.8344	0.9426	0.927	0.9384	0.8306	0.8865

	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	<i>Ambrosia dumosa</i>	<i>Asclepias subulata</i>	<i>Atriplex polycarpa</i>	<i>Bursera microphylla</i>	<i>Cercidium microphyllum</i>	<i>Condalia globosa</i>	<i>Encelia farinosa</i>	<i>Horsfordia newberryi</i>	<i>Justicia californica</i>	<i>Oleña tesota</i>	<i>Pachycereus schottii</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>
modelo 12	0.93	0.9133	0.8881	0.8909	0.9427	0.948	0.9776	0.8753	0.8926	0.9256	0.9215	0.9358	0.95
modelo 13	0.9104	0.8887	0.9041	0.8994	0.8999	0.7222	0.8976	0.8837	0.9248	0.9033	0.8852	0.996	0.9452
modelo 14	0.9447	0.9156	0.9087	0.8618	0.9157	0.9359	0.9854	0.8963	0.9885	0.8894	0.9022	0.8424	0.8973
modelo 15	0.8888	0.9117	0.8904	0.8507	0.8938	0.9299	0.8776	0.868	0.9583	0.9044	0.8771	0.9784	0.8898
modelo 16	0.8144	0.8777	0.8537	0.9145	0.9527	0.9592	0.9256	0.8811	0.9931	0.9319	0.9297	0.9849	0.8798
modelo 17	0.7734	0.9097	0.8658	0.8751	0.8985	0.9179	0.9065	0.9055	0.9538	0.9511	0.8962	0.8374	0.935
modelo 18	0.9013	0.8868	0.9018	0.885	0.8887	0.969	0.853	0.8352	0.9948	0.9209	0.9492	0.9861	0.8862
modelo 19	0.8675	0.9016	0.8632	0.9101	0.9002	0.8872	0.9106	0.8284	0.9678	0.921	0.8806	0.7701	0.9176
modelo 20	0.8879	0.8909	0.8755	0.8853	0.9076	0.8627	0.9527	0.8685	0.8282	0.9165	0.9823	0.979	0.9102
media	0.8717	0.897	0.8808	0.8869	0.9149	0.9084	0.93	0.8662	0.9518	0.9182	0.913	0.9055	0.9045
máximo	0.9447	0.9156	0.9243	0.9192	0.9527	0.9836	0.9854	0.9136	0.9948	0.9543	0.9823	0.996	0.95
mínimo	0.7734	0.8692	0.7969	0.8271	0.8887	0.7222	0.853	0.822	0.8282	0.8831	0.8357	0.7701	0.847