



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD IZTAPALAPA**

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

**“Distribución potencial de los géneros *Picea* y  
*Juniperus* en México durante el Último Máximo  
Glacial”**

**TESIS**

QUE PRESENTA:

Luis Alonso Castro López  
Matrícula 2173801273

Para obtener el grado de  
**Maestro en Biología**

Directora de tesis:  
Dra. Claudia Ballesteros Barrera

Jurado:  
M. en C. Angélica Martínez Bernal  
Dra. María del Rocío Zárate Hernández  
Dr. Constantino González Salazar  
Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa

Iztapalapa, Ciudad de México, octubre de 2020

La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al  
Padrón de Posgrados de Calidad del CONACyT.

**El jurado designado por la  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó**

**Luis Alonso Castro López**

El día 5 de octubre del año de 2020

*Comité Tutorial y Jurado*

**Directora:** Dra. Claudia Ballesteros Barrera



**Asesora:** Dra. María del Rocío Zarate Hernández



**Asesora:** M. en C. Angélica Martínez Bernal



**Sinodal:** Dr. Constantino González Salazar



**Sinodal:** Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa



### Declaración de Originalidad

El (La) que suscribe Luis Alonso Castro López,  
alumno (a) del posgrado de la Maestría en Biología,  
de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana  
Iztapalapa y autor(a) de la tesis o idónea comunicación de resultados titulada: "Distribución potencial  
de los géneros *Picea* y *Juniperus* en México durante el Último Máximo Glacial",

Declaro que:

1. La tesis o idónea comunicación de resultados que presento ante el H. Jurado  
para lo obtención del grado de Maestro en Biología es de mi autoría y original  
creación, producto del resultado de mi trabajo de investigación personal e individual; el cual  
cuenta con las correspondientes citas textuales del material bibliográfico utilizado y con el  
debido otorgamiento de los créditos autorales.
2. En la tesis o idónea comunicación de resultados no he reproducido párrafos completos;  
ilustraciones, fotografías, diagramas, cuadros y tablas, sin otorgamiento del crédito autoral y  
fuente correspondiente.
3. En consecuencia, relevo de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma Metropolitana  
de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que  
se considere con derecho sobre la tesis o idónea comunicación de resultados, respondiendo  
por la autoría y originalidad de la misma, asumiendo todas las consecuencias económicas y  
jurídicas si ésta no fuese de mi creación.

La presente declaración de originalidad se firma en la Ciudad de México el 21 de septiembre del  
2020.

Atentamente

Castro López Luis Al  
Luis Alonso Castro López

Nombre y firma del alumno

*Este documento debe ser firmado con tinta azul y debe anexarse copia en la tesis o idónea comunicación de  
resultados (tesina, reporte, etc.), el documento original será conservado por el Coordinador del Posgrado.*

## **DEDICATORIA**

Para mis padres, quienes han dado tanto por mí para llegar a este momento. Ahora es mi turno de devolverles parte de lo han hecho por mí. Confíen en la educación y conocimientos que me han dado, que, con ellos, sabré salir adelante.

## AGRADECIMIENTOS

A la UAM-I, por permitirme adentrarme más en el mundo de la ciencia y permitirme mejorar aún más como persona.

A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), quién apoyó el desarrollo de este trabajo mediante la beca otorgada, con número (CVU/Becario): **850429/634740**.

A mi comité tutorial:

A la Doctora Claudia Ballesteros Barrera, por haberme brindado la oportunidad de continuar con mi preparación académica, permitiéndome trabajar con lo que más me gusta. Por su tiempo, paciencia y apoyo en la realización de este trabajo. No solo por preocuparse por la parte académica, también por la relación con los demás integrantes del grupo de investigación y propiciar el trabajo en equipo. Gracias por esta experiencia.

A la Maestra Angélica Martínez Bernal, por su apoyo y sugerencias en la elaboración de este trabajo. Le agradezco las veces que me ayudo proporcionándome nueva información para mejorar mi trabajo, con el apoyo en las visitas a los herbarios y, sobre todo, por la bienvenida que me dio en su espacio de trabajo.

A la Doctora María del Rocío Zárate, por sus observaciones para mejorar la calidad de la investigación y que fuera más clara. Le agradezco su disponibilidad y apoyo para facilitar el desarrollo y conclusión de la maestría.

A mis sinodales:

Al Doctor Jorge Alberto Pérez de la Rosa, quien no solo fungió como revisor de la tesis, también fue quien me acercó más al mundo de las coníferas, confirmando lo interesante que son las plantas y las posibilidades tan amplias que existen en la investigación. Se preocupó por que conociera las coníferas, no solo en una imagen, si no en la naturaleza, aunque faltara el tiempo para conocer más de ellas.

Al Doctor Constantino González Salazar, por sus comentarios y sugerencias al trabajo, que me permitieron tener otra visión del mismo y poder mejorarlo. También por contribuir en conocimientos al inicio de la maestría, con quien pude aprender sobre parte de las bases de los modelos de nicho.

Finalmente, a las personas que contribuyeron de deferentes formas durante mi paso por la Maestría en Biología: les agradezco a Octavio Rojas, Andrés Lira, Claudio Mota, Julián Velasco, Socorro Lozano, Margarita Caballero, Georgina Vargas y Montserrath Medina Acosta.

Por otra parte, en cada etapa conocemos a diferentes personas, algunas solo están durante una parte del camino, mientras que otras te acompañan por más tiempo. En el lapso de la maestría conviví con algunas personas que me apoyaron de una u otra manera y que hicieron varios momentos más agradables y llevaderos.

Les agradezco a Alejandra, Karen y Mariela, con quienes me lleve bien durante toda la maestría. No solo hubo el apoyo dentro de las clases, también convivimos fuera de

la escuela, compartimos algunas inquietudes y nos apoyamos en lo que podíamos. Pienso que fue una etapa agradable y más con compañeras como ustedes.

También agradezco a todos mis compañeros de investigación en el "C4", a Santiago, Sandra, Lizzi, Oscar y Zuriel. No pude tratar a todos por igual, pero me ofrecieron, no solo apoyo, también un compañerismo que pocas veces he visto. A veces es difícil integrarse en un grupo, pero ustedes me ayudaron a integrarme al equipo.

Quiero agradecerle en especial a Sandra, con quien conviví más, tal vez en un inicio por lo relación en nuestros temas de investigación, pero creo que llegamos a trabajar bien en equipo y a llevarnos bien durante los congresos. Aunque suelo ser una persona cerrada, me tuviste paciencia en eso y la verdad es que disfrute de tu compañía.

También le agradezco a Lizzi, por la ayuda que me brindo, es curioso que en un principio no hablamos mucho, pero cuando me acercaba para aclarar dudas en mi trabajo, era a quien encontraba más seguido. Compartimos opiniones, hablábamos de otros temas y el tiempo se pasaba volando. Me alegra haber conocido a una persona como tú.

Además, tuve el apoyo de amigos que han estado conmigo desde tiempo atrás, Ale, Oscar, Jessica, me han dado ánimos de diferentes maneras. Ustedes que saben más de como soy, así como de los problemas que llego a tener, me alegra tenerlos a mi lado, sé que cuando sea necesario, puedo contar con ustedes.

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres, que les debo tanto, me dieron uno de los mejores regalos, la educación. Disfruto de poder aprender siempre cosas nuevas y si no fuera por ustedes, mis oportunidades de llegar hasta aquí, hubieran sido menos.

## RESUMEN

Los géneros *Picea* (Pinaceae) y *Juniperus* (Cupressaceae), forman parte de los principales bosques de coníferas en México. Para el primero se reportan tres especies endémicas, que se localizan únicamente en el norte del país. Para el segundo género, se reportan 20 especies, ampliamente distribuidas en México, nueve de ellas endémicas y el resto compartidas entre Canadá, Estados Unidos y Guatemala. Sin embargo, hace 22,000 años, durante el Último Máximo Glacial (UMG), los patrones de temperatura y precipitación eran distintos a los actuales, por lo que las especies pudieron haber tenido distribuciones geográficas diferentes a las del presente e ir modificando paulatinamente su distribución desde entonces hasta la actualidad.

Bajo esta premisa, los objetivos de este trabajo fueron: 1) obtener la distribución potencial de las tres especies de *Picea* y 20 de *Juniperus*, para la época actual y durante el UMG, además 2) analizar los cambios ambientales y las modificaciones en la distribución geográfica que pudieran presentar cada una de las especies.

Se obtuvieron registros de localidades provenientes de diversas fuentes de datos. Se emplearon las coberturas climáticas de WorldClim, además de tres variables topográficas, así como los escenarios climáticos CCSM4 y MIROC-ESM. Los modelos se obtuvieron con el programa MaxEnt y los mapas se visualizaron en el programa ArcMap.

Los resultados muestran que el clima del UMG benefició la expansión de las tres especies de *Picea* y nueve especies de *Juniperus*, principalmente *J. monticola* y *J. zanonii*, en contraparte, el clima actual ha beneficiado la expansión de las otras 11 especies, en especial de *J. angosturana*. Además, en el pasado las especies se

encontraron a menores altitudinales y latitudinales. Se observa que las especies pudieron encontrarse en condiciones de menor temperatura y humedad, esto podría indicar que, tanto los pinabetes como los juníperos, tienen rangos de tolerancia más amplios de los que son posible observar en la actualidad.

**Palabras clave:** Modelos de Nicho Ecológico, Cambio Climático, Último Máximo Glacial, Distribución Potencial, Juníperos, Píceas.

## ABSTRACT

The genera *Picea* (Pinaceae) and *Juniperus* (Cupressaceae) are part of the main coniferous forests in Mexico. For the first, three endemic species are reported, which are located only in the north of the country. For the second genus, 20 species are reported, widely distributed in Mexico, nine of them endemic and the rest shared between Canada, the United States and Guatemala. However, 22,000 years ago, during the Last Glacial Maximum (LGM), the temperature and precipitation patterns were different from the current ones, so that the species may have had different geographic distributions from the present and gradually modify their distribution since then until today.

Under this premise, the objectives of this work were: 1) to obtain the potential distribution of the three species of *Picea* and 20 of *Juniperus*, for the current time and during the LGM, in addition 2) to analyze environmental changes and modifications in the distribution geographic area that each of the species might present.

Locality records were obtained from various data sources. Climate coverages of WorldClim were used, in addition to three topographic variables, as well as the CCSM4 and MIROC-ESM climate scenarios. The models were obtained with the MaxEnt program and the maps were viewed in the ArcMap program.

The results show that the LGM climate benefited the expansion of the three species of *Picea* and nine species of *Juniperus*, mainly *J. monticola* and *J. zanonii*, on the other hand, the current climate has benefited the expansion of the other 11 species, especially by *J. angosturana*. Furthermore, in the past the species were found at lower elevational and latitudinal levels. It is observed that the species could be found in

conditions of lower temperature and humidity, this could indicate that both spruces and junipers have broader ranges of tolerance than those that can be observed at present.

**Key words:** Ecological Niche Models, Climate Change, Last Glacial Maximum, Potential Distribution, Junipers, Spruces.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
Coníferas de México.....	4
Los géneros <i>Picea</i> y <i>Juniperus</i> .....	6
Último Máximo Glacial (UMG) .....	10
Área de distribución geográfica y nicho ecológico .....	14
Modelos de nicho ecológico y distribución potencial .....	15
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>20</b>
Objetivos Particulares .....	20
<b>MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
Elección de géneros y especies .....	21
Bases de datos y colecciones científicas .....	22
Depuración y validación de datos .....	24
Variables ambientales, topográficas y delimitación del área accesible (M) .....	26
Selección de variables climáticas .....	29
Modelos de nicho ecológico (MNE) .....	30
Modelos de distribución de especies .....	32
Caracterización ambiental en el presente y en el UMG .....	33
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
Géneros y especies.....	36
Base de datos y Colecciones científicas.....	36
Distribución conocida de especies-Provincias Fisiográficas .....	41
Relación con el ambiente .....	50
Modelos de distribución de especies .....	53
Análisis del clima actual y durante el UMG.....	92
Modelos de nicho ecológico .....	94
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>97</b>

Localidades de colecta .....	97
Distribución potencial.....	99
Espacio ambiental .....	110
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>115</b>
<b>FUENTES ELECTRÓNICAS.....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>138</b>
Anexo I. Resultados del análisis de componentes principales (PCA).....	138
Anexo II. Datos promedio por especie para siete variables ambientales .....	139
Anexo III. Histogramas por especie .....	140
Anexo IV. Mapas de distribución potencial presente .....	147
Anexo V. Condiciones ambientales de los MDE por especie .....	160
Anexo VI. Distribución potencial por género durante el UMG.....	172

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Porcentaje de aporte de cada institución al total de registros de las especies .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2. Localidades de colecta para las tres especies de Picea.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3. Localidades de colecta de cinco especies endémicas de Juniperus ..</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4. Localidades de colecta de cuatro especies endémicas de Juniperus.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5. Localidades de colecta de dos especies de Juniperus, del sur de México .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 6. Localidades de colecta de tres especies de Juniperus.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 7. Localidades de colecta de tres especies de Juniperus.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 8. Localidades de colecta de Juniperus deppeana .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 9. Localidades de colecta de Juniperus flaccida.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 10. Localidades de colecta de Juniperus scopulorum .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 11. Análisis de componentes principales de las tres especies de Picea</i>	<i>52</i>
<i>Figura 12. Análisis de componentes principales de las 20 especies de Juniperus .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 13. Distribución potencial de Picea chihuahuana .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 14. Distribución potencial de Picea martinezii .....</i>	<i>67</i>

<b>Figura 15. Distribución potencial de <i>Picea mexicana</i> .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 16. Distribución potencial de <i>Juniperus angosturana</i>.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 17. Distribución potencial de <i>Juniperus arizonica</i> .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 18. Distribución potencial de <i>Juniperus ashei</i>.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 19. Distribución potencial de <i>Juniperus blancoi</i> .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 20. Distribución potencial de <i>Juniperus californica</i>.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 21. Distribución potencial de <i>Juniperus comitana</i>.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 22. Distribución potencial de <i>Juniperus coahuilensis</i>.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 23. Distribución potencial de <i>Juniperus deppeana</i> con base en Adams (2014).....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 24. Distribución potencial de <i>Juniperus deppeana</i> con base en Gernandt y Pérez de la Rosa (2014) .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 25. Distribución potencial de <i>Juniperus gamboana</i> con base en Gernandt y Pérez de la Rosa (2014) .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 26. Distribución potencial de <i>Juniperus durangensis</i>.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 27. Distribución potencial de <i>Juniperus flaccida</i> con base en Adams (2014).....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 28. Distribución potencial de <i>Juniperus flaccida</i> con base en Gernandt y Pérez de la Rosa (2014) .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 21. Figura 29. Distribución potencial de <i>Juniperus jaliscana</i>.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 30. Distribución potencial de <i>Juniperus martinezii</i>.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 31. Distribución potencial de <i>Juniperus monosperma</i>.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 32. Distribución potencial de <i>Juniperus monticola</i>.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 33. Distribución potencial de <i>Juniperus pinchotii</i>.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 34. Distribución potencial de <i>Juniperus poblana</i> .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 35. Distribución potencial de <i>Juniperus saltillensis</i> .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 36. Distribución potencial de <i>Juniperus scopulorum</i>.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 37. Distribución potencial de <i>Juniperus standleyi</i> .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 38. Distribución potencial de <i>Juniperus zanonii</i> .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 39. Diferencia de la temperatura promedio anual entre el Presente y el UMG para el escenario CCSM4 .....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Listado de las variables ambientales y topográficas empleadas en este estudio.....</i>	<i>28</i>
<i>Cuadro 2. Listado de especies consideradas en este trabajo .....</i>	<i>38</i>
<i>Cuadro 3. Número de registros de presencia de abetos y juníferos tras los procesos de depuración.....</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 4. Evaluación de modelos con base al área bajo la curva (AUC) y receiver operating characteristics (ROC) parcial; y valores de probabilidad .....</i>	<i>54</i>
<i>Cuadro 5. Área predicha por los modelos para el pasado y el UMG bajo los dos escenarios climáticos y razón de cambio entre los dos periodos de tiempo .....</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 6. Porcentaje de intersección de los nichos de cada especie .....</i>	<i>95</i>

## INTRODUCCIÓN

### Coníferas de México

La diversidad biológica de México se manifiesta, por un lado, por el número de especies animales (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004; Ceballos y Oliva, 2005; Navarro y Gordillo, 2006; Ramírez-Pulido *et al.*, 2008), así como de especies vegetales (Villaseñor, 2016). Sin embargo, también se considera un país megadiverso porque están presentes todos los tipos de vegetación o comunidades vegetales (Miranda y Hernández X., 1963; Rzedowski, 1991; Rzedowski, 2006); lo cual se debe a diversos factores, como los históricos (ej: deriva continental, orogenia, cambio climático, entre otros) (González-Medrano, 1998). La complicada topografía, sumada a las variaciones en la latitud y longitud, así como la extensión de los litorales, influyen en la distribución de la humedad (Rzedowski, 2006), y en conjunto con la temperatura, deriva en un mosaico climático, permitiendo que, de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen (1948), en el país se encuentren registrados cuatro de los cinco tipos principales de clima (tropical A, seco B, templado C y polar de alta montaña E).

La ubicación del país, donde convergen las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical, ha permitido el establecimiento de elementos autóctonos o endémicos, así como la migración de especies procedentes tanto de Sudamérica (meridionales) como de Norteamérica (boreales), siendo con esta última, con quien se mantienen semejanzas florísticas con las diferentes comunidades vegetales de las zonas montañosas de México (Rzedowski, 2006).

Sin embargo, es importante mencionar que, si bien existen elementos leñosos y herbáceos con afinidad boreal, el segundo suele ser escaso, mientras que el

componente arbóreo es el dominante en los encinares y bosques de coníferas (Rzedowski, 2006). Estas comunidades forman parte de los bosques templados de México, los cuales actualmente ocupan el 16.45% de la superficie del territorio nacional, siendo el segundo tipo de vegetación más extenso del país, pero también, han sido de los más afectados por los asentamientos y actividades humanas (Challenger, 2003; Challenger y Soberón, 2008).

En particular, los bosques de coníferas de México se caracterizan por ser comunidades siempre verdes, se encuentran desde el nivel del mar y en su mayoría, en regiones montañosas, en altitudes entre los 1,200 y 4,000 msnm, en zonas con climas templados, semiáridos o fríos y se pueden diferenciar distintos tipos, dependiendo de las especies que los constituyan (Rzedowski, 2006; Challenger y Soberón, 2008; Estrada *et al.*, 2014). Las coníferas (Pinophyta o Coniferophyta) incluyen árboles o arbustos dioicos o monoicos, de follaje siempre verde, cuyas hojas pueden ser en forma de aguja, escamosas, lineares, lanceoladas, a veces oblongas o falcadas. Todas las coníferas presentan dos tipos de conos o estróbilos: el masculino (donde se produce el polen), es pequeño y se denomina microestróbilo o conillo; y el femenino o megaestróbilo, donde se produce la semilla. Estos conos son típicamente leñosos, algunas veces carnosos, mientras que las semillas, como en todas las gimnospermas, se encuentra desnuda, es decir expuestas en estas estructuras (Del Castillo *et al.*, 2004; Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

En México se encuentran de manera natural cuatro de las seis familias de coníferas: Cupressaceae, Pinaceae, Podocarpaceae y Taxaceae, con un total de 10 géneros y 94 especies (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). De entre ellos,

destacamos seis géneros, por formar los principales tipos de bosques de coníferas: *Pinus* (pino), *Abies* (abeto u oyamel), *Pseudotsuga* (ayarín o pinabete), *Picea* (pinabete, abeto, ayarín o píceas), *Cupressus* (cedro), *Juniperus* (enebro, táscale o junípero) (Rzedowski, 2006; Granados-Sánchez *et al.*, 2007; Challenger y Soberón, 2008; Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). Por su extensión, los bosques de *Pinus* son los más importantes, siguiendo los bosques de *Abies* y *Juniperus*, en menor extensión, se encuentran los bosques de *Pseudotsuga* y *Picea*, mientras que las especies de *Cupressus* son componentes escasos que se encuentran dentro de los bosques de oyamel o de pino (Rzedowski, 2006).

A pesar de que no ocupan grandes extensiones dentro de México, los bosques de *Picea* y *Juniperus* son importantes por ser comunidades vegetales prestadores de servicios ambientales, como productores de oxígeno, captadores de agua y dióxido de carbono (Estrada *et al.*, 2014), pero también son de particular interés, debido a la distribución geográfica que presentan, encontrando su límite sur en México para el caso de *Picea* y en Guatemala para el género *Juniperus* (Farjon, 2005; Eckenwalder, 2009; Farjon, 2010; Farjon y Filer, 2013; Adams, 2014).

### **Los géneros *Picea* y *Juniperus***

El género *Picea* (Pinaceae) se encuentra formando bosques en altitudes entre 2,000 y 3,000 msnm, en sitios sombríos y húmedos (Rzedowski, 2006). Se caracterizan por ser árboles siempre verdes, con ramas extendidas y verticiladas; hojas más o menos rígidas y cuadrangulares, dispuestas en espiral, orientadas en

todas direcciones y están colocadas sobre la prolongación de un cojinete. Son monoicos, tienen conos femeninos leñosos, colgantes en la madurez, con brácteas rudimentarias y con semillas aladas (Martínez, 1963). Están adaptados a las bajas temperaturas invernales, por lo que son el componente dominante de los bosques boreales, sin embargo, en México son muy reducidos y se encuentran únicamente en el norte del país (Farjon y Filer, 2013; González-Elizondo, 2007; Rzedowski, 2006).

De las 38 especies que existen en el mundo, tres de ellas se encuentran en México (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). En 1942, Maximino Martínez reportó dos especies para México, *Picea chihuahuana* y *P. mexicana*. Posteriormente, *P. martinezii* fue descrita por Patterson (1988). A pesar de que las tres son consideradas como entidades diferentes, han experimentado algunos cambios taxonómicos, por lo que fueron analizados genéticamente por Ledig *et al.* (2004), quienes concluyeron que se trataban de tres especies diferentes. Sin embargo, es posible encontrar otras clasificaciones, como la de Eckenwalder, (2009) quien considera la presencia de dos especies para *Picea*, mientras que, para Farjon (2010), existen dos especies y una subespecie. Recientemente, Gernandt y Pérez de la Rosa (2014) enlistan tres especies, mismas que se encuentran en la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059), registradas en la categoría de peligro de extinción (SEMARNAT, 2010).

Los pinabetes son considerados un componente relictual del Pleistoceno cuyo hábitat se contrajo con el aumento de temperatura durante el Holoceno (Ledig *et al.*, 1997; Rzedowski, 2006). Actualmente se encuentran bajo condiciones ambientales particulares en la Sierra Madre Occidental y en la Sierra Madre Oriental, habiéndose desplazado hacia el norte de su distribución que desde el pasado se presentaba en el

Eje Neovolcánico, por lo que posiblemente no han podido adaptarse a los cambios climáticos (Ledig *et al.*, 2010).

Si bien es un elemento típico de los bosques boreales y subalpinos, los estudios se han enfocado en las especies más comunes de pinabetes, (Gordon, 1968; Ran *et al.*, 2006); mientras que, para los taxa mexicanos, se tiene estudios ecológicos, genéticos y demográficos (Gordon, 1968; Ledig *et al.*, 1997, 2000, 2002; Flores-López *et al.*, 2005; García-Arévalo, 2008; Flores-López *et al.*, 2013; Wehenkel *et al.*, 2015). Sánchez (1984) describió las condiciones en las que se encuentran las poblaciones de *Picea chihuahuana*, entre ellas, el clima, topografía, tipo de suelo y asociaciones vegetales. Concluye que *P. chihuahuana* se encuentra aislada geográfica y genéticamente, además de tener una reducida amplitud ecológica y baja capacidad competitiva, lo que podría llevar a esta especie a la extinción. Ledig *et al.* (2010) predicen un decremento en el área de distribución de los abetos mexicanos para los próximos 80 años, ya que, al encontrarse en zonas montañosas, no cuentan con una ruta de migración para evitar las elevadas temperaturas que se pronostican para el futuro, y solo podrían desplazarse hacia mayores altitudes y ocupar los pocos sitios que cuenten con las condiciones ambientales ideales.

El género *Juniperus* es uno de los más diversos y mejor representado en México después de *Pinus*, a pesar de que solo ocupa menos del 0.04% de la superficie del territorio mexicano (Rzedowski, 2006; Gernandt y Pérez-De la Rosa, 2014). Los juníperos o táscates, son árboles o arbustos con hojas opuestas o ternadas, aciculares en las plantas jóvenes y escumiformes en las adultas. Son especies principalmente dioicas, cuyos conos femeninos son carnosos e indehiscente, comúnmente llamados

gálbulas y con semillas sin alas (Farjon, 2005; Martínez, 1963; Rzedowski *et al.*, 2001; Pérez de la Rosa y Vargas-Amado, 2015).

No existe un acuerdo respecto al número de especies que existen en el mundo ni en México, además de que es un género del que constantemente se han generado propuestas taxonómicas. Sin embargo, para las regiones templadas del hemisferio norte se tienen reportadas 70 especies (Rzedowski *et al.*, 2001); para México, Martínez (1963), reportó 12 especies, 6 variedades y 3 formas; su clasificación se basó en la morfología del cono femenino, el número de semillas, características de las hojas y de la corteza. Más tarde, Farjon (2005), menciona un total de 16 especies para México. Los trabajos más recientes son los de Farjon y Filer (2013), Adams (2014) y Gernandt y Pérez de la Rosa (2014), reportando 18 especies en el primer caso y 20 en los dos últimos. De las 20 especies que se distribuyen en el país (Adams, 2014), solo *Juniperus californica* y *J. monticola*, se encuentran sujetas a protección especial de acuerdo a la NOM-059 (SEMARNAT, 2010).

Las especies de juníperos pueden encontrarse en diversos climas, que van desde el frío de altas montañas, los templados y semiáridos, por lo general en zonas de transición con vegetación de zonas áridas y tropicales subhúmedas (Rzedowski, 2006; Challenger y Soberón, 2008). Suelen desarrollarse por debajo o entre las poblaciones de *Quercus* y *Pinus* (en el noreste de México), o entre las comunidades de pastizal y matorral xerófilo (noroeste de México), algunos también se encuentran asociados con bosques de coníferas con impacto antropogénico, es decir, de origen secundario (Estrada *et al.*, 2014). Aunque también existen especies que llegan a ser

elementos dominantes de la vegetación (González *et al.*, 2006; De la Cerda y García 2008; Siqueiros *et al.*, 2017).

Los juníperos que se encuentran en México son considerados los más avanzados evolutivamente al presentar conos carnosos y dulces, lo que favorece su dispersión por aves y pequeños mamíferos, colonizando islas y propagándose hasta las zonas montañosas de Chiapas y Guatemala, siendo este último, la distribución más sureña del género en el hemisferio oeste (Farjon y Filer, 2013; Adams, 2014). Dentro de los juníperos, existen especies que están relacionadas debido a sus características morfológicas, a pesar de estar geográficamente separadas (Zanoni y Adams, 1975). En contraste, otros juníperos presentan gran diversidad intraespecífica, como, *J. blancoi*, que también muestra diferenciación de hábitats entre sus variedades, debido a la heterogeneidad ambiental y a los cambios climáticos de los últimos nueve millones de años (Moreno-Letelier *et al.*, 2014). De igual forma, los cambios suscitados en el clima han influido en la distribución de los juníperos. Adams *et al.* (2007), sugieren que, durante el Último Máximo Glacial, *Juniperus deppeana* pudo haber presentado una distribución más amplia y con poblaciones continuas, sin embargo, con el posterior incremento de temperatura, su área de ocupación se redujo.

### **Último Máximo Glacial (UMG)**

Desde la formación de la Tierra, el clima ha cambiado constantemente, sin embargo, estas variaciones implican una serie de procesos y la intervención de distintos factores o forzamientos, que operan en distintas escalas temporales y que

afectan los diferentes componentes que integran todo el sistema climático del planeta (atmósfera, hidrósfera, biósfera y criósfera) (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2008). Las principales causas de los cambios climáticos, al menos en escalas temporales de miles de años, se deben a alteraciones regulares o cíclicas de los parámetros orbitales de la Tierra, que afectan la distribución e incidencia de la energía solar sobre el planeta; así como los cambios en el volumen global de hielo y la variación en el nivel del mar, los cuales modifican el régimen de lluvias y la temperatura (Lozano-García *et al.*, 2015).

De tal manera que el clima no ha sido constante a lo largo del tiempo, definiendo al clima como el estado promedio del tiempo atmosférico en términos estadísticos de los valores medios y la variabilidad de las magnitudes (temperatura, precipitación o viento) que persisten por un periodo de tiempo, generalmente de 30 años, pero que puede abarcar hasta millones de años (IPCC, 2014). Por lo tanto, definimos el cambio climático como los cambios estadísticamente significativos en el estado medio del clima, que persiste durante un largo período de tiempo y que se puede deber a procesos internos naturales del planeta, forzamientos externos o a las actividades humanas (IPCC, 2014; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2008).

Gracias a estudios paleoecológicos se ha determinado que durante el Pleistoceno (2.5 millones de años), se presentaron fluctuaciones climáticas marcadas oscilando entre etapas más frías que las actuales (aproximadamente 8 °C menos), denominadas glaciales, y etapas más cálidas que el presente (2 a 3 °C más), conocidas como interglaciales, y se calcula que existieron por lo menos 16 ciclos glaciales durante el Pleistoceno con una duración de aproximadamente 125,000 años (Briones, 1994; Begon *et al.*, 1999; Caballero *et al.*, 2010).

La última etapa fría del Pleistoceno se le conoce como Último Máximo Glacial (UMG), el cual sucedió hace aproximadamente 22,000 años (Caballero *et al.*, 2010). Se caracterizó por la expansión de los glaciales de montaña 1,000 m por debajo de su ubicación actual; un descenso del nivel del mar aproximadamente 100 m; menor concentración de bióxido de carbono y metano; un descenso en la temperatura de 5°C y menor precipitación provocado por una atmósfera y océanos más fríos que disminuyeron la evaporación y la nubosidad (Lozano, 2004; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2008). Sin embargo, puesto que la mitad sur del territorio mexicano se encuentra dentro de los trópicos y la otra mitad pertenece a las franjas subtropicales áridas, cada una fue afectada de diferente manera; el desplazamiento de los vientos alisios hacia el sur, provocó que en la mitad tropical disminuyera la precipitación, mientras que en el norte del país aumentaron las lluvias por efecto de los vientos del oeste (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2008).

Durante este periodo, en la parte central de México, correspondiente al Eje Neovolcánico (ENV), se presentó un avance de los glaciales de montaña, por lo que la línea de las nieves se desplazó entre 1,000 y 1,500 m de altitud por debajo de los que se encuentra en la actualidad (Caballero *et al.*, 2010). Esto, a su vez, provocó un desplazamiento de la vegetación a menores altitudes; hubo una expansión de las praderas alpinas, así como de los bosques dominados por *Pinus*, los cuáles eran más abiertos y con un componente herbáceo importante (Metcalf, 2006; Caballero *et al.*, 2010). Dentro de los registros palinológicos está presente el género *Picea*, esto indica que las condiciones prevalecientes eran más frías de lo que son en la actualidad, además de que la composición de las comunidades fue distinta a las actuales (no

análogas) (Lozano-García *et al.*, 1993; Caballero *et al.*, 2010). En general, se diferenciaban dos regiones en el centro de México, una más húmeda que la actual, en el occidente; y una más árida que la actual, en el oriente (Metcalf, 2006).

Mientras que, las condiciones en el norte de México, se caracterizaron por veranos más fríos e inviernos templados y húmedos, lo que favoreció la expansión de los bosques de piñón-junípero (Anderson y Van Devender, 1991; Briones, 1994; Metcalf, 2006), los cuales ocuparon áreas de lo que actualmente son los desiertos de Chihuahua y Sonora; la presencia de bosques de abeto y pino, indican condiciones más frescas y al igual que en el centro del país, algunas comunidades vegetales no tienen análogos modernos (Lozano, 2004; Metcalf, 2006). Los datos provenientes de los paleomadrigueros de la rata magueyera del género *Neotoma*, ubicados en el sur de Estados Unidos, sugieren que en algunas áreas los bosques abiertos fueron reemplazados por el matorral de xerófilo hace 12,000 o 9,000 años y, probablemente, este cambio en la vegetación ocurrió primero en el desierto Chihuahuense que en las regiones de Baja California y el desierto Sonorense (Metcalf, 2006). Así mismo, los registros de polen muestran un incremento gradual hacia condiciones más áridas que favoreció el establecimiento del matorral xerófilo durante el Holoceno (Briones, 1994). De tal manera que las modificaciones que se dieron en el pasado, han delineado el paisaje que observamos y han influido en todas las formas vivientes (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2008), en especial con las plantas, pues se tiene evidencia que modifican su distribución en respuesta a cambios en la humedad y la temperatura (Lozano, 2004).

## Área de distribución geográfica y nicho ecológico

El área de distribución geográfica es un atributo que resume la historia evolutiva, ecológica y las necesidades fisiológicas de una especie y se define como “aquella fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema” (Zunino y Zullini, 2003). La interacción de diferentes factores que operan en diferentes intensidades y escalas, determinan la distribución de una especie, estos factores son básicamente tres: las condiciones abióticas favorables para la presencia de una especie (A), las interacciones ecológicas entre las especies (B) y el espacio al cual pueden acceder o que hayan estado accesibles para las especies (M), tales condiciones se ilustran en lo que se conoce como diagrama de BAM (Soberón y Peterson, 2005; Maciel-Mata *et al.*, 2015; Morrone y Escalante, 2016).

Los factores que se mencionan en el diagrama de BAM guardan relación con el concepto de nicho ecológico, el cual ha cambiado con el tiempo. Por una parte, Grinnell (1917), lo interpreta como una fracción del hábitat que contiene las condiciones ambientales ideales para la sobrevivencia de una especie. Posteriormente, Elton (1927) define el nicho como el rol funcional de una especie en la comunidad, esto es, a una escala espacial más fina. Por su parte, Hutchinson (1957) conceptualiza el nicho ecológico como la gama de condiciones abióticas y bióticas bajo las cuales una especie puede persistir sin necesidad de inmigración. Cabe destacar que, para Hutchinson, el nicho es una propiedad de la especie y no del ambiente. Además de distinguir entre nicho fundamental, que se refiere únicamente a las condiciones ambientales, y el nicho realizado, como una parte del nicho fundamental que está limitado por la interacción con otras especies (Hutchinson, 1957). De tal manera que,

el nicho fundamental está representado por la región A del diagrama de BAM y el nicho realizado, por la intersección de A y B. Finalmente, la presencia de una especie dependerá de factores históricos y de dispersión (región M), por lo tanto, el área de distribución es dinámica en el tiempo, y cualquiera que sea el método para estimarla, es considerada como una hipótesis de la misma (Maciel-Mata *et al.*, 2015).

### **Modelos de nicho ecológico y distribución potencial**

Un método que nos ayuda a estudiar la relación de las especies con el ambiente es el modelado de nicho ecológico (MNE). Los MNE son aproximaciones empíricas o matemáticas al nicho ecológico de una especie, que identifican sitios adecuados para la sobrevivencia de una especie, los cuales son similares ecológicamente a los sitios en los que se sabe que existe la especie (Soberón y Peterson, 2005; Peterson y Anamza, 2015). Los MNE parten de la conceptualización del nicho y se basan en el supuesto de que las condiciones ambientales, particularmente el clima, operan a una escala espacial más grande y delimitan en primera instancia el área de distribución de una especie (Pearson y Dawson, 2003). Además, asumen que las especies tienden a mantener sus requerimientos ambientales por largos periodos, de hasta millones de años, lo que se le conoce como hipótesis del conservadurismo del nicho (Peterson *et al.*, 1999). Por lo tanto, si las condiciones ambientales de un sitio cambian más allá de las tolerancias específicas de cada especie, éstas se verán en la necesidad de desplazarse a nuevos lugares que ostenten las condiciones ideales para su sobrevivencia (Martínez-Meyer *et al.*, 2004).

Los MNE se han empleado en diversos estudios y con diferentes enfoques, aunque básicamente podemos generar cuatro resultados: 1) análisis del conservadurismo del nicho, 2) ubicación de refugios de especies, 3) escenarios de especiación y biogeografía predictiva y 4) modelos de distribución potencial de especies (MDE) (Peterson y Anamza, 2015). A su vez, los MDE son representaciones cartográficas de la idoneidad ambiental de un espacio para la presencia de una especie, en función de las variables empleadas para generar dicha representación (Mateo *et al.*, 2011).

Los MNE han sido empleados bajo el enfoque del efecto del cambio climático en la distribución de las especies durante el pasado y para diferentes grupos de especies. Shinneman *et al.* (2016) realizaron los modelos de nicho para *Pinus ponderosa*, una especie del oeste de Estados Unidos, cuyas predicciones durante el UMG la sitúan a menores latitudes, en las zonas de mesetas y partes bajas de las montañas. Alba-Sánchez *et al.* (2010) trabajaron con dos especies de *Abies* en España, proponiendo la existencia de refugios en las zonas montañosas de la península ibérica.

En México también se han realizado modelos para grupos de plantas del centro y norte del país (Sengupta, 2012); en otros casos se han examinado los desplazamientos altitudinales y su efecto en la diferenciación genética de especies de pastizales alpinos (Mastretta-Yanes *et al.*, 2018). Por otra parte, Gugger *et al.* (2011), analizaron el efecto del cambio climático sobre una especie de ambientes templados, *Pseudotsuga menziesii*, en tres periodos de tiempo, UMG, presente y en el futuro.

La confiabilidad de los MNE se ha probado en trabajos en los que se cuentan con suficientes registros fósiles (Martínez-Meyer *et al.*, 2004; Martínez-Meyer y Peterson, 2006; Ballesteros-Barrera, 2008), lo que nos permite generar hipótesis sobre la paleo-distribución de las especies en periodos clave, como lo es el UMG.

Los MNE también han sido empleados para identificar la relación entre el ambiente y las especies, así como para identificar las diferencias que existen entre las mismas con respecto a las condiciones ambientales en las que se encuentran (Aguirre-Gutiérrez *et al.*, 2015; Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

Puesto que los géneros *Picea* y *Juniperus* no han sido tan estudiados como otras coníferas, por ejemplo, el género *Pinus*, aunado al hecho de que se desconoce cómo afecta el clima su distribución geográfica, es que se decidió usar los MNE para obtener la distribución potencial de las especies de estos dos géneros en dos épocas diferentes, el presente y el UMG, y así, comparar los cambios que se han dado tanto en el clima, como en la distribución geográfica desde el UMG hasta la actualidad.

## JUSTIFICACIÓN

México es un país con alta diversidad tanto de animales como de plantas, sin embargo, no todos los grupos están igualmente estudiados, en algunos casos, se abordan de manera general las afinidades y distribución de los taxa a nivel de tipos de vegetación. Si bien, existen casos como los de *Pinus* y *Abies*, que han sido objeto de estudio a nivel genético, poblacional, de comunidad y ecológico, también se da el caso de las especies de *Juniperus* y *Picea*, donde la mayoría de los trabajos están enfocados en la diversidad genética y en la clasificación taxonómica, descuidando otros aspectos como los biogeográficos o ecológicos. Las tres especies del género *Picea* son de distribución restringida y se considera que tienen requerimientos ambientales específicos. En contraste, el género *Juniperus* parece tener una mayor tolerancia climática, pues sus especies crecen en ambientes fríos, templados y semiáridos, algunas de ellas tienen amplia distribución y otras crecen en sitios específicos.

Sin embargo, poco se sabe de las especies mexicanas, por ejemplo, los sitios en los que se encuentran y bajo qué condiciones ambientales, eso sin mencionar el estado en que se encuentran sus poblaciones. El no conocer los requerimientos de las especies y como responden a su entorno, puede representar una limitante en las estrategias de conservación. Datos como estos son necesarios tan solo para ser incluidos dentro de la Norma Oficial Mexicana 059, dentro de la cual están incluidas las tres especies de *Picea*, pero solamente dos de las 20 especies de *Juniperus* que crecen en México (SEMARNAT, 2010).

Considerando que las plantas están fuertemente relacionadas con las condiciones ambientales y dado que la Tierra ha presentado a lo largo del tiempo oscilaciones en el clima, sin duda la distribución actual de las especies se ha visto influida por los cambios climáticos del pasado. En este sentido, los MNE y MDE nos permiten comprender mejor la relación entre las especies y su ambiente, de manera que podemos darnos una idea de cómo influye esta relación en sus áreas de distribución, y a su vez, nos ayudará a comprender la respuesta de las especies ante el cambio climático, ya sea en escenarios pasados o futuros. Al disponer de esta nueva información, se espera contribuir en el conocimiento de las especies mexicanas de *Picea* y *Juniperus*, así como en la toma de decisiones con respecto a la conservación y manejo de recursos naturales.

## **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles fueron las distribuciones potenciales de las especies de *Picea* y *Juniperus* de México durante el UMG?

¿Cómo han cambiado sus áreas de distribución desde el UMG hasta la época actual? Dentro de cada género, ¿qué especies han sido las más afectadas por el cambio climático que se dio desde el UMG hasta la actualidad?

## **HIPÓTESIS**

Si las especies tienden a mantener relativamente constante su nicho por largo tiempo, entonces ante cambios drásticos en el clima, como las glaciaciones del Pleistoceno es de esperar que las especies de *Juniperus* y *Picea* que actualmente se encuentran en los bosques templados de México hayan tenido una distribución más

extensa y conforme se ha calentado el planeta durante el Holoceno han modificado su distribución contrayéndose y desplazándose a mayores latitudes o altitudes.

Por otro lado, durante la última época glacial debieron presentarse ambientes desfavorables para aquellas especies con requerimientos específicos de humedad o de temperatura más alta, presentando una distribución más reducida con respecto al presente y tras el incremento en la temperatura y cambios en el régimen de precipitación que se dio a partir del Holoceno, estas especies debieron expandir su área de distribución y desplazándose hacia mayores latitudes o altitudes.

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar y comparar la distribución potencial durante el UMG con la actual, de las especies de los géneros *Picea* y *Juniperus* de México.

### **Objetivos Particulares**

- 1.- Obtener las áreas de distribución potencial actual de las especies de los géneros *Juniperus* y *Picea*.
- 2.- Obtener las áreas de distribución potencial en el pasado (UMG, 22,000 A.P.) de las especies de los géneros de este estudio.
- 3.-Analizar los cambios ambientales y en las áreas de distribución de cada especie que se pudieron haber presentado, como consecuencia del cambio climático entre las dos ventanas de tiempo.

## MÉTODOS

### Elección de géneros y especies

En México los géneros *Picea* (Pinaceae) y *Juniperus* (Cupressaceae) forman parte de los principales tipos de bosques de coníferas, sin embargo, ocupan una extensión pequeña en el país (Rzedowski, 2006; Granados-Sánchez *et al.*, 2007; Challenger y Soberón, 2008; Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). A pesar de ello, presentan características de gran interés; en el caso de *Picea*, presenta el límite meridional de su distribución geográfica en México, mientras que *Juniperus* se extiende hasta Guatemala, así mismo, en ambos casos presentan algunas especies con distribuciones disyuntas (Farjon, 2005; Eckenwalder, 2009; Farjon y Filer, 2013; Adams, 2014).

En el caso particular de los pinabetes, presentan afinidades por los climas templados, en contraste, los juníperos se encuentran en climas templados y semiáridos, mostrando diferencias ecológicas entre ambos grupos (Miranda y Hernández-X., 1963; Rzedowski, 2006; Farjon 2010; Farjon y Filer; 2013 Challenger y Soberón, 2008; Adams, 2014; Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Dado que existen diversos trabajos taxonómicos para ambos géneros, en el caso de la selección de especies, se optó por consultar y seguir la clasificación taxonómica propuesta por Ledig *et al.* (2004) para el género *Picea*, la cual se basa en estudios genéticos e incluye tres especies. Mientras que, para *Juniperus*, se utilizó la clasificación taxonómica propuesta por Adams (2014), la cual toma en cuenta tanto características morfológicas como genéticas para la delimitación de las especies. De acuerdo con este autor, en México se distribuyen 20 especies, sin embargo, se hizo

una excepción con *J. ovata*, la cual se consideró como *J. ashei*, ya que, como menciona el propio autor, resulta difícil diferenciarlas debido a sus semejanzas morfológicas.

Para cada especie se analizó la distribución actual, es decir, si están presentes en México; además, si son endémicas, o sí, por el contrario, también amplían su distribución a otros países. Dicha información se obtuvo de diversas fuentes, artículos (Ledig *et al.*, 2004; Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014), y revisiones taxonómicas (Martinez, 1963; Farjon, 2005; 2010; Farjon y Filer 2013; Adams, 2014; Pérez de la Rosa y Vargas, 2017); así como portales en línea, como el de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Además de la revisión de las colecciones científicas en línea y presenciales de los diversos herbarios nacionales e internacionales. Adicionalmente, se investigó si todas las especies, se encontraban en alguna categoría de riesgo de acuerdo con el listado de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) y la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Finalmente, se realizaron los modelos de distribución potencial para las especies que pertenecen a los géneros *Picea* y *Juniperus* que están presentes en México, con el fin de aproximar su distribución actual y durante el Último Máximo Glacial (UMG).

### **Bases de datos y colecciones científicas**

La obtención de registros de presencia para cada una de las especies de los géneros *Picea* y *Juniperus*, se consultaron las siguientes bases de datos en línea:

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad ([www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)); GBIF Biodiversity Data Portal ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)); Portal de Datos Abiertos de la UNAM (<https://datosabiertos.unam.mx>); Unidad de Informática para la Biodiversidad (<http://unibio.unam.mx/>); Red de Herbarios del Noroeste de México (<http://herbanwmex.net/portal/>); The Great Plains Regional Herbarium Network (<http://www.ngptherbaria.org/portal/index.php>), The University of Texas at Austin (<http://www.biosci.utexas.edu/prc/>). Además, se consultó la Red de Herbarios del Noroeste de México (<https://www.herbanwmex.net/portal/index.php>) y se solicitó información al Herbario Paul C. Standley (EAP).

Por otro lado, se revisaron los ejemplares de las especies de los géneros *Picea* y *Juniperus* de las colecciones científicas, visitando los siguientes herbarios: Herbario “Luz María Villarreal de Puga” (IBUG), Universidad de Guadalajara, Herbario Nacional de México (MEXU), Universidad Nacional Autónoma de México y el Herbario Metropolitano (UAMIZ), Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Además, se llevó a cabo, la revisión de la información proveniente de la literatura especializada (Farjon, 2005; Gómez; 2007; López, 2009; García, 2012; Adams, 2014; Quirino, 2019).

Para cada especie se consideraron todos los registros de su distribución conocida, que incluyeron localidades de Canadá, Estados Unidos, México y Guatemala.

Adicionalmente se consultaron los portales de Neotoma Paleoecology Database (<https://www.neotomadb.org>) y USGS/NOAA North American Packrat Midden Database version 4 (<https://geochange.er.usgs.gov/midden/search.html>) para

la obtención de datos fósiles que se encontraran fechados con una antigüedad entre 23,000 y 15,000 años A. P.

### **Depuración y validación de datos**

Para cada especie se creó una base de datos unificada que contenía los registros obtenidos de las diferentes fuentes consultadas. Para ello se consideró la información compartida, como localidades de colecta, número de catálogo, colección, colector y persona que determinó la especie. A partir de estos campos fue posible identificar los registros duplicados para poder eliminarlos de la base de datos. Posteriormente las localidades fueron revisadas, depuradas y se validaron bajo tres criterios principales: 1) geográfico, 2) climático y 3) taxonómico.

Validación geográfica: consistió en primera instancia en eliminar los datos repetidos. Posteriormente se georreferenciaron los registros sin coordenadas, siempre y cuando contaran con información suficiente y clara sobre los municipios y localidades en donde fueron colectados los ejemplares. Para ello, se usó como apoyo el Archivo histórico de localidades geoestadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (<https://www.inegi.org.mx/app/geo2/ahl/>), la página de internet Mapcarta (<https://mapcarta.com/es/>); se georreferenció usando el programa Google Earth Pro y con base al Manual de Georreferenciación de Localidades de la CONABIO (CONABIO, 2008).

En los registros que tuvieran coordenadas, se revisó que éstas coincidieran con las localidades descritas, en caso de que no lo estuvieran, fueron corregidas siguiendo

el manual de la CONABIO. En algunos casos, se tenían registros en China, que fueron corregidos al agregar el signo negativo para la longitud, posicionándolos así, en el hemisferio oeste. Es importante mencionar que no se consideraron los datos provenientes de cultivos, jardines botánicos, u otras circunstancias en las que hayan sido introducidos en otros continentes. De igual manera, aquellos registros que no se pudieron georreferenciar, se eliminaron de las bases de datos.

Validación climática: para caracterizar las condiciones ambientales en las que se encuentran las especies de este estudio y poder identificar valores atípicos climáticos, se asignó a cada registro el valor de cada una de las coberturas climáticas y topográficas descargadas (nombrados en lo sucesivo como perfiles climáticos), usando la herramienta *Extract Multi Values to Points* de ArcGis 10.5.

Una vez obtenida toda esta información, se realizaron gráficas de caja y bigotes para cada especie. Los “bigotes” que se observan en las gráficas determinan los límites superior e inferior de la serie de datos y aquellos valores que superen dichos límites se consideran como atípicos. Aquellas localidades con valores atípicos en cualquiera de las 19 variables climáticas, podría no corresponder a la especie que se reportaba, por lo que se les prestó especial atención a estos registros, corroborando con la información geográfica que se reportaba en las bases de datos y en la literatura.

Validación taxonómica: consistió en la visita de algunos herbarios, para verificar que la identidad taxonómica de las especies reportadas en las bases de datos fuera confiable. Se revisó el Herbario Metropolitano de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAMIZ), por ser la fuente de “Casa”; el Herbario Nacional de México (MEXU) por tener el acervo más grande de la flora de México; y el

Herbario Luz María Villarreal de Puga (IBUG), donde se encuentra uno de los expertos en la taxonomía de coníferas.

De los ejemplares de herbario, se revisó el nombre de las especies, incluyendo la actualización de la determinación taxonómica o si se encontraban los nombres científicos bajo una sinonimia; asimismo, se trabajó en el conocimiento de la morfología, para identificar las características distintivas de cada especie; además, se obtuvo información del hábitat, incluyendo el tipo de vegetación y la altitud. Por último, se corroboró que fuera la misma especie que se reportaba en las bases de datos en línea.

### **Variables ambientales, topográficas y delimitación del área accesible (M)**

Las 19 variables ambientales (Cuadro 1) tanto para el presente como para el pasado, se obtuvieron del portal de WorldClim (<http://www.worldclim.org>). Para la época actual se utilizó la versión 1.4 con una resolución de 2.5 minutos (Hijmans *et al.*, 2005), y para el Último Máximo Glacial (UMG) se consideraron los modelos de circulación general (MCG) de los laboratorios CCSM4 y MIROC-ESM (en adelante MIROC), ambos con una resolución de 2.5 minutos.

Actualmente existen varios MCG para el clima del UMG, sin embargo, cada uno cuenta con sus particularidades, planteando diferentes escenarios climáticos, siendo los modelos CCSM4 y MIROC los más comúnmente empleados (Varela *et al.*, 2015; Guevara *et al.*, 2018a). Por esta razón y por cuestiones de compatibilidad entre las capas climáticas, se emplearon estos dos MCG de WorldClim. Así mismo, nos

proporcionan dos escenarios climáticos posibles para el UMG, el MIROC estima temperaturas más frías que el CCSM4 y mayor precipitación en la mitad norte de México, pero menor humedad en la zona sur (Guevara *et al.*, 2018a).

Así mismo se emplearon variables topográficas (Cuadro 1), las cuales se obtuvieron de la base de datos Hydro 1k del Geological Survey de los Estados Unidos (Gesch y Larson, 1996; <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro/>) e incluyeron: elevación, pendiente y aspecto.

Tanto las 19 coberturas ambientales de WorlcClim como las variables topográficas fueron recortadas en áreas más pequeñas para ser utilizadas en los análisis de cada especie. El criterio para el recorte fue reducirlas al área accesible para cada especie, la cual corresponde a la región M del diagrama de BAM, propuesto por Soberón y Peterson (2005).

La delimitación de la región M fue designada con base a las subprovincias fisiográficas, las cuales se obtuvieron de los portales de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx>), para México (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990); Data.gov (<https://catalog.data.gov>), para Estados Unidos (Fenneman, 1917), Natural Resources Canada (<https://www.nrcan.gc.ca/>), para Canadá (Bostock, 1970) y del Ministerio de Ganadería y Alimentación de Guatemala (<http://web.maga.gob.gt/>), en el caso de Guatemala (Duro *et al.*, 2005). Las provincias fisiográficas se caracterizan por ser regiones en el que el relieve es el resultado de la acción de un mismo conjunto de agentes modeladores del terreno, así como de un mismo origen geológico (INEGI, 2008).

Cuadro 1. Listado de las variables ambientales y topográficas empleadas en este estudio (Gesch y Larson, 1996; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016).

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>
Bio 1	Temperatura media anual
Bio 2	Intervalo medio diurno
Bio 3	Isotermalidad ((Bio 2/Bio 7) (*100))
Bio 4	Temperatura estacional
Bio 5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Intervalo anual de temperatura (Bio5-Bio6)
Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 12	Precipitación total anual
Bio 13	Precipitación del mes más húmedo
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Precipitación estacional
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío
Elevación	Altitud
Pendiente	Grado de inclinación de la pendiente
Aspecto	Orientación de la pendiente

Dada la falta de información con respecto a la dispersión de las especies, se consideraron las mismas provincias fisiográficas como límite en la dispersión de las especies. De esta manera se escogieron aquellas subprovincias que coincidieran con la ubicación de los sitios de colecta para cada especie, además de elegir aquellas que fueran aledañas, siempre y cuando pertenecieran a alguna de las provincias que ya hubieran sido elegidas. En el caso particular de los pinabetes, se consideró un continuo entre las subprovincias, hasta la parte oriental del Eje Neovolcánico, pues se reportan registros fósiles en esta región para el UMG (Lozano *et al.*, 1993).

Las áreas resultantes se usaron como “molde” para recortar el conjunto de capas climáticas ya mencionadas, finalmente fueron transformadas a formato ASCII, es decir, la delimitación de la región M se hizo previo a la generación de modelos, con excepción de *Juniperus zanonii*, en la que el proceso de recorte se hizo posterior a la obtención de la distribución potencial. El proceso de selección de las subprovincias, así como el recorte y transformación de las capas climáticas, se realizó utilizando el programa ArcMap10.5.

### **Selección de variables climáticas**

La procedencia y la cantidad de variables climáticas que se usan para la elaboración de modelos, repercuten en los resultados obtenidos. La elección de variables se considera una parte esencial en los MNE, pues éstos deben formarse con base a una comprensión biogeográfica, ecológica y poblacional de las especies (Araújo y Guisan, 2006), sin embargo, existen casos en los que no se cuenta con esta información. En algunas situaciones se ha observado que disminuir la cantidad de variables climáticas no afecta de manera significativa los resultados de los MNE (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014), inclusive, los valores de AUC pueden ser inferiores en comparación a utilizar las 19 variables de WorldClim (Galante, 2015).

Se emplearon tres conjuntos de parámetros para la elaboración de los MNE, el primero consistió en usar las 19 variables climáticas y dos topográficas (pendiente y aspecto); el segundo incluyó solamente las variables de WorldClim; y en el tercero se seleccionaron las variables más importantes para cada especie. La elección de las

variables más importantes se hizo tomando en cuenta su aporte estadístico sobre la explicación de la varianza, para ello se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA, por las siglas de principal component analysis) en el programa Statistica v. 10 para cada una de las 23 especies. Tomando en cuenta el valor absoluto del primer factor, se seleccionaron las seis variables ambientales con mayor aporte a la variación. La elección del mejor modelo se hizo con base a los valores de AUC y ROC parcial, esperando tener predicciones más reservadas. Los MDE que se reportan en los resultados son aquellos en los que se emplearon 21 variables.

### **Modelos de nicho ecológico (MNE)**

Los MNE se realizaron con el algoritmo de MaxEnt ver. 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2006). De manera general, lo que hace el programa es detectar las relaciones no aleatorias entre dos conjuntos de datos: a) los registros geo-referenciados de la presencia de la especie; y b) un conjunto de coberturas tipo ráster, de información digitalizada de variables climáticas. Con estas correlaciones se obtiene una nube de puntos, donde se calcula el píxel promedio con sus valores asociados, para todas las variables. El píxel promedio constituye un valor umbral, por encima del cual estarán las posibles presencias a partir de las variables que la especie prefiere. Al tener datos solo de presencia, MaxEnt crea una muestra aleatoria de píxeles del área de estudio, que se le llama background o pseudoausencias, los cuales forman el espacio en el que se define la distribución de probabilidad de Maxent. La base de datos de registros de presencia se divide en dos grupos: el primero se utiliza para construir el modelo

mediante los datos de entrenamiento, mientras que el segundo es para evaluar el modelo al utilizar los datos de prueba (Phillips *et al.*, 2006).

Los parámetros de elaboración utilizados fueron aquellos que venían por defecto en el programa (Phillips y Dudik, 2008), a excepción de las opciones Extrapolate y Do clamping, que se desactivaron para evitar extrapolaciones que pudieran encontrarse por encima de las tolerancias de las especies. Además, en la versión más reciente de MaxEnt, el formato de salida por default es del tipo cloglog (Phillips *et al.*, 2017). De contar con suficientes registros, el modelo se calibró con el 80% de los registros y se validó con el 20%. Para las especies que tuvieran menos de 20 localidades, se usaron todos los registros y los modelos se evaluaron con la prueba de Jackknife, descrita por Pearson *et al.* (2007).

Para estimar la capacidad de predicción de cada modelo, se utilizó el criterio de área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés de area under the curve), el cual se obtiene como salida del modelo, en donde se observa la capacidad de discriminación de una presencia (sensibilidad) y la capacidad de discriminación de una ausencia (especificidad). Los valores que toma AUC van de 0 a 1 y mientras más se acerque a este último, el modelo será mejor. Valores de AUC (ente 0.5 y 0.7 generalmente refieren a una baja precisión; mientras que, de 0.7 a 0.9 se consideran predicciones razonablemente buenas y un AUC superior a 0.9 indican muy buenas predicciones (Peterson *et al.*, 2011). Adicionalmente se utilizó la prueba de ROC (Receiver Operating Characteristics) parcial, que se considera como una prueba más confiable para la evaluación de modelos de nicho, dónde los valores por encima de 1 se consideran mejor que el azar (Peterson *et al.*, 2008). Este análisis se realizó con la

herramienta NicheToolBox, desde la página de la CONABIO (<http://shiny.conabio.gob.mx:3838/nichetoolb2/>), utilizando un 50% de los puntos de evaluación independientes re-muestreados en 1,000 réplicas bootstrap y fijando un margen de error del 5%.

Una vez validados los modelos de nicho ecológico del presente, se volvieron a realizar los modelos, pero esta vez realizando también las proyecciones al UMG, configurando el algoritmo de modelación como se describió con anterioridad.

## **Modelos de distribución de especies**

### *Distribución potencial presente*

Los archivos tipo ASCII generados por el programa MaxEnt fueron visualizados con el programa ArcGis 10.5, en un formato binario para obtener el área de distribución potencial correspondiente a cada especie. El valor umbral, a partir del cual los valores de idoneidad fueron considerados como presencias, se hizo a partir del décimo percentil (Reygadas, 2017; Pearson *et al.* 2007, Tinoco *et al.* 2009; Morueta-Holme *et al.*, 2010; Cuervo-Robayo y Monroy-Vilchis, 2012).

### *Análisis de la distribución potencial*

Los cambios en la distribución de las especies son el reflejo de su respuesta al cambio climático del UMG al presente, por lo que se espera que el área de distribución pueda, mantenerse, disminuir o aumentar. Para estimar los cambios de la distribución potencial, se contabilizaron el número de píxeles en ArcMap 10.5 y se calculó el área

(1 pixel=21.5 km<sup>2</sup> aproximadamente). Una vez con estos datos, se obtuvo la proporción de cambio entre los dos tiempos y para los dos escenarios.

### *Distribución potencial UMG*

Se obtuvieron mapas de permanencia, pérdida y ganancia, partir de los modelos binarios. El procedimiento se realizó en ArcMap 10.5, sumando los modelos del presente y el pasado con la herramienta *Plus*, generando un nuevo archivo raster que muestra las zonas donde las condiciones ambientales para el establecimiento de la especie se han mantenido desde el UMG (permanencia). Finalmente, el raster se sobrepone sobre los modelos originales, con el fin de mostrar las zonas que dejaron de tener los ambientes adecuados para la presencia de la especie (pérdida); y las zonas “nuevas” que actualmente cuentan con las condiciones idóneas para el establecimiento de la especie (ganancia).

De manera complementaria, se sumaron los modelos de todas las especies por género y para cada escenario del UMG, sobreponiendo las localidades fósiles con las que se contaban como una opción de validación para los modelos de esta época.

### **Caracterización ambiental en el presente y en el UMG**

El análisis de los cambios ambientales se abordó de dos formas, por un lado se caracterizó bajo qué condiciones ambientales se encuentran cada una de las especies, por otra parte, se construyó el espacio ambiental en el que se encuentran las especies basándonos en las 19 variables de WorldClim.

En algunos estudios de distribución potencial, el análisis del espacio ambiental se enfoca en aquellas variables climáticas de mayor relevancia para la especie (Sengupta, 2012; Guevara *et al.*, 2018b; Guevara *et al.*, 2019), mientras que en otros casos se basan únicamente en las variables de temperatura promedio anual (Bio 1) y precipitación total anual (Bio 12) (Martínez-Meyer y Peterson, 2006; Gómez *et al.*, 2007; Aguilar, 2016). En este trabajo, se consideraron las variables Bio1 y Bio 12 y elevación, para conocer bajo qué condiciones del presente o del UMG se podrían encontrar las especies.

De forma complementaria, a partir de los perfiles climáticos se construyeron histogramas de las Bio 1, Bio 12 y elevación, con el fin de caracterizar las condiciones ambientales de los sitios en los que han sido colectadas cada una de las especies. Además de calcular los promedios de las Bio 1, Bio 5, Bio 6 y de la Bio 12-Bio 14.

En primera instancia se calcularon los promedios de las 19 variables de WorldClim para cada una de las especies, con estos valores se realizó un PCA utilizando el programa RStudio, con la finalidad de identificar posibles asociaciones entre especies y su relación con las variables climáticas.

Por otra parte, se compararon las condiciones de temperatura promedio anual y precipitación anual de la distribución potencial de todas las especies bajo los dos escenarios climáticos del UMG. Con el programa ArcMap 10.5, se transformaron los modelos binarios, de un archivo tipo raster, a un archivo Shapefile de puntos, asignándole a cada uno de ellos los valores de las variables climáticas Bio 1 y Bio 12. Posteriormente, la información de los archivos Shapefile se exportó a una base de datos en Excel, de la que se obtuvieron los promedios de las dos variables, para

finalmente graficarlos. De igual forma, para conocer si hubo cambios con respecto a la altitud, se siguió el mismo procedimiento, comparando mediante gráficas, los promedios de altitud entre el presente, y los dos escenarios del UMG.

También se realizó una comparación en el espacio geográfico de las condiciones ambientales del presente y el UMG en términos de temperatura promedio anual y precipitación anual. En el programa ArcMap 10.5, con el botón *Diferencia* de la ventana *Análisis de imagen*, se hicieron operaciones entre ráster para obtener la diferencia entre un periodo y otro de las Bio 1 y Bio 12.

Con el programa NicheA se construyó el espacio ambiental en el que se encuentran las especies. Para ello, se realizó un PCA con todas las variables ambientales. A continuación, se construyó el modelo de nicho de la especie a partir de los modelos binarios que se obtuvieron de MaxEnt y que habían sido transformados en archivos de puntos. El programa construye un elipsoide que incluya todos los registros de presencia de la especie, en este caso, los puntos con valor de 1 de los Modelos de Distribución Potencial de Especies (MDE), obteniendo así el nicho de una determinada especie para el presente, el UMG del escenario CCSM4 y del escenario MIROC.

Finalmente, se realizó un análisis de traslape de nicho, el cuál estima el tamaño de las curvas elipsoides y calcula la porción que se intersecta entre cada par de éstas, adicionalmente, con estos valores se calculó el índice de Jaccard, el cual arroja valores entre 0 y 1, entre más cerca se este de la unidad, más similares son los nichos (Quiao *et al.*, 2016). De esta manera se comparó el espacio ambiental entre las dos ventanas de tiempo y conocer que tan similares eran entre las dos ventanas de tiempo.

## RESULTADOS

### Géneros y especies

En México se distribuyen tres especies de *Picea*, endémicas del país; de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) se encuentran en peligro de extinción, mientras que, en la lista de la UICN, se encuentra dentro del grupo de especies amenazadas, bajo la categoría en peligro (Cuadro 2). El género *Juniperus* cuenta con 20 especies que se distribuyen en México, de las cuáles, nueve son endémicas. Se incluyen tres especies en la NOM-059 como sujetas a protección especial. Por otra parte, dentro de la UICN se incluyen 13 especies bajo las categorías de preocupación menor o casi amenazada; seis especies como vulnerables o en peligro; y solo una especie no se considera en el listado (Cuadro 2).

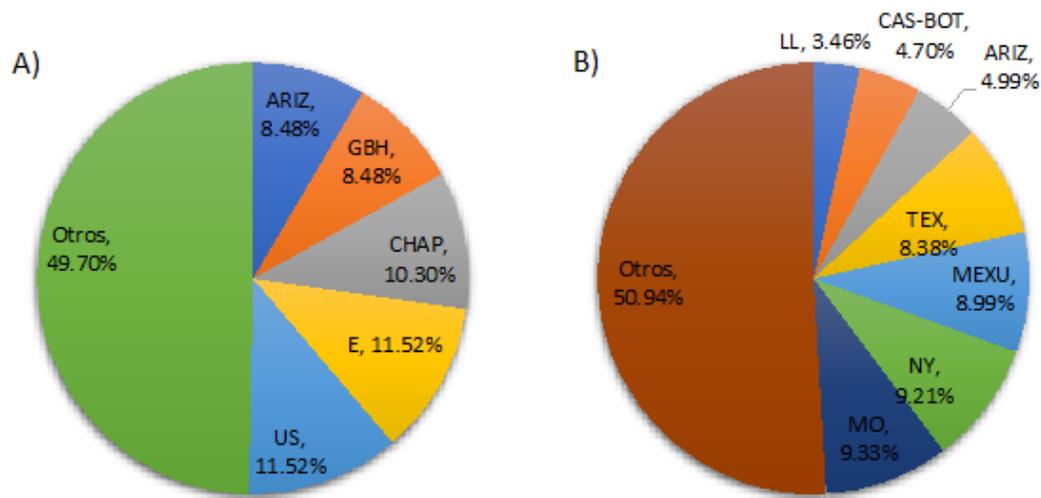
### Base de datos y Colecciones científicas

#### *Datos de presencia o registros de colecta*

A partir de las diferentes fuentes consultadas, se recopilaron un total de 21,337 registros, 475 para el género *Picea* y 20,862 para *Juniperus*. Tras la eliminación de duplicados se conservaron 165 registros para *Picea*, a partir de los cuáles, se obtuvo que el 50.3% de ellos se encontraban en las colecciones de los herbarios siguientes: Universidad de Arizona (ARIZ), herbario de la Universidad Autónoma de Chapingo (CHAP), Royal Botanic Garden Edinburgh (E), Herbarium of Geo. B. Hinton (GBH) y Smithsonian National Museum of Natural History (US) (Figura 1A). Con el primer filtro se mantuvieron 13,697 registros del género *Juniperus*, que se encuentran principalmente en siete colecciones que reúnen el 49.06% de los ejemplares: herbario de la Universidad de Arizona (ARIZ), herbario de la Academia de Ciencias de California

(CAS-BOT), Lundell Herbarium (LL), Herbario Nacional de México (MEXU), Missouri Botanical Garden (MO), New York Botanical Garden (NY) y el herbario de la University of Texas at Austin (TEX), (Figura 1B).

Al finalizar la depuración y validación de las bases de datos se mantuvieron 1,916 registros únicos, 51 para *Picea* y 1,865 para *Juniperus*, los cuales fueron empleados para la elaboración de los modelos (Cuadro 3).



**Figura 1. Porcentaje de aporte de cada institución al total de registros de las especies de A) *Picea* y B) *Juniperus***

Cuadro 2. Listado de especies consideradas en este trabajo. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059) se encuentran en las siguientes categorías: NA=no aparece, Pr=sujeta a protección especial, P=en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010); acorde a la UICN, las categorías son: LC=preocupación menor, NT=casi amenazado, VU=vulnerable, EN=en peligro (IUCN, 2012). Ca=Canadá, EU=Estados Unidos, Gt=Guatemala, Mx=México.

\*Especies que aparecen como una variedad dentro de la UICN.

Familia/ Género	Identificador (ID)	Especie	Distribución	NOM-059	UICN
Cupressaceae					
<i>Juniperus</i>	An	<i>J. angosturana</i> R. P. Adams	Endémica	NA	VU
	Ar	<i>J. arizonica</i> (R. P. Adams) R. P. Adams	Mx y EU	NA	LC
	As	<i>J. ashei</i> J. T. Buchholz	Mx y EU	NA	LC
	Bl	<i>J. blancoi</i> Martínez	Endémica	NA	NT
	Ca	<i>J. californica</i> Carrière	Mx y EU	Pr	LC
	Co	<i>J. coahuilensis</i> (Martínez) Gaussen ex R. P. Adams	Mx y EU	NA	LC
	Cm	<i>J. comitana</i> Martínez	Mx y Gt	NA	EN
	De	<i>J. deppeana</i> Steud.	Mx y EU	NA	LC
	Du	<i>J. durangensis</i> Martínez	Endémica	NA	LC
	Fl	<i>J. flaccida</i> Schltld.	Mx y EU	NA	LC
	Ja	<i>J. jaliscana</i> Martínez	Endémica	NA	EN

Ma	<i>J. martinezii</i> Pérez de la Rosa	Endémica	NA	VU*
Mo	<i>J. monosperma</i> (Engelm.) Sarg.	Mx y EU	NA	LC
Mt	<i>J. monticola</i> Martínez	Endémica	Pr	LC
Po	<i>J. poblana</i> (Martínez) R. P. Adams	Endémica	NA	NT*
Pi	<i>J. pinchotii</i> Sudw.	Mx y EU	NA	LC
Sa	<i>J. saltillensis</i> M. T. Hall	Endémica	NA	EN
Sc	<i>J. scopulorum</i> Sarg.	Mx, EU y Ca	NA	LC
St	<i>J. standleyi</i> Steyerm	Mx y Gt	NA	EN
Za	<i>J. zanonii</i> R. P. Adams	Endémica	NA	NA

Pinaceae

<i>Picea</i>	Pc	<i>P. chihuahuana</i> Martínez	Endémica	P	EN
	Pm	<i>P. martinezii</i> T. F. Patt.	Endémica	P	EN
	Px	<i>P. mexicana</i> Martínez	Endémica	P	EN*

Cuadro 3. Número de registros de presencia de abetos y juníperos tras los procesos de depuración.

<b>Especie</b>	<b>Registros originales</b>	<b>Registros sin duplicados</b>	<b>Registros finales</b>
<i>P. chihuahuana</i>	321	88	41
<i>P. martinezii</i>	75	41	6
<i>P. mexicana</i>	79	36	4
<i>J. angosturana</i>	414	212	39
<i>J. arizonica</i>	162	127	35
<i>J. ashei</i>	1,041	771	75
<i>J. blancoi</i>	144	69	14
<i>J. californica</i>	2,610	2,416	436
<i>J. coahuilensis</i>	407	400	55
<i>J. comitana</i>	160	93	30
<i>J. deppeana</i>	5,308	2,772	268
<i>J. durangensis</i>	443	306	52
<i>J. flaccida</i>	3,481	1,807	252
<i>J. jaliscana</i>	76	66	9
<i>J. martinezii</i>	168	116	21
<i>J. monosperma</i>	1,109	946	86
<i>J. monticola</i>	1,125	520	84
<i>J. pinchotii</i>	1,030	774	55
<i>J. poblana</i>	313	214	47
<i>J. saltillensis</i>	213	128	33
<i>J. scopulorum</i>	2,332	1,848	258
<i>J. standleyi</i>	86	66	11
<i>J. zanonii</i>	240	46	5
Total	21,337	13,862	1,916

#### *Revisión de ejemplares de las colecciones de herbario*

Se revisaron un total de 134 ejemplares del herbario UAMIZ. En cuanto al género *Picea*, únicamente existe un ejemplar depositado, mientras que, para el género *Juniperus*, existen 133 colectas. Cabe mencionar que algunos de ellos (cinco), no han

sido identificados hasta el nivel de especie, considerando lo anterior, se cuenta con 128 ejemplares de 15 especies, siendo las mejor representadas, *J. flaccida* y *J. deppeana*.

En el herbario MEXU se revisaron un total de 1,591 ejemplares, 26 para el género *Picea* y 1,565 de *Juniperus*, de las cuales, 16 ejemplares no se han determinado a nivel de especie. Un total de 95 ejemplares habían sido rectificadas por otros investigadores, en su mayoría, nombrados con anterioridad como *J. monosperma*, dichos registros fueron actualizados en las bases de datos. En este herbario están representadas las tres especies de *Picea* y 19 de *Juniperus*, únicamente *J. arizonica* no se encuentra dentro de la colección.

Del herbario IBUG se revisaron 277 ejemplares, incluyendo 12 especies de *Juniperus*, siendo *J. flaccida* la especie con mayor cantidad de registros. Por otra parte, en esta colección se encuentran depositados la mayoría de ejemplares de *J. coahuilensis* para el estado de Jalisco y que representa la distribución más sureña de esta especie.

### **Distribución conocida de especies-Provincias Fisiográficas**

A partir de los registros del cuadro 2 se realizaron los mapas de localidades de colecta y que se muestran en las figuras 2 a 10. Los resultados que se tienen con respecto a la distribución conocida de las especies de los dos géneros de este estudio con relación a las Provincias Fisiográficas son los siguientes:

## *Picea*

Las tres especies de *Picea* son endémicas de México y se encuentran únicamente en el norte del país. Entre ellas, *P. chihuahuana* es la que tiene una distribución más amplia, aunque solamente se encuentra en la provincia de la Sierra Madre Occidental (SMW) (Figura 2). En contraste, *P. martinezii* tiene una menor distribución y se encuentra en la Sierra Madre Oriental (SME) (Figura 2). Finalmente, *P. mexicana* es la especie con menor número de registros conocidos, sin embargo, se encuentra tanto en la SMW como en la SME (Figura 2).

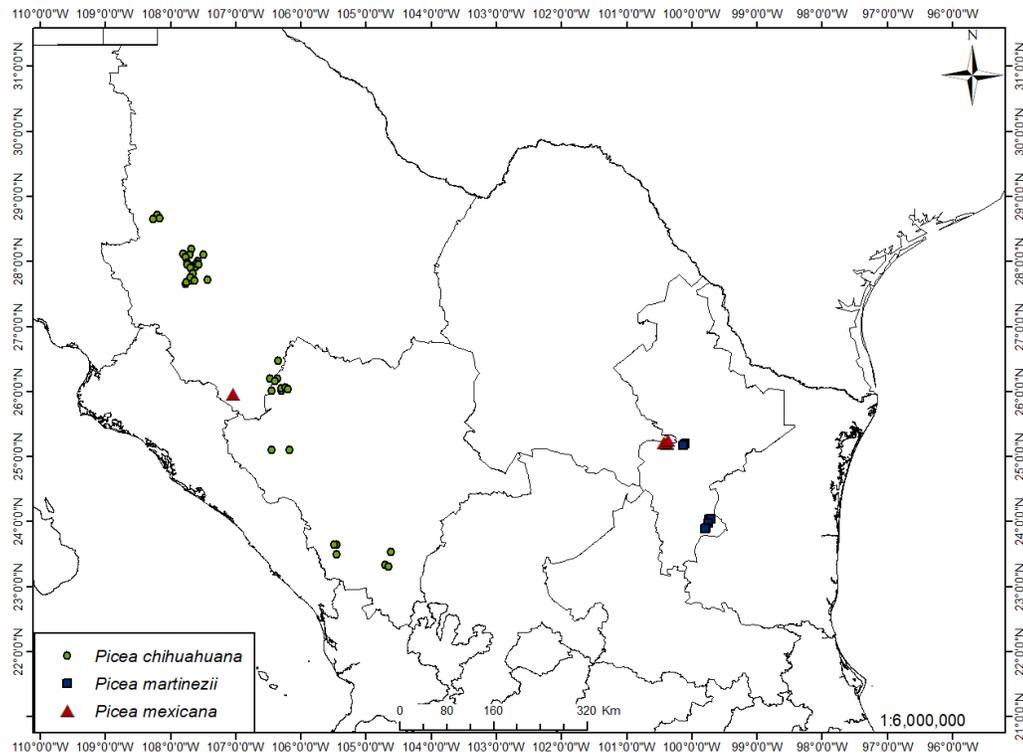


Figura 2. Localidades de colecta para las tres especies de *Picea*.

## *Juniperus*

### *Especies endémicas*

Las especies endémicas de *Juniperus* se encuentran en seis de las 15 provincias fisiográficas de México. Por un lado, *J. angosturana* está presente en el Eje Neovolcánico (ENV), en la Mesa del Centro (MC) y en la SME (Figura 3). En tanto, *J. blancoi* se distribuye en el ENV y en la SMW (Figura 3). De *J. durangensis* se registran localidades solo en la SMW (Figura 3). Mientras que *J. martinezii* tiene poblaciones disyuntas en el ENV, la MC y en la SMW (Figura 3). Por otra parte, *J. monticola* se encuentra principalmente en el ENV y con algunas localidades en la Sierra Madre del Sur (SMS) (Figura 3).

Respecto *J. jaliscana*, se tienen registros en el ENV (Figura 4), aunque se cuenta con algunas localidades en la SMW, que posiblemente correspondan a esta especie. En tanto, *J. poblana* se ha observado en la SMW, SME, el ENV y la SMS, siendo la especie que está presente en la mayor cantidad de provincias fisiográficas (Figura 4).

En el norte de México se encuentra *J. saltillensis*, en las provincias de la SME y las Sierras y Llanuras del Norte (Figura 4). Finalmente, *J. zanonii* presenta una distribución restringida a la SME (Figura 4).

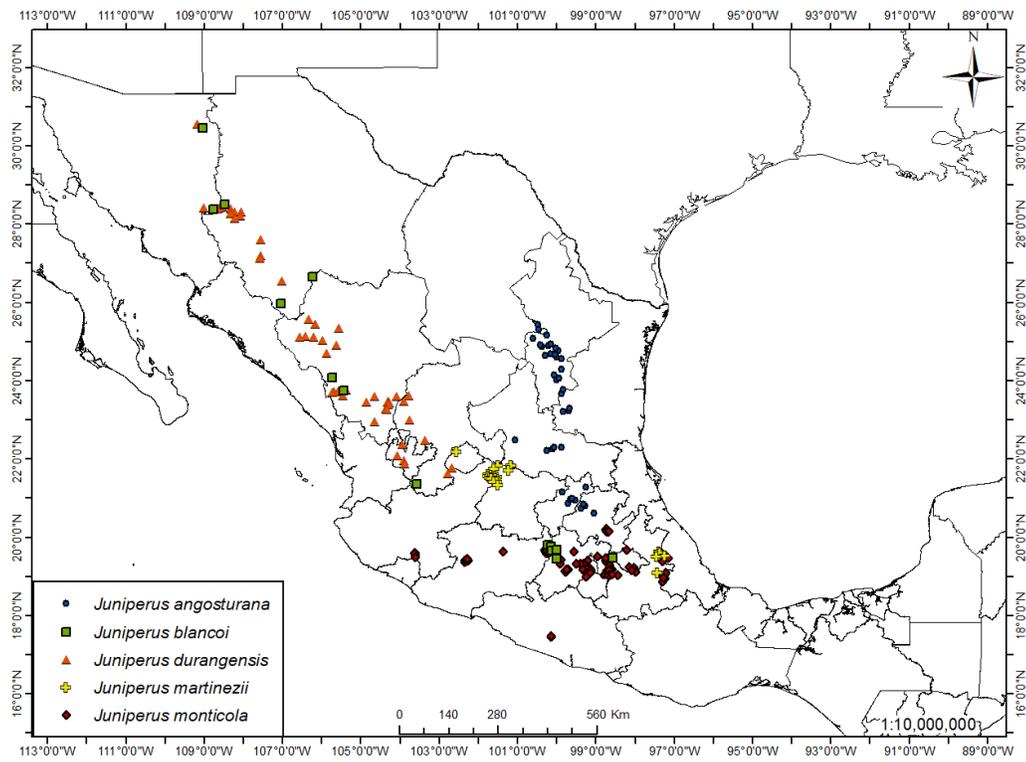


Figura 3. Localidades de colecta de cinco especies endémicas de *Juniperus*.

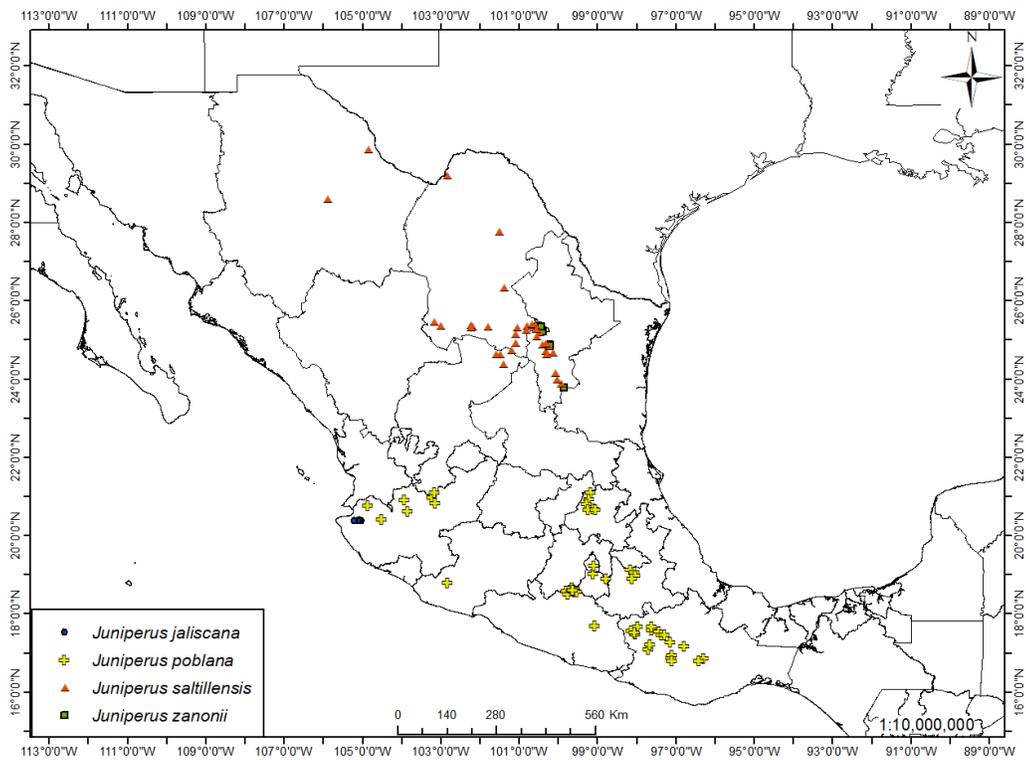


Figura 4. Localidades de colecta de cuatro especies endémicas de *Juniperus*.

### *Especies de México y Guatemala*

Las especies del sur de México y que se adentran hacia Guatemala, representan la distribución más sureña para para el continente americano. De las dos especies, *J. comitana* se distribuye en las Sierras de Chiapas y Guatemala, así como en las provincias de Tierras Altas Cristalinas y Tierras Altas Sedimentarias, en Guatemala (Figura 5). Mientras que, *J. standleyi* se localiza en las provincias de la Cordillera Centroamericana, Tierras Altas Sedimentarias y Tierras Altas Volcánicas (Figura 5).

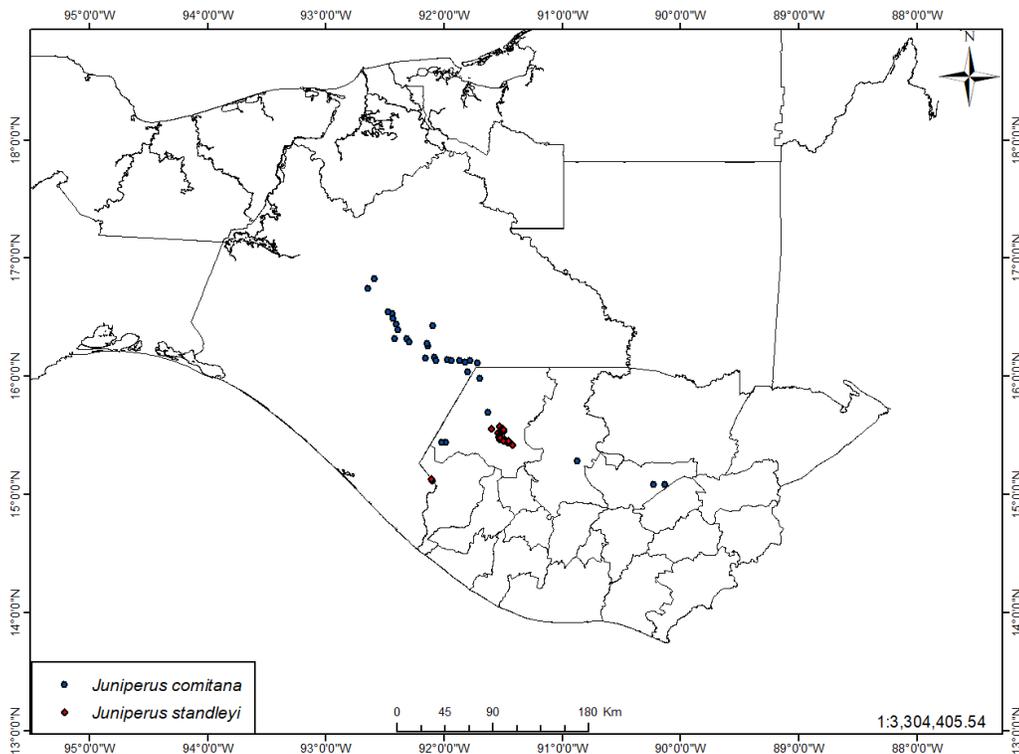


Figura 5. Localidades de colecta de dos especies de *Juniperus*, del sur de México.

### *Especies de México y Estados Unidos*

En el norte de México, *J. ashej*, se encuentra en las provincias de Tierras Bajas Centrales, Planicie Costera, Grandes Planicies, Meseta Ozark, dentro de los estados de Arkansas, Misuri, Oklahoma y Texas, Estados Unidos (E. U.); Grandes Llanuras de Norteamérica y la SME (Figura 6).

Con la mayor parte de su distribución en E. U., *J. monosperma* se ha registrado en las provincias de Cuencas y Cordilleras, Meseta de Colorado, Grandes Planicies, Montañas Rocosas del Sur, en los estados de Arizona, Colorado, Nevada, Nuevo México, Utah y Texas; mientras que en México se ha encontrado en las Sierras y Llanuras del Norte, en los estados de Chihuahua y Sonora (Figura 6).

Una de las especies que se encuentra en la NOM-059 es *J. californica*, la cual se localiza principalmente en California, E. U. y en Baja California, México (Figura 6). Está presente en las provincias de Cuencas y Cordilleras, Cascade-Sierra Mountains, Baja California, Margen del Pacífico y la Península de Baja California.

Por otra parte, *J. arizonica* abarca parte de las provincias de Cuencas y Cordilleras, en Arizona y Nuevo México, E. U.; Llanura Sonorense, SME y Sierras y Llanuras del Norte (Figura 7), mientras que *J. pinchotii* se encuentra en Cuencas y Cordilleras, Tierras Bajas Centrales, Grandes Planicies, dentro de Nuevo México, Oklahoma y Texas, Estados Unidos; y en la SME (Figura 7).

La especie *J. coahuilensis*, se distribuye en las provincias Cuencas y Cordilleras, Grandes Planicies, en el estado de Texas, E. U.; y en mayor medida en México, en las provincias Llanura Sonorense, SMW, SME y en las Sierras y Llanuras del Norte (Figura 7).

Las dos especies de distribución más amplia en México son *J. deppeana* y *J. flaccida*, se encuentran prácticamente en todo el país, exceptuando las zonas costeras y peninsulares. La primera está presente en las provincias de Cuencas y Cordilleras, Meseta de Colorado, Grandes Llanuras, que forman parte de los estados de Arizona, Nuevo México y Texas en E. U.; Sierras y Llanuras del Norte, ENV, MC, SMW, SME, SMS y en las Sierras de Chiapas y Guatemala (Figura 8). La segunda se localiza en las Cuencas y Cordilleras (en el estado de Texas), las Sierras y Llanuras del Norte, la Llanura Costera del Golfo Norte, ENV, MC, SMW, SME y SMS (Figura 9).

#### *Especie de México, Estados Unidos y Canadá*

Una de las especies con mayor distribución, que se encuentra desde el sur de Canadá hasta el norte de México, es *J. scopulorum*, la cual se ha registrado en la Región de La Cordillera, en Canadá; las provincias de Cuencas y Cordilleras, Meseta de Colorado, Meseta de Columbia, Grandes Planicies, Montañas Rocosas Medias, Montañas Rocosas del Norte, Montañas Rocosas del Sur, en lo que corresponde a E. U.; Sierras y Llanuras del Norte y SMW, en México (Figura 10).

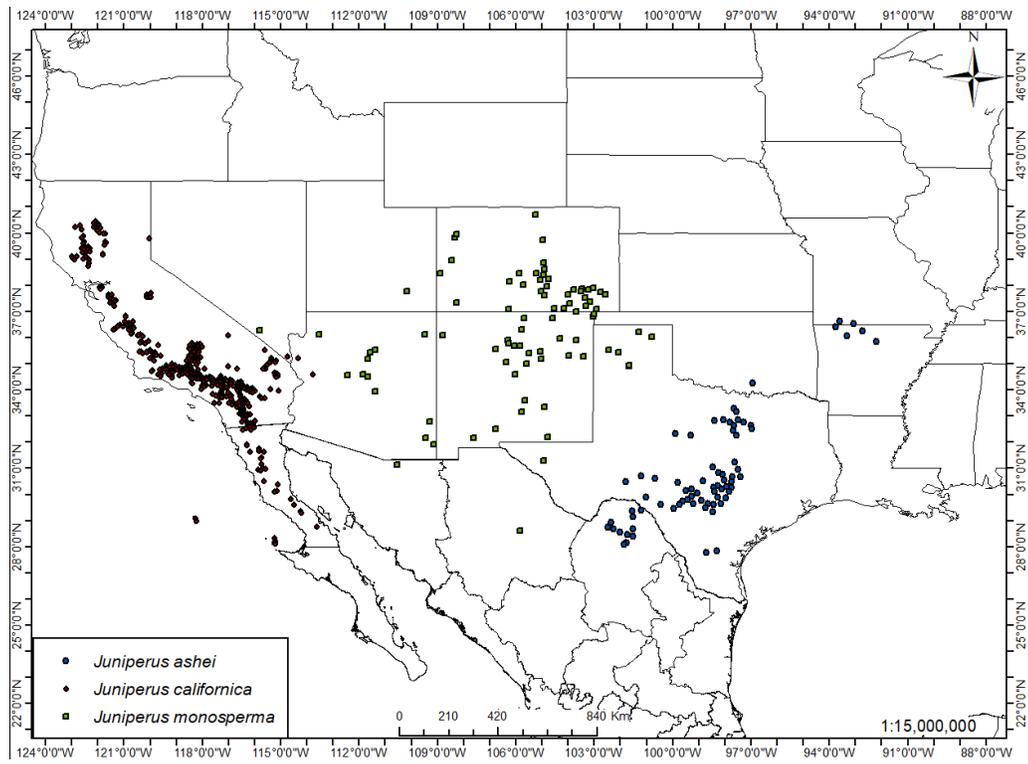


Figura 6. Localidades de colecta de tres especies de *Juniperus*.

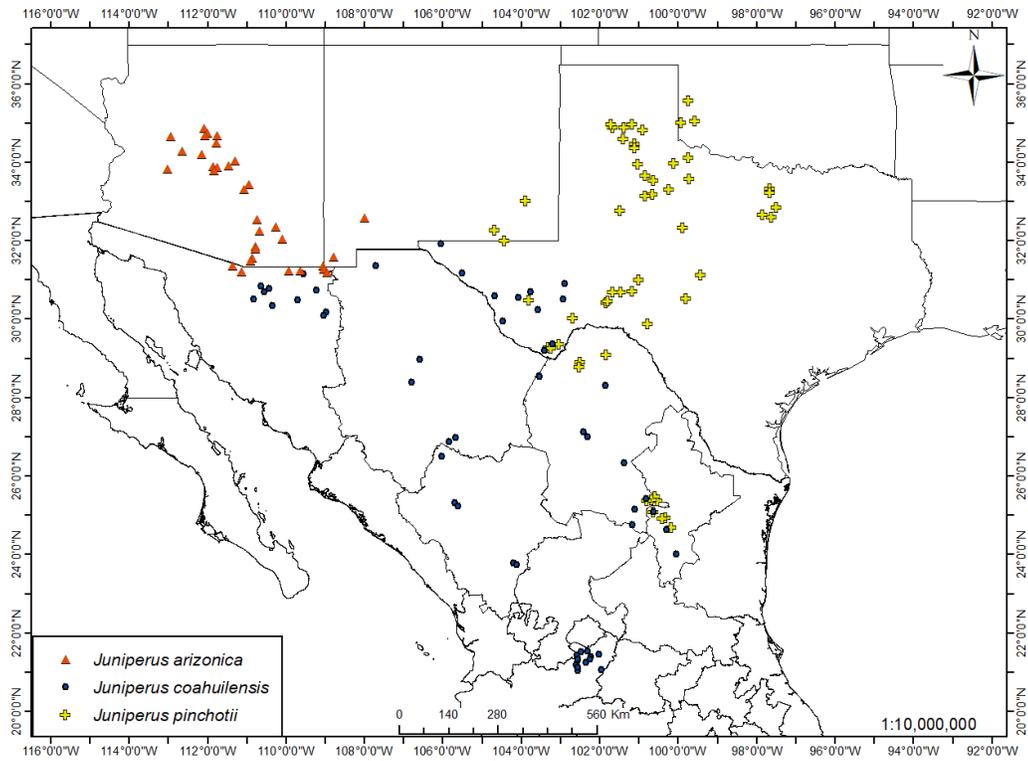


Figura 7. Localidades de colecta de tres especies de *Juniperus*.

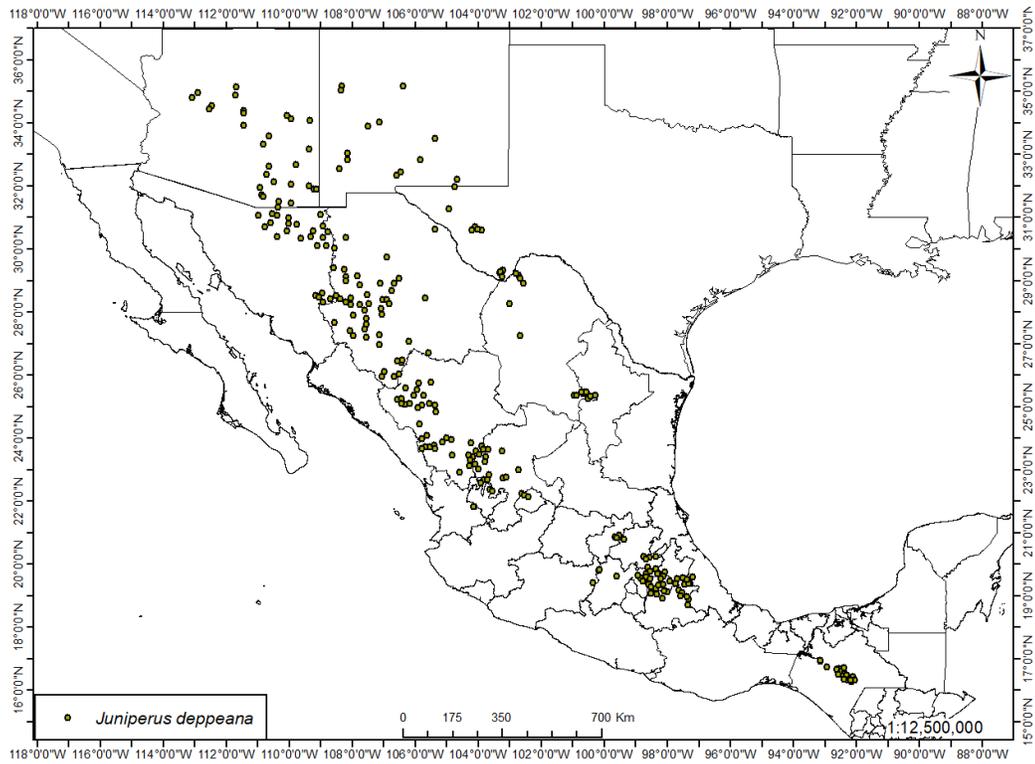


Figura 8. Localidades de colecta de *Juniperus deppeana*.

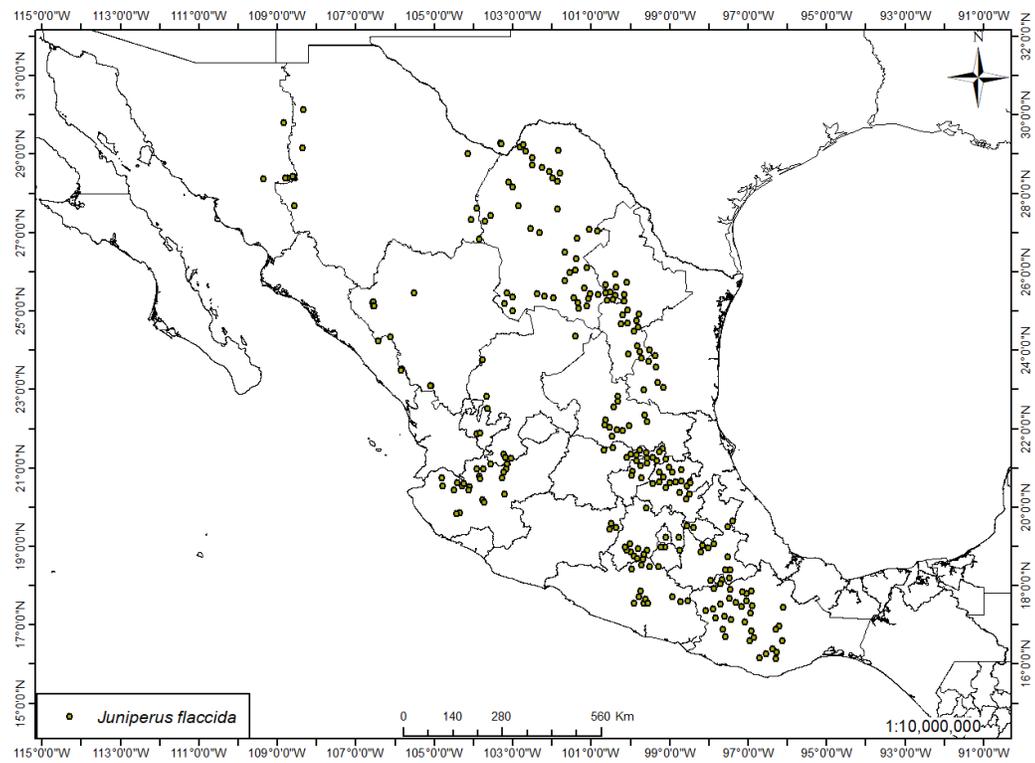


Figura 9. Localidades de colecta de *Juniperus flaccida*.

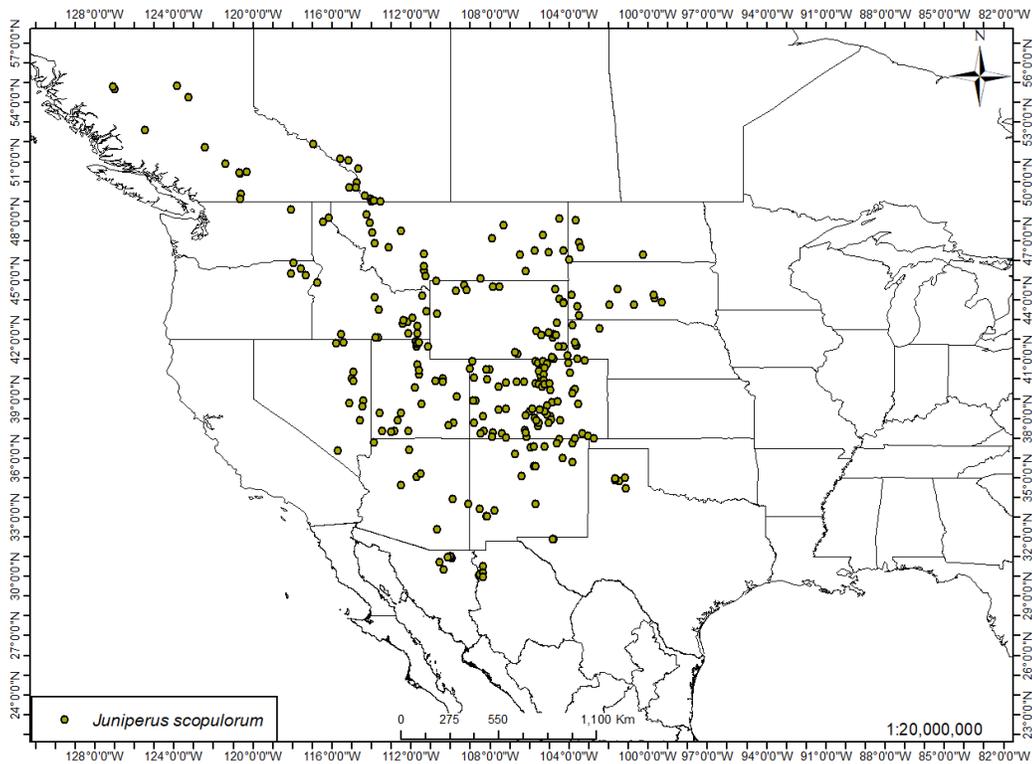


Figura 10. Localidades de colecta de *Juniperus scopulorum*.

### Relación con el ambiente

Los resultados del análisis de componentes principales (PCA), que corresponden a la proporción de la varianza explicada por cada componente principal y la influencia de cada variable sobre los mismos, se muestra en el Anexo I.

Para el caso de las especies de *Picea*, este análisis mostró que los 2 primeros componentes explican el 100% de la varianza. En el gráfico de estos componentes se pueden diferenciar claramente las tres especies de *Picea* (Figura 11). Las cuáles se ven influenciadas principalmente por las variables de precipitación anual, intervalo de temperatura y la temperatura promedio del trimestre más frío.

El PCA para las especies de *Juniperus* mostró que los 2 primeros componentes explican el 70% de la varianza. El primer componente está influenciado principalmente

por las variables Bio 7, 13 y 16; mientras que, el segundo componente, es afectado por las Bios 1 y 17. De tal manera que, al graficar estos dos componentes, podemos observar la relación entre las especies con el ambiente, identificando un gradiente que va de las especies que habitan en sitios semiáridos (derecha), hasta las que se encuentran en sitios más húmedos (izquierda), así mismo, se presenta un gradiente temperatura de especies que habitan lugares fríos (abajo) y las que se localizan en zonas más cálidas (arriba). Además, se detectan otras relaciones, como las de *J. monticola*, *J. standleyi* y *J. zanonii*, que se ubican en las zonas de alta montaña, pero con diferentes gradientes de humedad; por otra parte están las especies que se registran en sitios con poca oscilación de la temperatura (izquierda), y aquellas con mayor variabilidad (derecha). Cabe mencionar que, de entre todas las especies, *J. deppeana* puede considerarse como generalista al encontrarse al centro del gráfico (Figura 12).

De manera adicional, se obtuvo la información respectiva a las condiciones ambientales en las que se han colectado cada una de las 23 especies y se presenta en los Anexos II y III.

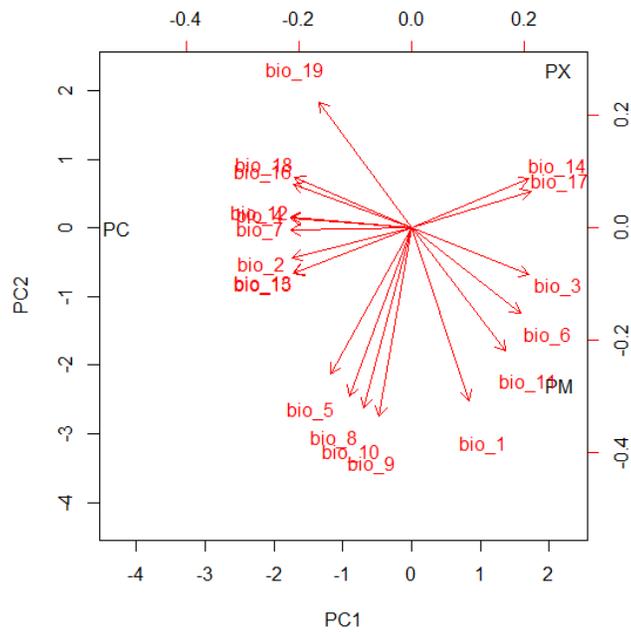


Figura 11. Análisis de componentes principales de las tres especies de *Picea*, con base a los promedios de las 19 variables ambientales de Worldclim.

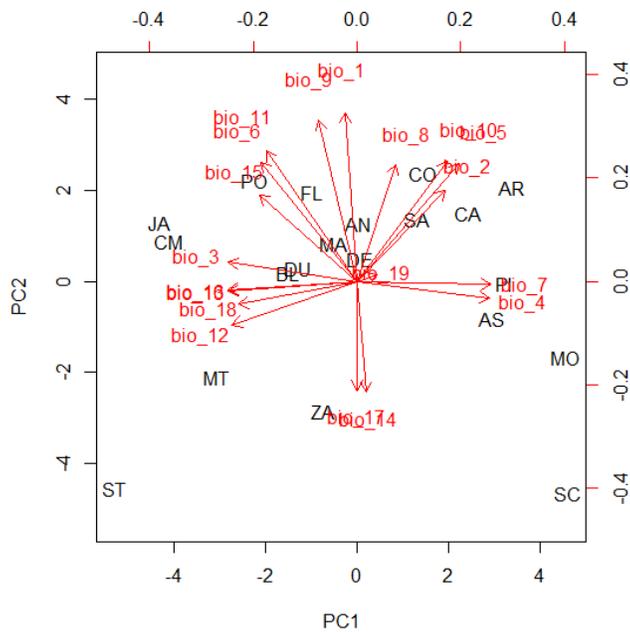


Figura 12. Análisis de componentes principales de las 20 especies de *Juniperus*, con base a los promedios de las 19 variables ambientales de Worldclim.

## **Modelos de distribución de especies**

### *Distribución potencial presente*

Los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) que se obtuvieron para el género *Picea* se consideran como muy buenos ( $AUC > 0.9$ ). De acuerdo a la prueba de ROC parcial, los modelos de *P. chihuahuana* son significativamente mejor que el azar ( $P < 0.05$ ), con razones superiores a 1. Por otra parte, la prueba de Jackknife con un valor umbral de “minimum training presence” para las especies de *P. martinezii* y *P. mexicana* arroja valores que no son estadísticamente significativos ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 4).

De entre los abetos, los MNE de *P. chihuahuana* están acotados a la SMW, donde se observan algunas regiones en las que no existen registros de la especie pero que cuenta con las condiciones ambientales idóneas para su presencia (Anexo IV, pag. 147). En tanto las otras dos especies, si bien, el área de distribución es menor, existen zonas en el estado de Veracruz con ambientes idóneos pero que no abarcan la distribución conocida de *P. martinezii* ni de *P. mexicana* (Anexo III, pag. 147 y 148).

Los MNE generados para el género *Juniperus* se consideran entre razonablemente buenos a muy buenos, con valores de AUC para los datos de entrenamiento entre 0.88 y 0.999, correspondientes *J. flaccida* y *J. zanonii* respectivamente. La prueba de ROC parcial arroja valores mayores a 1, con valores de significancia  $< 0.05$ . Mientras que las pruebas de Jackknife indican que los modelos de *J. blancoi* y *J. standleyi* son estadísticamente significativos ( $P < 0.05$ ), aunque no es así para *J. jaliscana* y *J. zanonii* (Cuadro 4). Los mapas de distribución potencial actual se muestran en el Anexo IV.

Cuadro 4. Evaluación de modelos con base al área bajo la curva (AUC) y receiver operating characteristics (ROC) parcial; y valores de probabilidad.

<b>ID</b>	<b>Valor de AUC train</b>	<b>Valor de AUC test</b>	<b>Valores de ROC parcial</b>	<b>Valor P</b>
<i>P. chihuahuana</i>	0.987	0.983	>1	<0.05
<i>P. martinezii</i>	0.994	-	-	0.4
<i>P. mexicana</i>	0.982	-	-	0.99
<i>J. angosturana</i>	0.947	0.919	>1	<0.05
<i>J. arizonica</i>	0.968	0.958	>1	<0.05
<i>J. ashei</i>	0.949	0.892	>1	<0.05
<i>J. blancoi</i>	0.885	-	-	0.03
<i>J. californica</i>	0.95	0.96	>1	<0.05
<i>J. coahuilensis</i>	0.898	0.927	>1	<0.05
<i>J. comitana</i>	0.953	0.973	>1	<0.05
<i>J. deppeana</i>	0.891	0.888	>1	<0.05
<i>J. durangensis</i>	0.926	0.942	>1	<0.05
<i>J. flaccida</i>	0.88	0.823	>1	<0.05
<i>J. jaliscana</i>	0.955	-	-	0.12
<i>J. martinezii</i>	0.958	0.854	>1	<0.05
<i>J. monosperma</i>	0.906	0.909	>1	<0.05
<i>J. monticola</i>	0.974	0.977	>1	<0.05
<i>J. pinchotii</i>	0.951	0.94	>1	<0.05
<i>J. poblana</i>	0.915	0.854	>1	<0.05
<i>J. saltillensis</i>	0.939	0.969	>1	<0.05
<i>J. scopulorum</i>	0.882	0.87	>1	<0.05
<i>J. standleyi</i>	0.994	-	-	0.03
<i>J. zanonii</i>	0.999	-	-	0.5

En México existen dos especies semejantes en su morfología y que forman parte de la vegetación sub-alpina del país. Una de ellas es *J. monticola* que se encuentran en las principales elevaciones del ENV como son, el Nevado de Colima, el Nevado de Toluca, El Tancítaro, Iztaccíhuatl y el Pico de Orizaba (Anexo IV, pag. 156); la otra especie se trata de *J. zanonii* que se encuentran en el Cerro El Potosí y en la

Sierra de Arteaga, en la provincia de la SME (Anexo IV, pag. 159). A pesar de ser consideradas en un principio como una sola especie, la distribución potencial de *J. zanonii* no se comparte con la de *J. monticola* en el ENV, aunque en el modelo previo a la delimitación con la región M, se predicen zonas en Oaxaca, manteniéndose separada geográficamente de *J. monticola* y compartiendo solamente algunos caracteres morfológicos.

En el ENV se predicen áreas ambientalmente idóneas para *J. martinezii* en los que no se registra la especie pero que se encuentran entre las poblaciones disjuntas del este, en Veracruz, y las del oeste, en los estados de Jalisco, Aguascalientes y Guanajuato (Anexo IV, pag. 155). Para *J. blancoi* también se predice zonas en las que no se reporta la especie a lo largo de la SMW y el ENV (Anexo IV, pag. 150). De igual forma, los MDE predicen áreas potenciales para *J. jaliscana* en los estados de Durango, Nayarit y Jalisco, sin embargo, en los últimos años únicamente se ha observado en este último estado (Anexo IV, pag.155).

En el sur del país, de las dos especies de *Juniperus*, *J. comitana* tiene mayor área predicha en México, con algunas zonas discontinuas a través de la Sierra de Cochumatanes y hasta la Sierra de las Minas (Anexo IV, pag. 151). En contraste, *J. standleyi* solo se observa en el volcán Tacaná en Chiapas y la mayor área predicha se encuentra en Guatemala (Anexo IV, pag. 159).

En el norte, en el estado de Texas, gran parte de su territorio cuenta con las condiciones ambientales favorables para *J. ashei* (Anexo IV, pag.149) y *J. pinchotii* (Anexo IV, pag.157) y que se adentran hacia México por los estados de Coahuila y Nuevo León. Igualmente, en el sur de los Estados Unidos, en los estados de Arizona

y Nuevo México, está presente *J. monosperma*, aunque también se predicen algunas zonas propicias para su crecimiento en el norte de México, en los estados fronterizos de Sonora, Chihuahua y Coahuila (Anexo IV, pag. 156).

Entre las especies más tolerantes a la sequía se encuentra *J. californica*, cuyo modelo se ajusta a las localidades conocidas, mostrando algunas zonas favorables en el centro de California (Anexo IV, pag. 150).

Otra especie tolerante a los ambientes áridos es *J. coahuilensis*, la cual habita en los márgenes de los desiertos, además de que en el MNE se predicen zonas potenciales dentro del desierto (Anexo IV, pag. 151).

Por otra parte, la distribución potencial de *J. saltillensis* sugiere áreas potenciales en otras sierras de Coahuila y al suroeste de las localidades conocidas de Nuevo León, sin embargo, las localidades del estado de Chihuahua no se predicen dentro de la distribución potencial (Anexo IV, pag. 158).

Las dos especies más abundantes en México son *J. deppeana*, *J. flaccida*, las cuáles también resultan tener la distribución potencial más amplia dentro del país. La primera muestra además sitios potenciales en el estado de Oaxaca y dentro de Guatemala (Anexo IV, pag. 152). Mientras que, el modelo de *J. flaccida*, sugiere una conexión entre las localidades del este del ENV con las del oeste a través del norte del estado de Michoacán (Anexo IV, pag. 154).

Adicionalmente, se realizaron modelos alternativos para *J. deppeana*, *J. flaccida* y *J. poblana*, en los que se hace una comparación acorde al listado de Gernandt y Pérez de la Rosa (2014). Los modelos alternativos para *J. deppeana*, muestran una menor área de predicción para el estado de Oaxaca y en Guatemala (Anexo IV, pag. 152 y

153). Mientras que en el caso de *J. flaccida*, resultan ser similares visualmente (Anexo IV, pag. 154). En el caso de *J. poblana*, si bien el área de predicción es menor, al igual que *J. flaccida*, se encuentra en el ENV y la SMS (Anexo IV, pag. 157).

#### *Distribución potencial durante el UMG*

Los MDE se muestran en las figuras 13 a 38. En ellos se muestran los cambios producidos en la distribución potencial para los dos escenarios climáticos (CCSM4 y MIROC) y para el modelo consenso de ambas proyecciones. Sin embargo, en algunos casos no hubo coincidencia entre los MCG, por lo que solo se muestran dos mapas.

Las proyecciones al UMG sugieren la existencia de un ambiente propicio para la expansión del género *Picea*. De acuerdo a los resultados, el escenario CCSM4 mostró un incremento en la distribución potencial de *P. chihuahuana* y *P. mexicana*, obteniendo más beneficio la primera, en términos de haber mostrado mayor área de distribución. En contraparte, en el escenario MIROC, se observa un incremento de área para las tres especies, siendo mayor para *P. mexicana* y menor para *P. chihuahuana* (Cuadro 5).

Los modelos de *P. chihuahuana* muestran que para el escenario CCSM4, existieron áreas potenciales tan al norte como las hay en la actualidad. Mientras que, para ambos escenarios, pudo haber estado presente en la SME y en la parte oriental del ENV (Figura 13). Las condiciones en las que se pudo encontrar durante el UMG, fueron de menor temperatura, precipitación y altitud (Anexo V, pag. 160).

Con respecto a *P. martinezii*, si bien se observan predicciones al sur de su distribución potencial en ambos escenarios, es en el modelo de MIROC, donde la

distribución potencial es mayor, realizando predicciones al norte y sur de la SME, así como en el este del ENV (Figura 14). Por otra parte, los sitios en los que se predice durante el UMG, pudieron haber sido más fríos y con menor humedad, mientras que la altitud, para el modelo CCSM4 fue mayor y en el modelo MIROC fue menor (Anexo V, pag. 160).

Finalmente, si tomamos como referencia la distribución potencial actual, *P. mexicana* también mostro predicciones hacia el sur en el escenario MIROC, pero mostrando algunas predicciones más al norte bajo el modelo de CCSM4. Se observa que pudo haber estado presente en la SMW, SME, además de mostrar algunas zonas favorables en la MC y el ENV (Figura 15). Con base en los modelos del UMG, esta especie pudo haberse encontrado en sitios más fríos y de menor humedad, así como de menor altitud, en comparación con la actualidad (Anexo V, pag.161).

En el caso de los juníperos, para poco más de la mitad de las especies mostraron se presentaron condiciones desfavorables durante el UMG, a excepción de nueve especies, en las que se encuentran elementos de hábitats montanos, como *J. zanonii*, además de otras especies como *J. californica* y *J. deppeana*.

La distribución potencial durante el UMG de las especies de *Juniperus* fue mayor en nueve casos considerando ambos escenarios, sin embargo, *J. jaliscana* incrementa en el escenario CCSM4 y no en el MIROC, el caso contrario se da con *J. saltillensis* (Cuadro 5). No obstante, el cambio climático del UMG al presente tuvo efectos positivos, así como negativos. En el escenario CCSM4 las especies más afectadas fueron *J. monticola* y *J. angosturana*, la primera pudo beneficiarse con el clima del UMG, mientras que con la segunda ocurrió lo contrario. De acuerdo al

escenario MIROC, la especie que se benefició más con el clima del UMG fue *J. zanonii*, mientras que, la especie que resultó afectada de manera negativa fue *J. angosturana* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Área predicha por los modelos para el pasado y el UMG bajo los dos escenarios climáticos y razón de cambio entre los dos periodos de tiempo. \*Especies que aumentan o disminuyen su distribución dependiendo del escenario.

ID	Área actual (km <sup>2</sup> )	Área escenario CCSM4 (km <sup>2</sup> )	Razón de cambio del UMG respecto al presente	Área escenario MIROC (km <sup>2</sup> )	Razón de cambio del UMG respecto al presente
<i>P. chihuahuana</i>	18,447	83,742.5	4.54	64,070	3.47
<i>P. martinezii</i> *	4,214	1,763	0.42	32,164	7.63
<i>P. mexicana</i>	2,279	7,525	3.30	22,123.5	9.71
<i>J. angosturana</i>	30,508.5	43	0.00	2,795	0.09
<i>J. arizonica</i>	87,741.5	53,105	0.61	8,901	0.10
<i>J. ashei</i>	20,7389	1,118	0.01	86,365.5	0.42
<i>J. blancoi</i>	15,7251	177,439.5	1.13	172,602	1.10
<i>J. californica</i>	152,349	198,466.5	1.30	160,153.5	1.05
<i>J. coahuilensis</i>	451,199	84,452	0.19	269,588.5	0.60
<i>J. comitana</i>	12,792.5	3,848.5	0.30	5,117	0.40
<i>J. deppeana</i>	630,874.5	868,342	1.38	967,414	1.53
<i>J. durangensis</i>	72,154	94,600	1.31	93,503.5	1.30
<i>J. flaccida</i>	428,495	251,958.5	0.59	303,021	0.71
<i>J. jaliscana</i> *	12,126	6,729.5	1.02	3,289.5	0.84
<i>J. martinezii</i>	23,886.5	26,574	1.11	73,831	3.09
<i>J. monosperma</i>	970,875.5	298,656.5	0.31	403,103.5	0.42
<i>J. monticola</i>	27,993	88,300.5	3.15	62,156.5	2.22
<i>J. pinchotii</i>	379,797.5	46,074.5	0.12	204,551	0.54
<i>J. poblana</i>	120,056	27,971.5	0.23	42,075.5	0.35
<i>J. saltillensis</i> *	92,708	43,107.5	0.47	107,371	1.16
<i>J. scopulorum</i>	2,004,230	392,762	0.20	486,330	0.24
<i>J. standleyi</i>	3,139	2,365	0.75	322.5	0.10
<i>J. zanonii</i>	1,806	3,139	1.74	22,360	12.38

Los escenarios climáticos, además de las variaciones en el tamaño del área potencial, también presentaron diferencias en las zonas que predecían como idóneas para la presencia de la especie, ya que, en algunos casos, los modelos para el CCSM4, mostraban predicciones con límites septentrionales más al norte, en comparación con MIROC, como en el caso de *J. arizonica* o *J. blancoi*, sin embargo, en algunos casos ocurría lo contrario, por ejemplo, los modelos de *J. ashei* o *J. saltillensis*.

La distribución potencial de *J. angosturana* durante el UMG mostró que se pudo haber encontrado en algunas partes de la MC o del ENV (Figura 16), en condiciones más frías y de mayor humedad, de acuerdo al escenario CCSM4, en contraste con el escenario MIROC, que registra valores más bajos de temperatura promedio anual y precipitación anual, además, en ambos casos se observa que pudo encontrarse a mayores altitudes (Anexo V, pag. 161).

En el caso de *J. arizonica*, las predicciones del UMG se muestran más al sur de su distribución potencial actual, llegando hasta el sur del estado de Chihuahua (Figura 17). De acuerdo a los modelos, los sitios considerados como adecuados para la presencia de la especie, eran más fríos y con mayor humedad durante el UMG, además de encontrarse a menores altitudes (Anexo V, pag. 162).

Los modelos de *J. ashei* muestran que pudo haber estado presente hacia el suroeste de su distribución potencial actual y se observan dos posibles zonas que mantuvieron condiciones favorables para la especie desde el UMG hasta la actualidad (Figura 18). Durante el pasado, esta especie se predice en sitios más fríos, con menor humedad y a mayores altitudes (Anexo V, pag. 162).

Por otra parte, es posible que *J. blancoi* se encontrara hacia el sur en la SMW, y al oeste en el ENV, aunque el escenario CCSM4 indica que el Estado de México ha conservado condiciones adecuadas para la especie desde el UMG (Figura 19). Respecto a las condiciones ambientales en las que se predice en el pasado, éstas eran de menor temperatura y precipitación, así como menores altitudes (Anexo V, pag. 163).

Durante el UMG, los modelos de *J. californica* predicen su permanencia en el oeste de California, así como en la frontera con Baja California, además de haber alcanzado una distribución más sureña en la península de Baja California (Figura 20). Las condiciones durante el UMG pudieron haber sido de menor temperatura, menor precipitación en el escenario CCSM4 y mayor en el modelo MIROC, con una altitud promedio por debajo de lo que se encuentra en el presente (Anexo V, pag. 163).

Los modelos de *J. coahuilensis* muestran una dinámica más compleja, pues en algunos casos pudo encontrarse más al sur en la SME, mientras que, en otros casos hacia el oeste en la SMW, además de mostrar su permanencia en el noreste de Jalisco y sureste de Chihuahua (Figura 21). Por otra parte, los sitios en los que se predice durante el UMG se caracterizaron por ser más fríos, con mayor humedad y encontrarse a menores altitudes (Anexo V, pag. 164).

En el sur de México, *J. comitana* pudo haberse encontrado en la provincia de Sierras de Chiapas y Guatemala, con una distribución potencial menor en el escenario CCSM4, pero con una distribución potencial más al sur en el modelo MIROC (Figura 22). De igual forma, las condiciones ambientales de los sitios predichos difirieron en cada modelo, siendo más fríos, áridos y con mayor altitud en el CCSM4, por otra parte,

en el MIROC, la temperatura promedio fue mayor, mientras que la precipitación y la altitud fue menor (Anexo V, pag. 164).

Una de las especies más abundantes actualmente en México, es *J. deppeana*. Durante el UMG, esta especie pudo haberse establecido en el interior del desierto Chihuahuense (Figura 23). Las predicciones del pasado muestran sitios con menor temperatura promedio, aunque la diferencia en la precipitación anual no supera los 15 mm entre ambos tiempos y pudo haberse encontrado a menores altitudes (Anexo V, pag. 165).

La especie *J. durangensis* pudo haberse encontrado en sitios más al sur durante el UMG, con mayor área potencial en el estado de Jalisco (Figura 26). Las condiciones de temperatura promedio anual, la precipitación anual y la altitud, mostraron valores más bajos para los modelos del UMG en comparación al presente (Anexo V, pag. 165).

Otra de las especies actualmente más abundantes en México es *J. flaccida*, la cual muestra cambios en su distribución potencial más complejos que el desplazamiento latitudinal. Si bien se observan regiones con permanencia de ambientes idóneos para la presencia de esta especie desde el UMG (SME, SMS y ENV), estas zonas pudieron haber estado aisladas unas de otras, mientras que, en otros casos, se observan áreas potenciales hacia el este, oeste y sur de su distribución actual (Figura 27). La distribución potencial del UMG presenta valores de temperatura más bajos, mayor precipitación y menor altitud en el escenario CCSM4, a su vez, en el escenario MIROC, la temperatura, la humedad y la altitud, es menor (Anexo V, pag. 166).

Con respecto a *J. jaliscana*, los cambios más notorios en la distribución potencial del UMG, con respecto al presente, es la falta de predicción en los estados de Durango y Nayarit (Figura 29). Las condiciones ambientales en los modelos del UMG se caracterizaron por ser más frías, con menor humedad, además de encontrarse a menor altitud (Anexo V, pag. 166).

Por otra parte, los modelos de *J. martinezii* señalan una distribución potencial más al sur y sureste con respecto a los modelos del presente, además, en el escenario MIROC, la distribución potencial es continua entre Aguascalientes y Puebla (Figura 30). Los modelos del pasado presentan condiciones más frías y de menor humedad, para el escenario CCSM4, pero ambientes más húmedos en el modelo MIROC, mientras que la altitud fue menor en ambas proyecciones (Anexo V, pag. 167).

Los modelos del UMG de *J. monosperma*, sugieren la presencia de esta especie más al sur de su distribución potencial actual (Figura 31). En el UMG, esta especie pudo haberse encontrado en sitios con mayor temperatura promedio, de casi 1°C, con mayor humedad y a menores altitudes (Anexo V, pag. 167).

En el caso de *J. moticola*, los modelos del pasado indican mayor área con condiciones ambientales idóneas en varias direcciones alrededor de la distribución potencial actual, por otra parte, sitios como los de Jalisco y Michoacán, se mantuvieron aislados de la región oriental del ENV (Figura 32). Con base en los modelos, pudo haberse encontrado en sitios con menor temperatura, mayor precipitación y a menores altitudes (Anexo V, pag. 168).

Durante el UMG, *J. pinchotii* pudo haber tenido una distribución potencial más al sur con respecto al presente (Figura 33), bajo condiciones más frías y de menor humedad, pero a mayores altitudes (Anexo V, pag. 168).

Por otra parte, los modelos de *J. poblana* sugieren su presencia principalmente en la SMS durante el UMG, con una distribución fragmentada que posteriormente se expandió en el ENV y la SMS (Figura 34). Los sitios potenciales para su presencia durante el UMG se caracterizaron por tener valores menores de temperatura y precipitación, además de encontrarse a menores altitudes (Anexo V, pag. 169).

La distribución potencial durante UMG de *J. saltillensis* presenta sitios en la SME que mantuvieron condiciones favorables hasta el presente, además de mostrar sitios al suroeste de su distribución actual (Figura 35). Las condiciones en las que pudo haberse encontrado durante el pasado se caracterizaron por haber sido más frías y áridas en el escenario CCSM4, mientras que, en el escenario MIROC, fueron de menor temperatura y mayor humedad, finalmente, en ambos casos la altitud fue mayor (Anexo V, pag. 169).

La especie con la distribución latitudinal más amplia en la actualidad es *J. scopulorum*, sin embargo, durante el UMG pudo haberse encontrado en parte de los desiertos Sonorense y Chihuahuense, y tan al sur como se observa en su distribución potencial actual (Figura 36). Los valores de temperatura promedio, precipitación anual son mayores en los modelos del UMG con respecto al presente, mientras que la altitud promedio se encuentra por debajo de la del presente (Anexo V, pag. 170).

Los resultados de los modelos del UMG de *J. standleyi* sugieren su presencia en algunos sitios al norte y sur con respecto a la distribución potencial actual (Figura

37). Por otra parte, las condiciones ambientales en las que pudo haberse encontrado en el pasado, fueron de menor temperatura y humedad, así como a menores altitudes (Anexo V, pag. 170).

En el noreste de México, los modelos del UMG de *J. zanonii* indican que pudo haberse encontrado hacia al suroeste con respecto al modelo del presente (Figura 38). Con respecto al ambiente en el que se pudo haber encontrado durante el UMG, este presentó valores más bajos de temperatura promedio y precipitación anual, así como una altitud promedio menor (Anexo V, pag. 171).

Respecto a los mapas de distribución potencial por género, las localidades fósiles de *Picea* que se encuentran en el centro de México, no coinciden con los modelos obtenidos, tampoco se cuentan con más registros en otras regiones de la distribución potencial que nos permitan tener un panorama más completo sobre la distribución de *Picea* durante el UMG (Anexo VI, pag. 172).

La distribución potencial del género *Juniperus* incluye la mayoría de los registros fósiles, sin embargo, la mayoría de ellos se encuentran en el norte del país y sur de Estados Unidos, por lo que tampoco se tiene un registro completo de su distribución durante el UMG (Anexo VI, pag. 173).

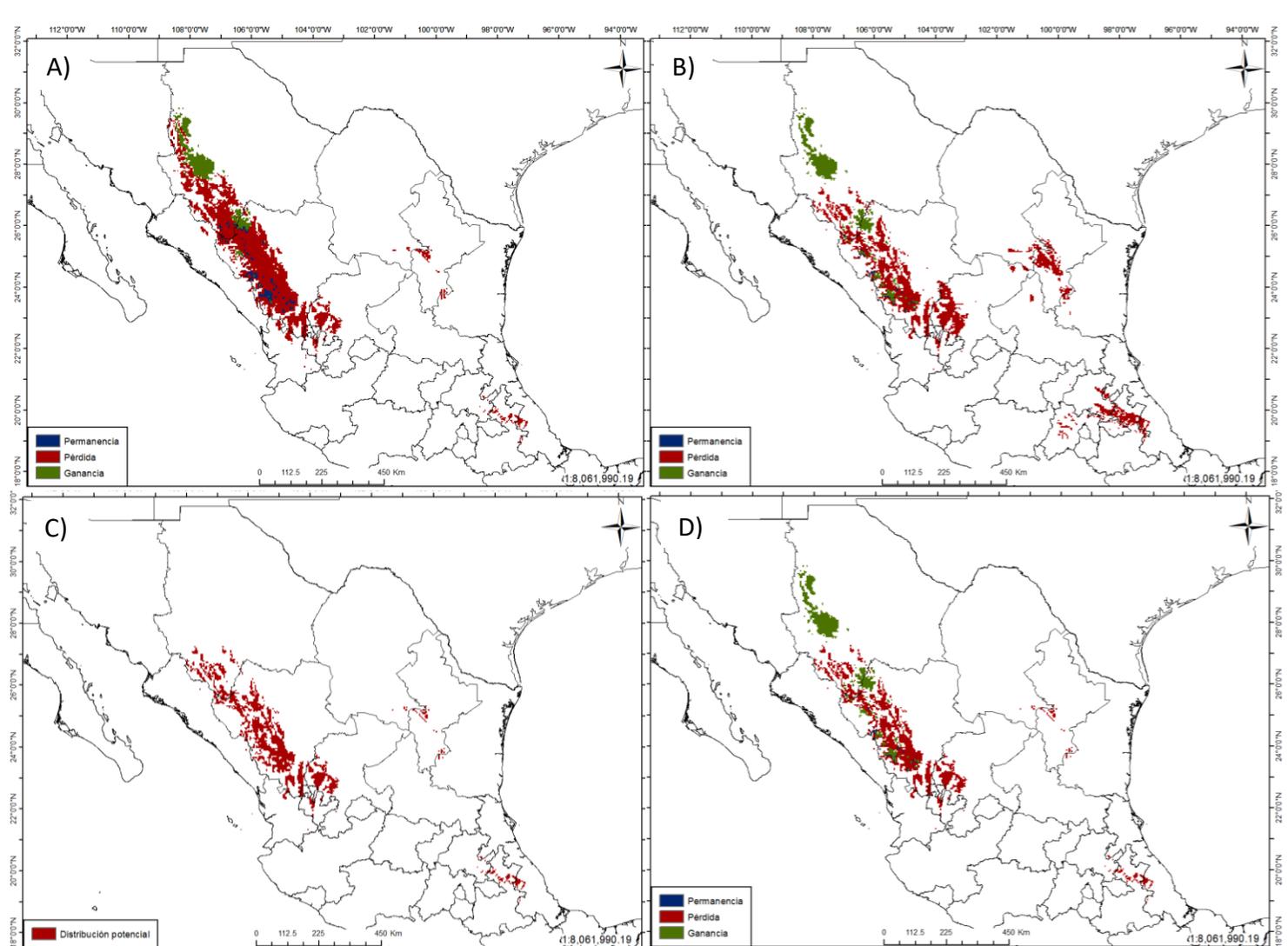


Figura 13. Distribución potencial de *Picea chihuahuana*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

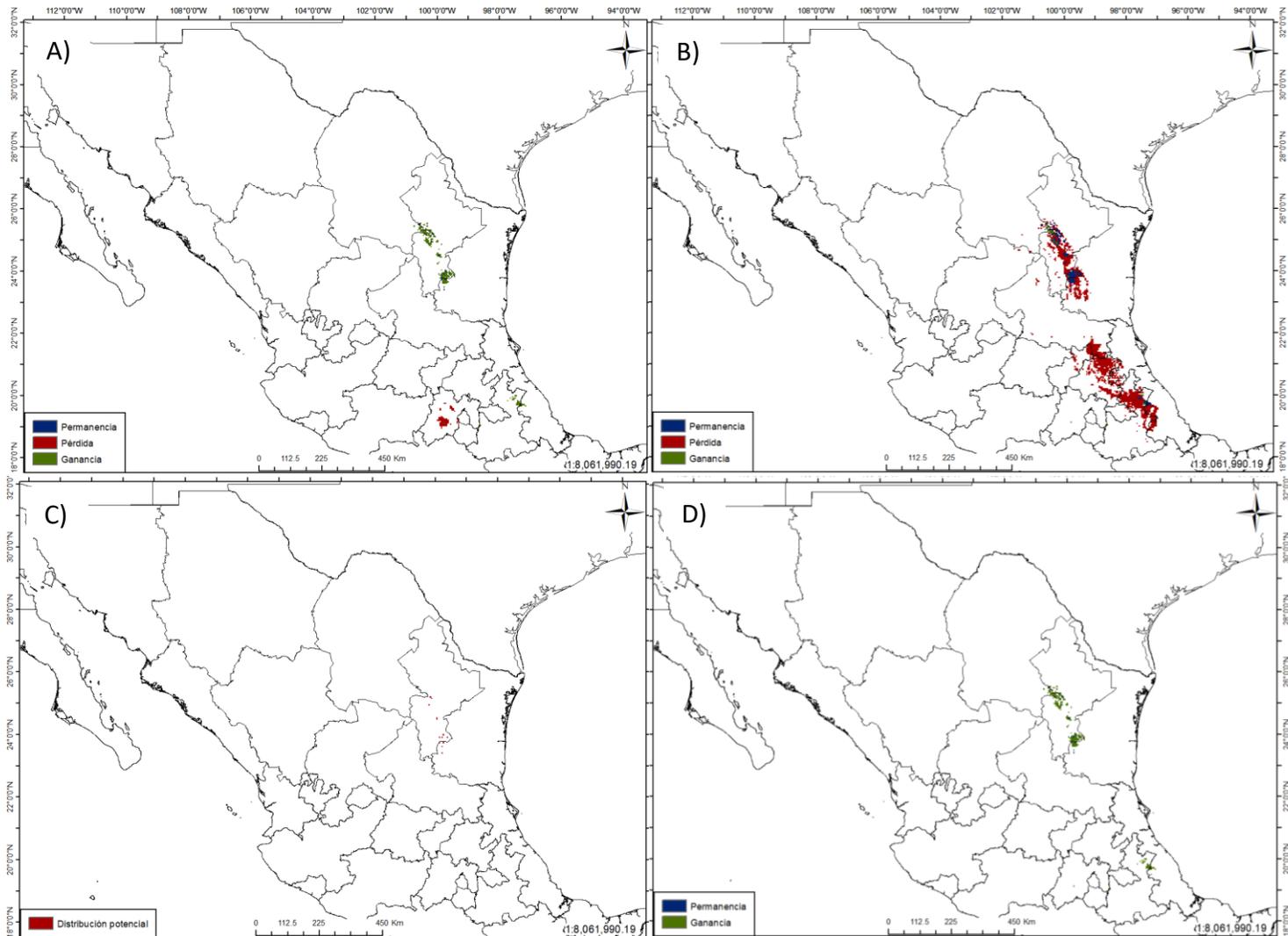


Figura 14. Distribución potencial de *Picea martinezii*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

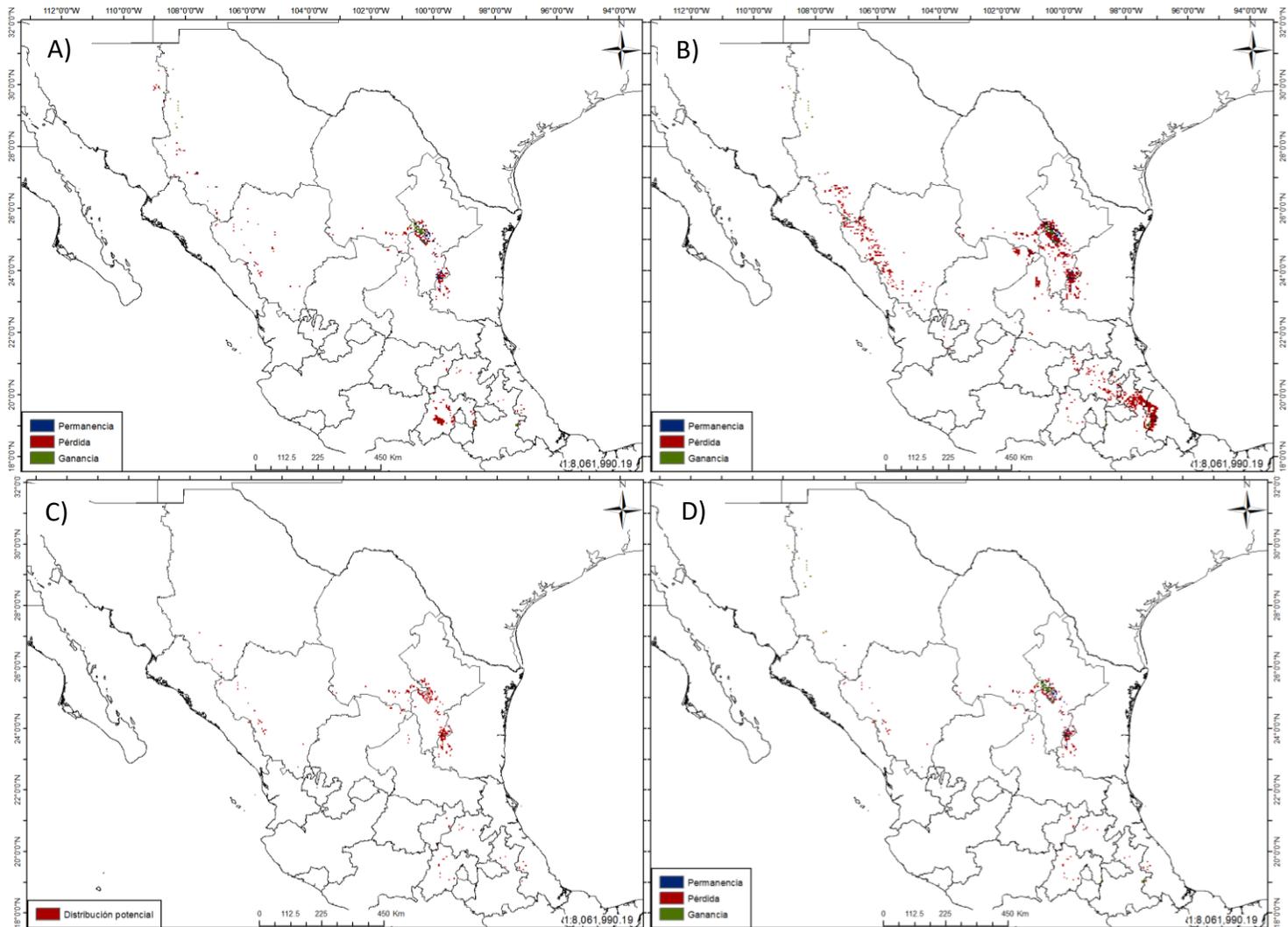


Figura 15. Distribución potencial de *Picea mexicana*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

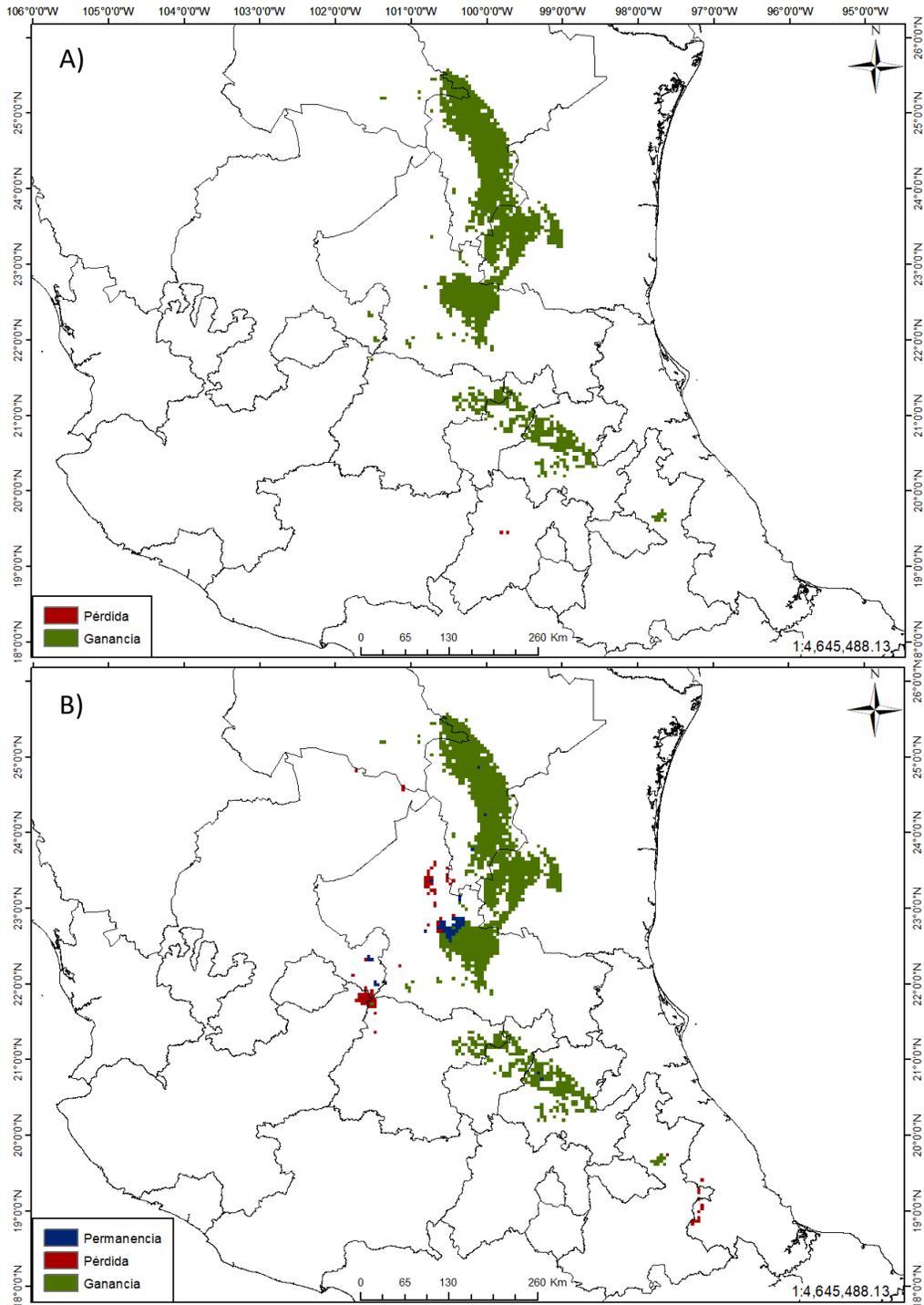


Figura 16. Distribución potencial de *Juniperus angosturana*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC.

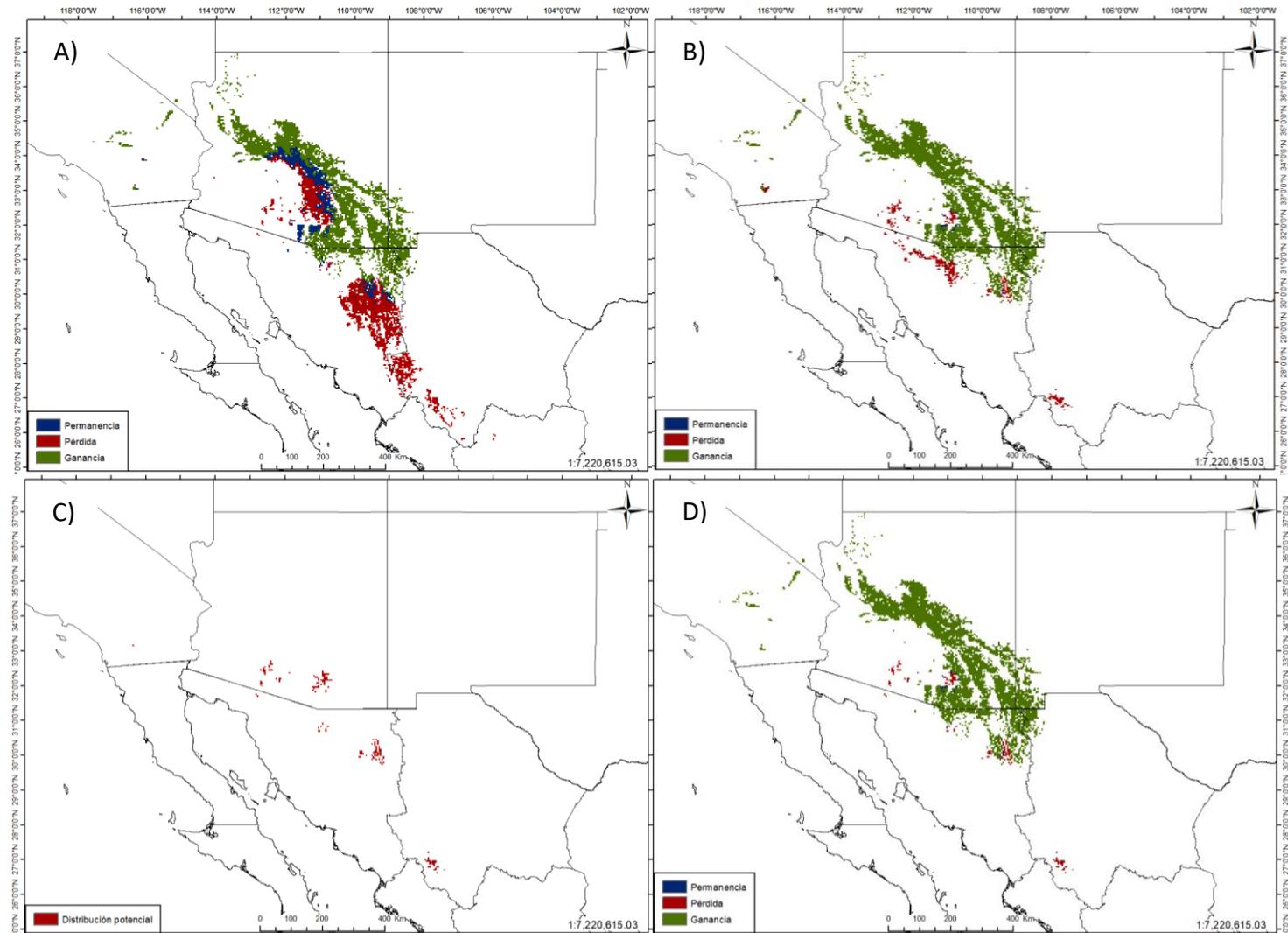


Figura 17. Distribución potencial de *Juniperus arizonica*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

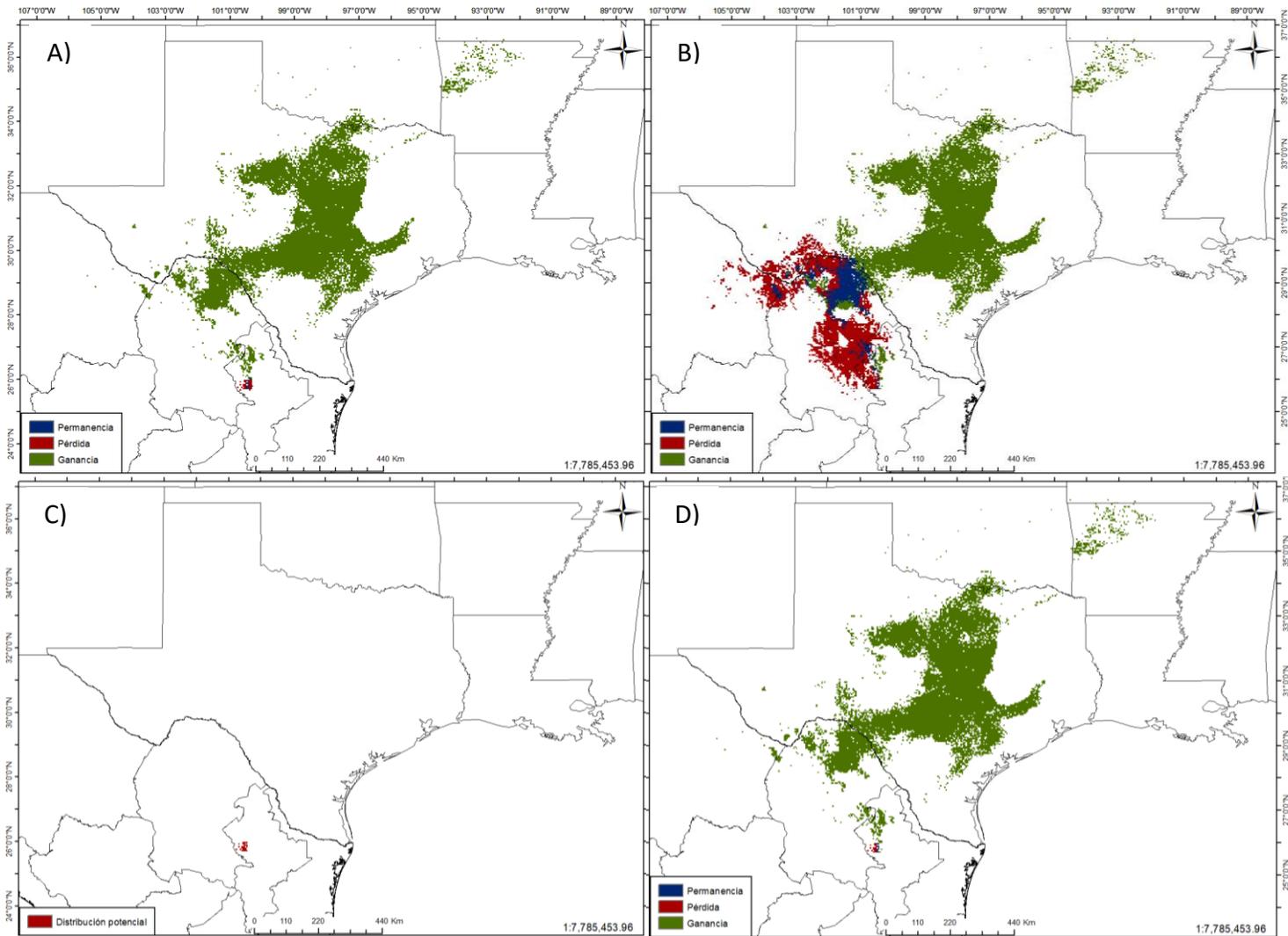


Figura 18. Distribución potencial de *Juniperus ashei*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

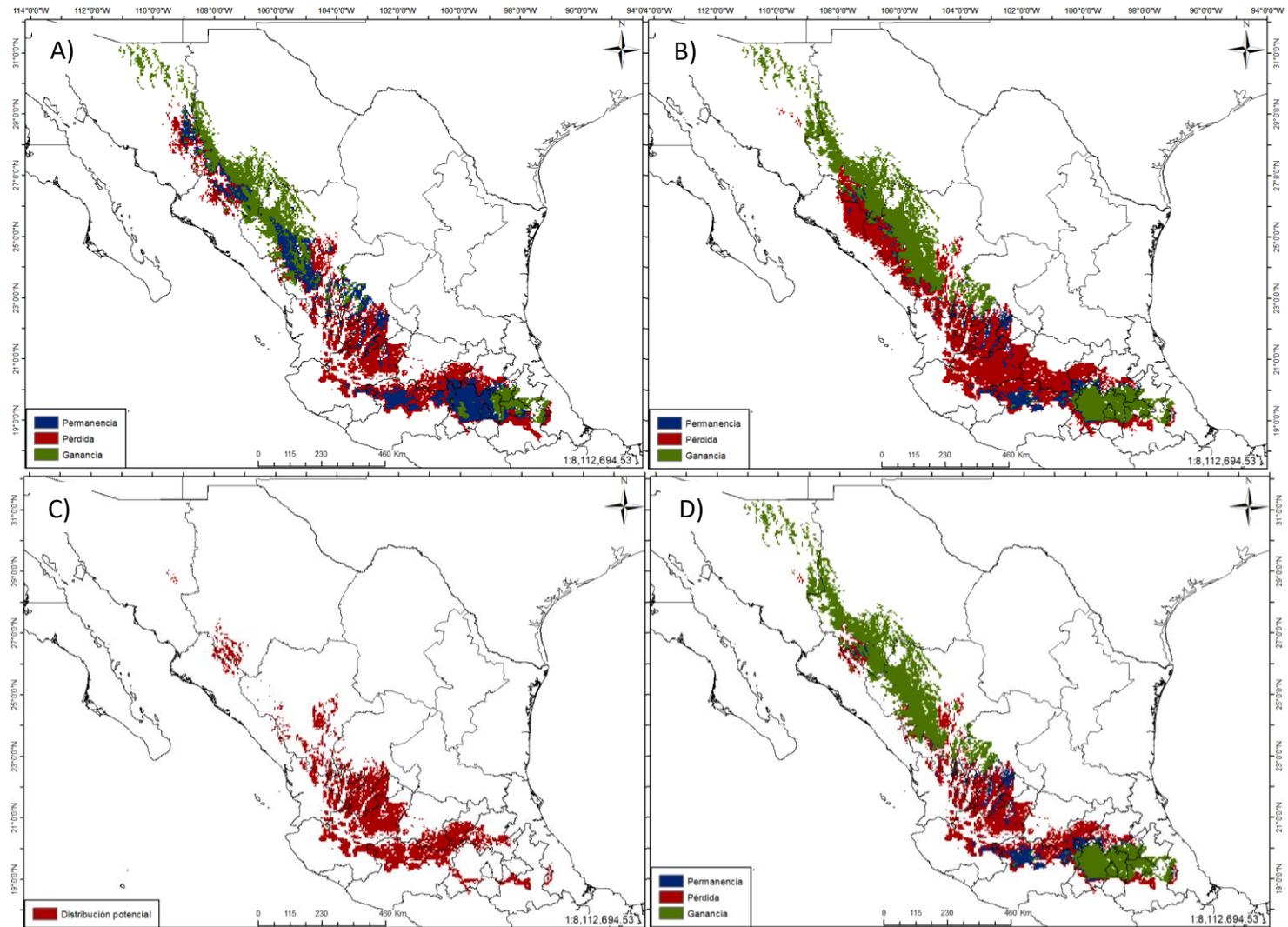


Figura 19. Distribución potencial de *Juniperus blancoi*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

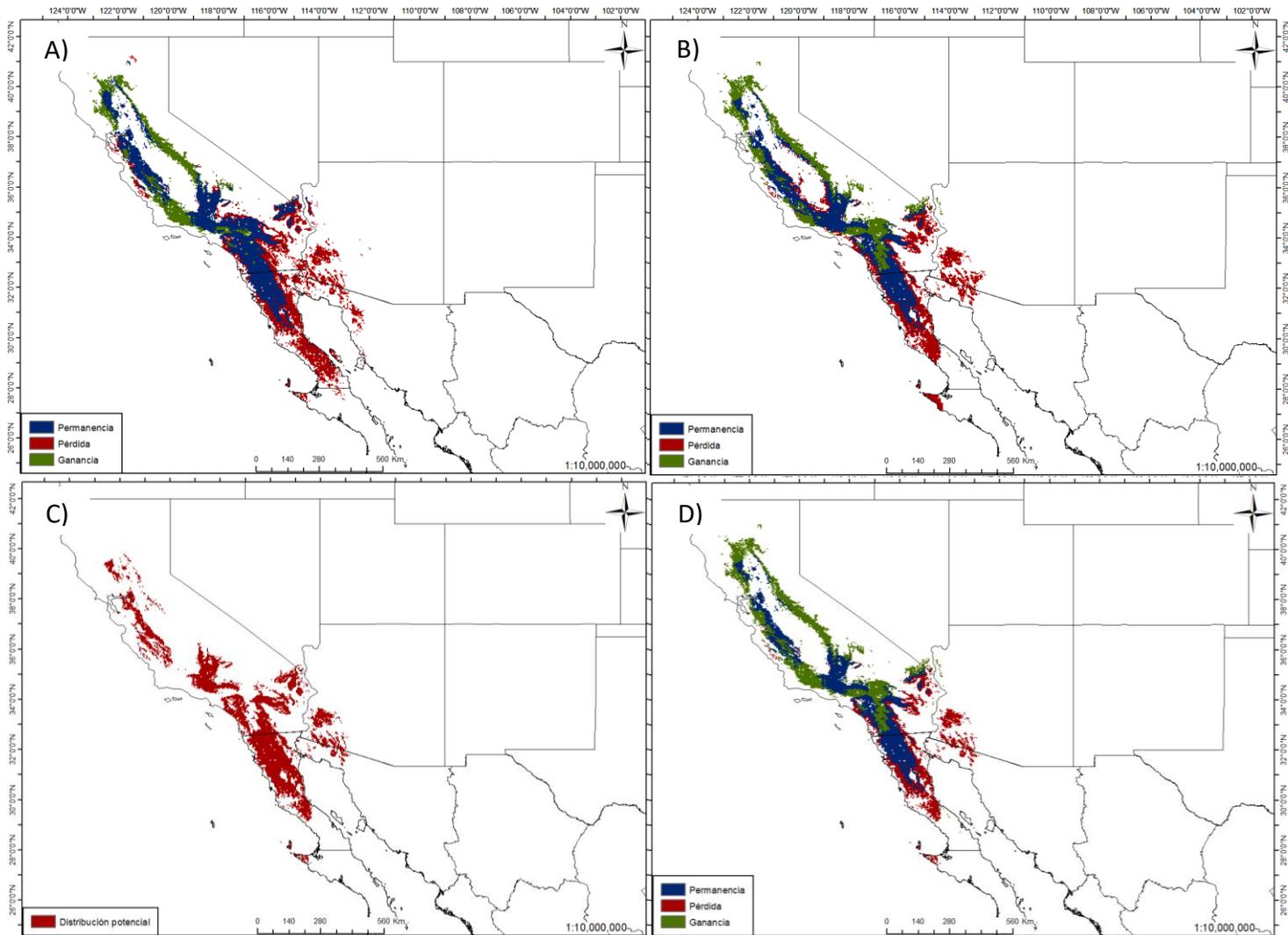


Figura 20. Distribución potencial de *Juniperus californica*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

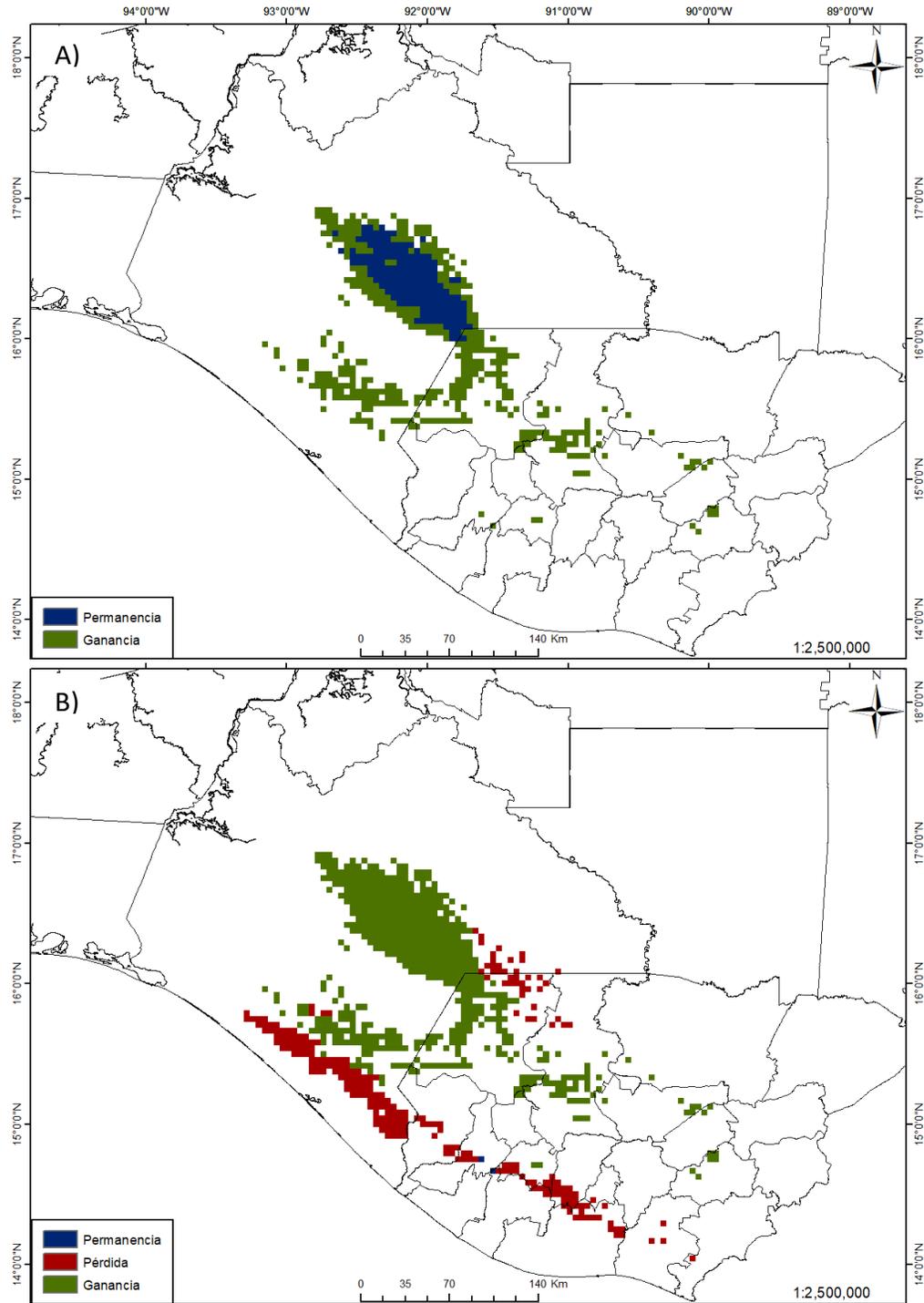


Figura 21. Distribución potencial de *Juniperus comitana*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC.

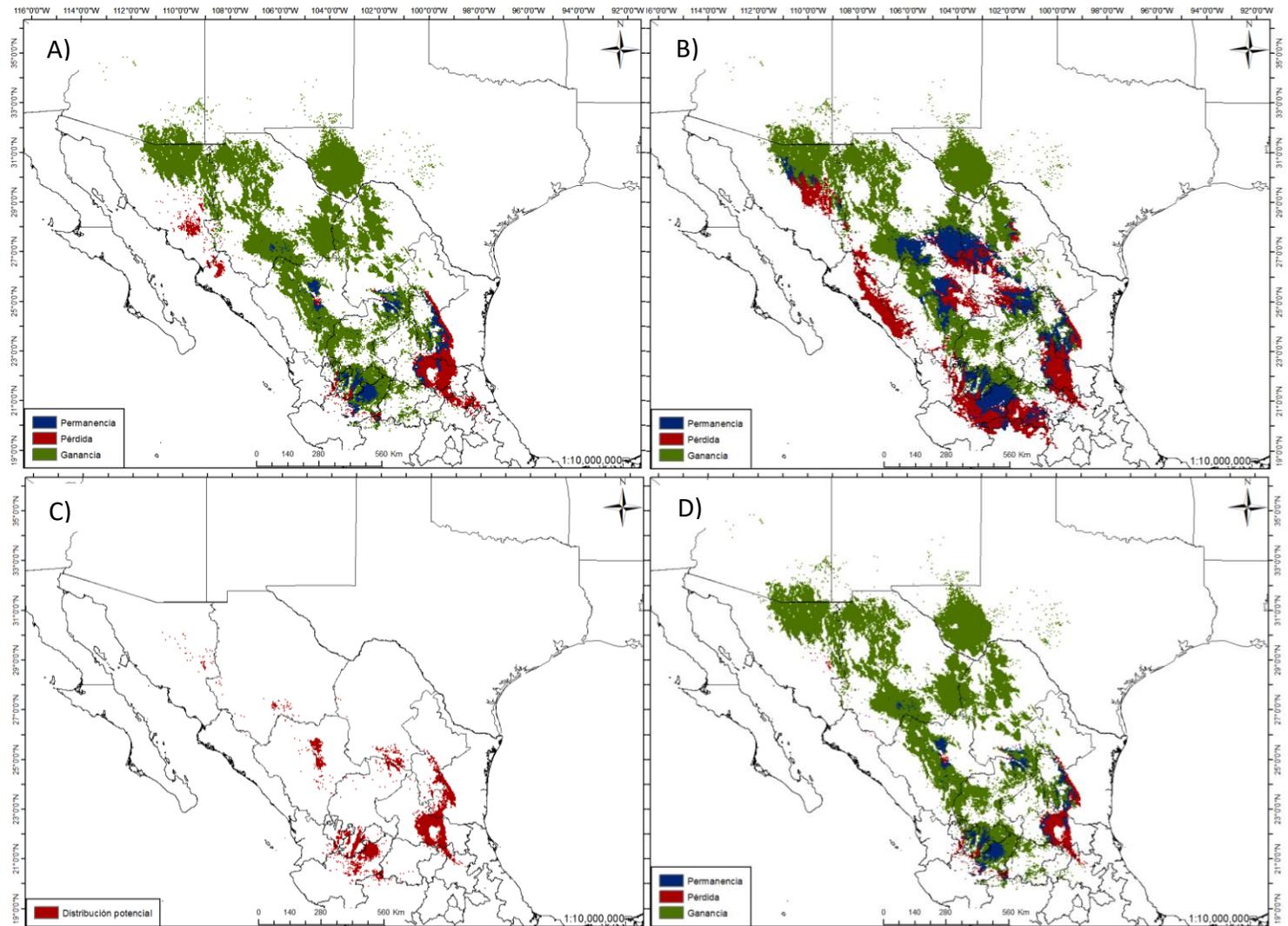


Figura 22. Distribución potencial de *Juniperus coahuilensis*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

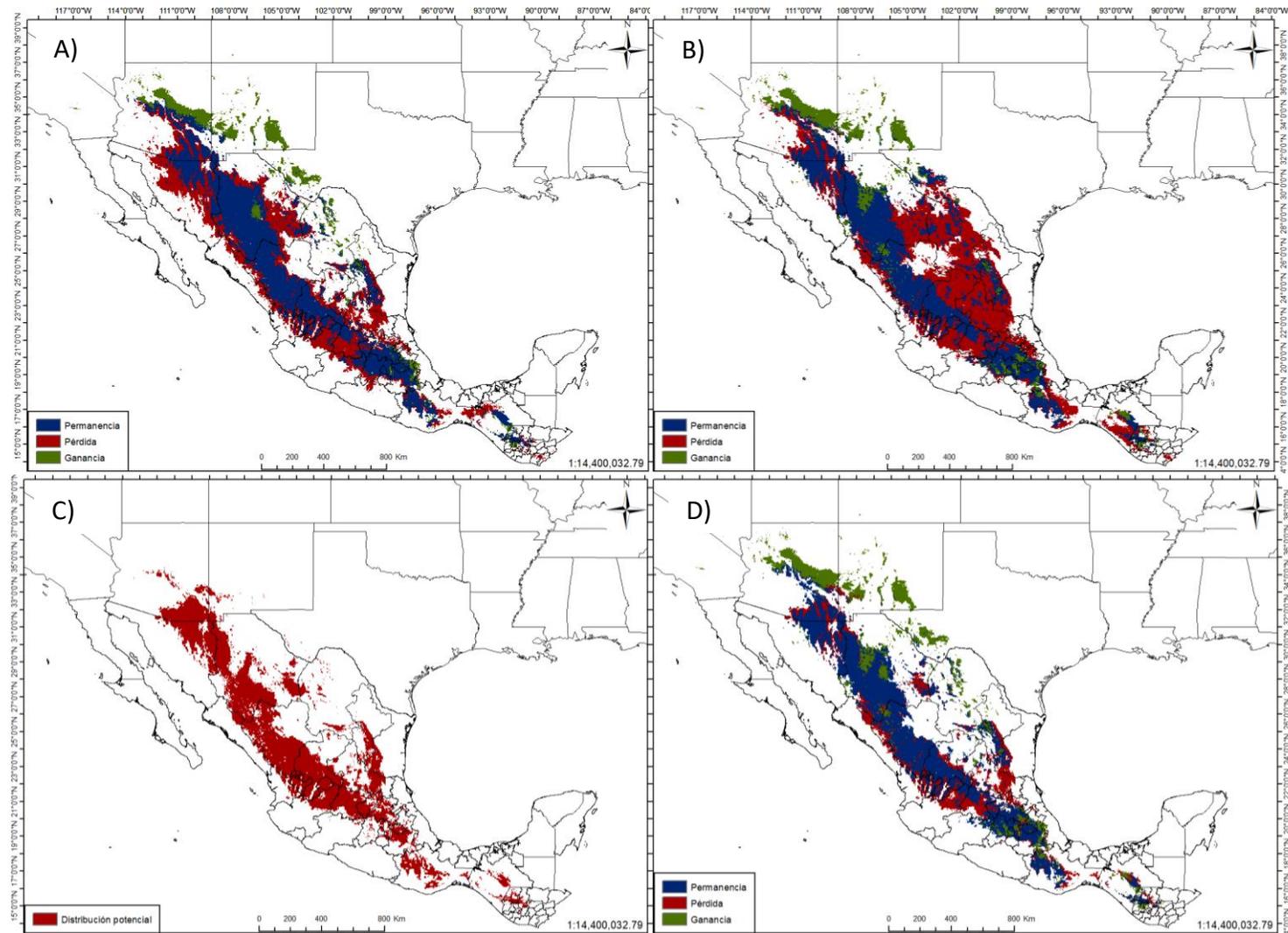


Figura 23. Distribución potencial de *Juniperus deppeana* con base en Adams (2014). A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

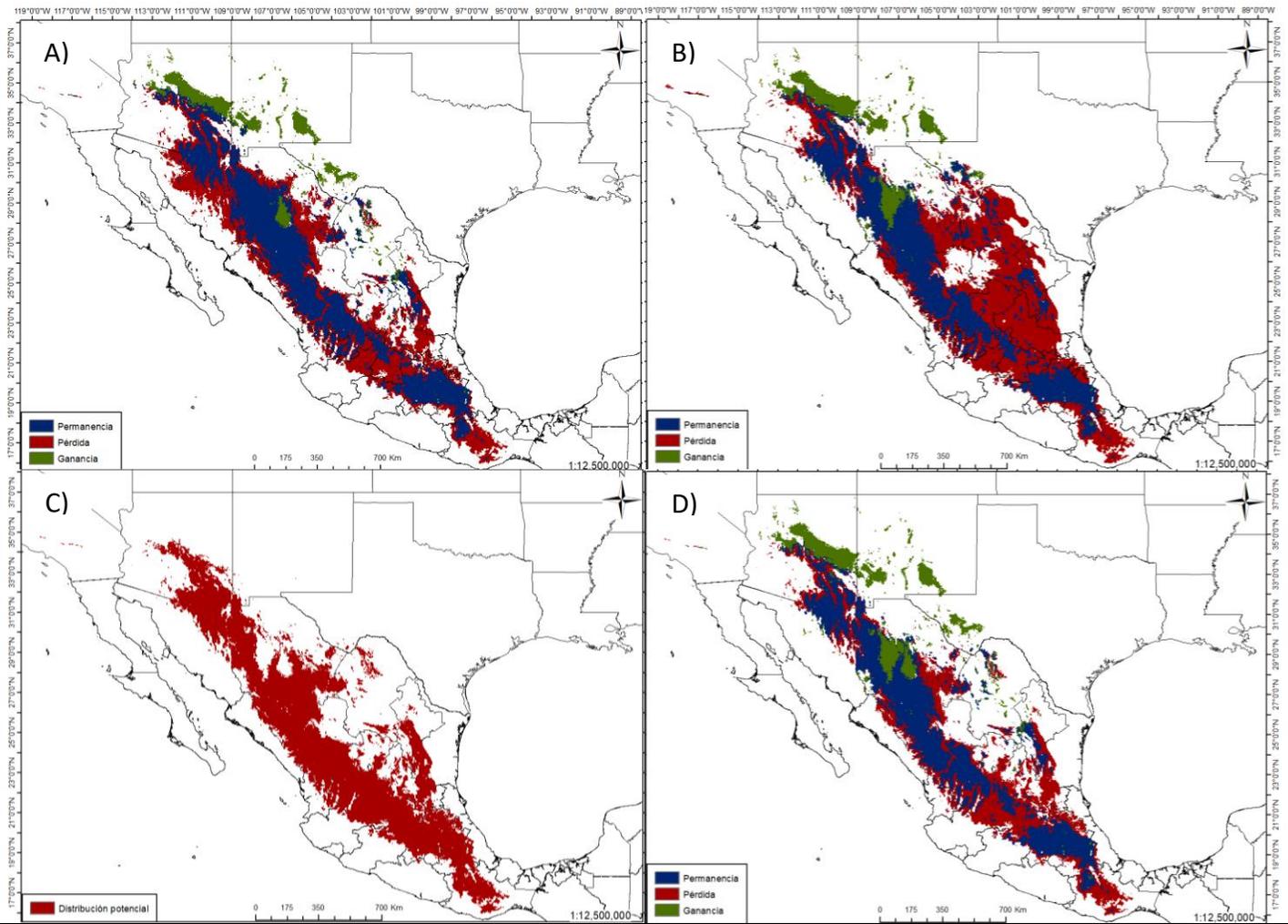


Figura 24. Distribución potencial de *Juniperus deppeana* con base en Gernandt y Pérez de la Rosa (2014). A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

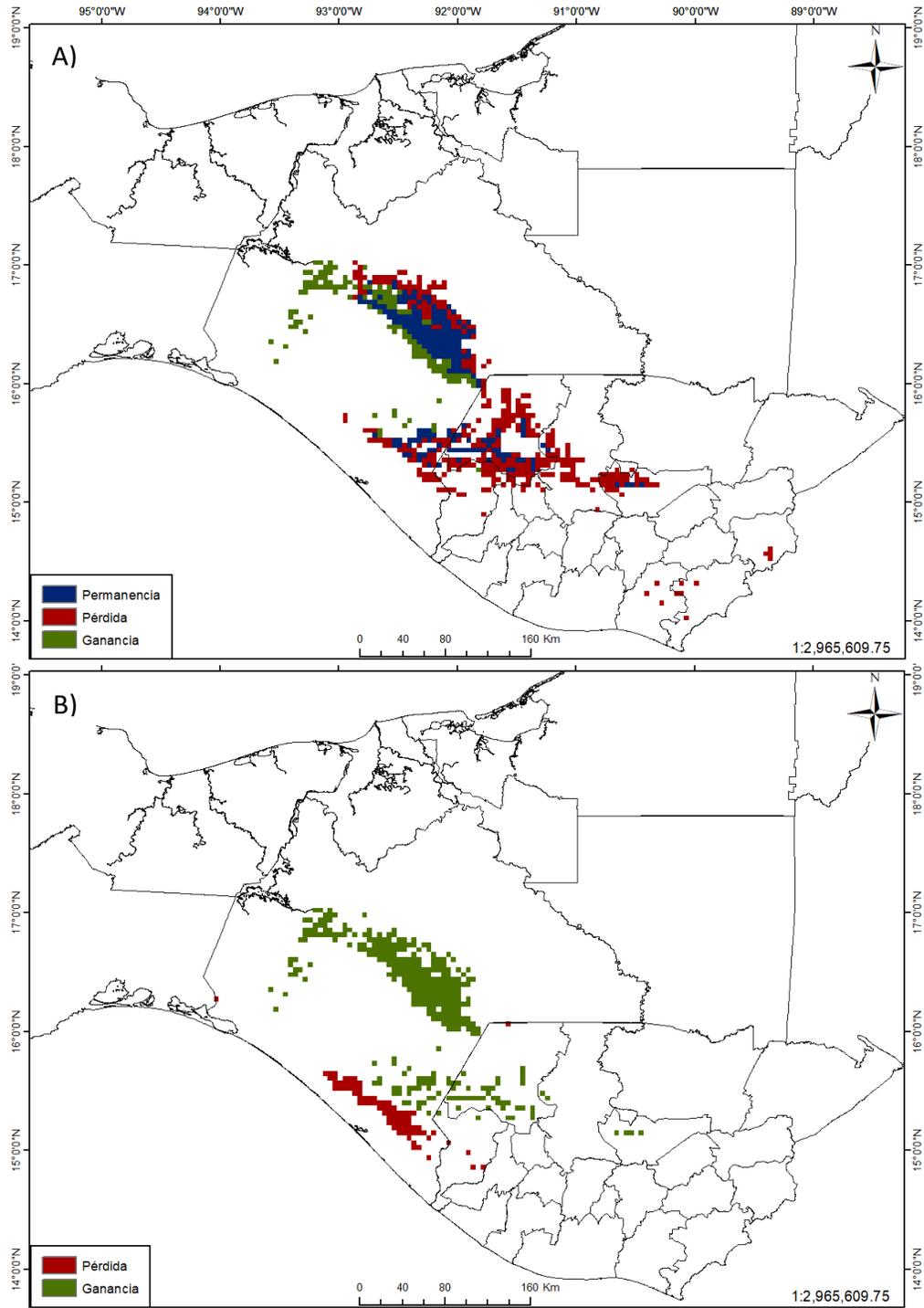


Figura 25. Distribución potencial de *Juniperus gamboana* con base en Gernandt y Pérez de la Rosa (2014). A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC.

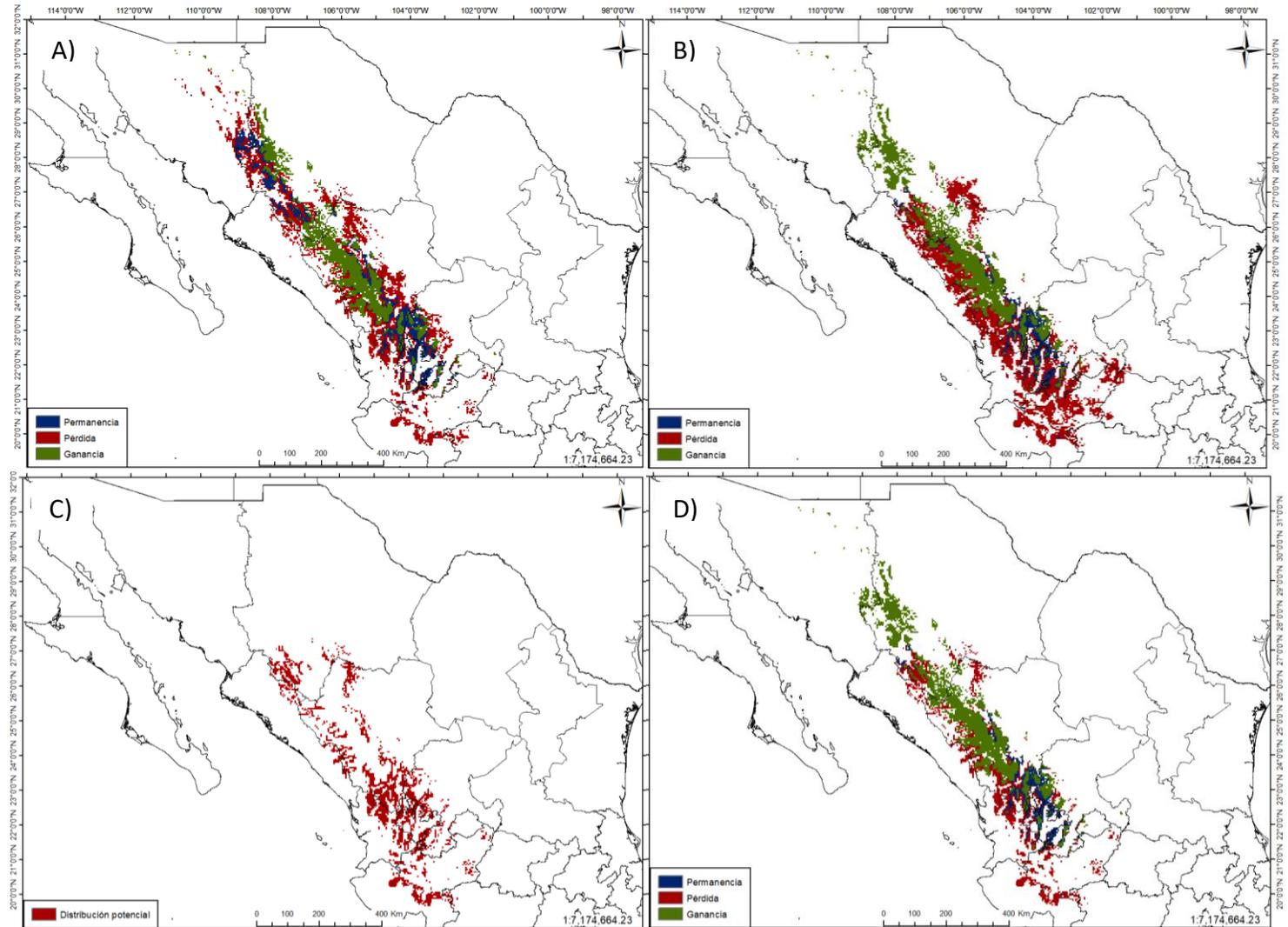


Figura 26. Distribución potencial de *Juniperus durangensis*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

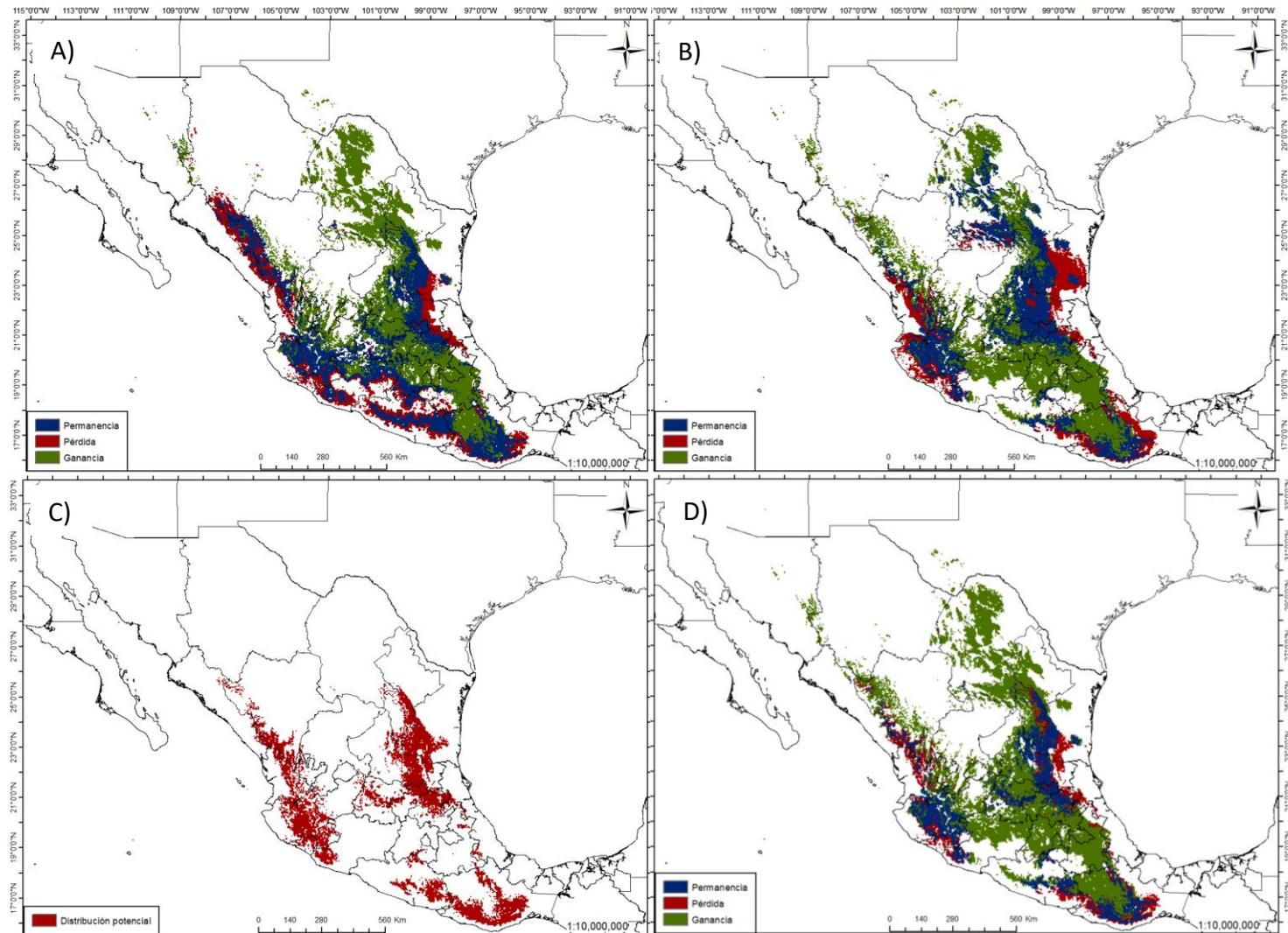


Figura 27. Distribución potencial de *Juniperus flaccida* con base en Adams (2014). A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

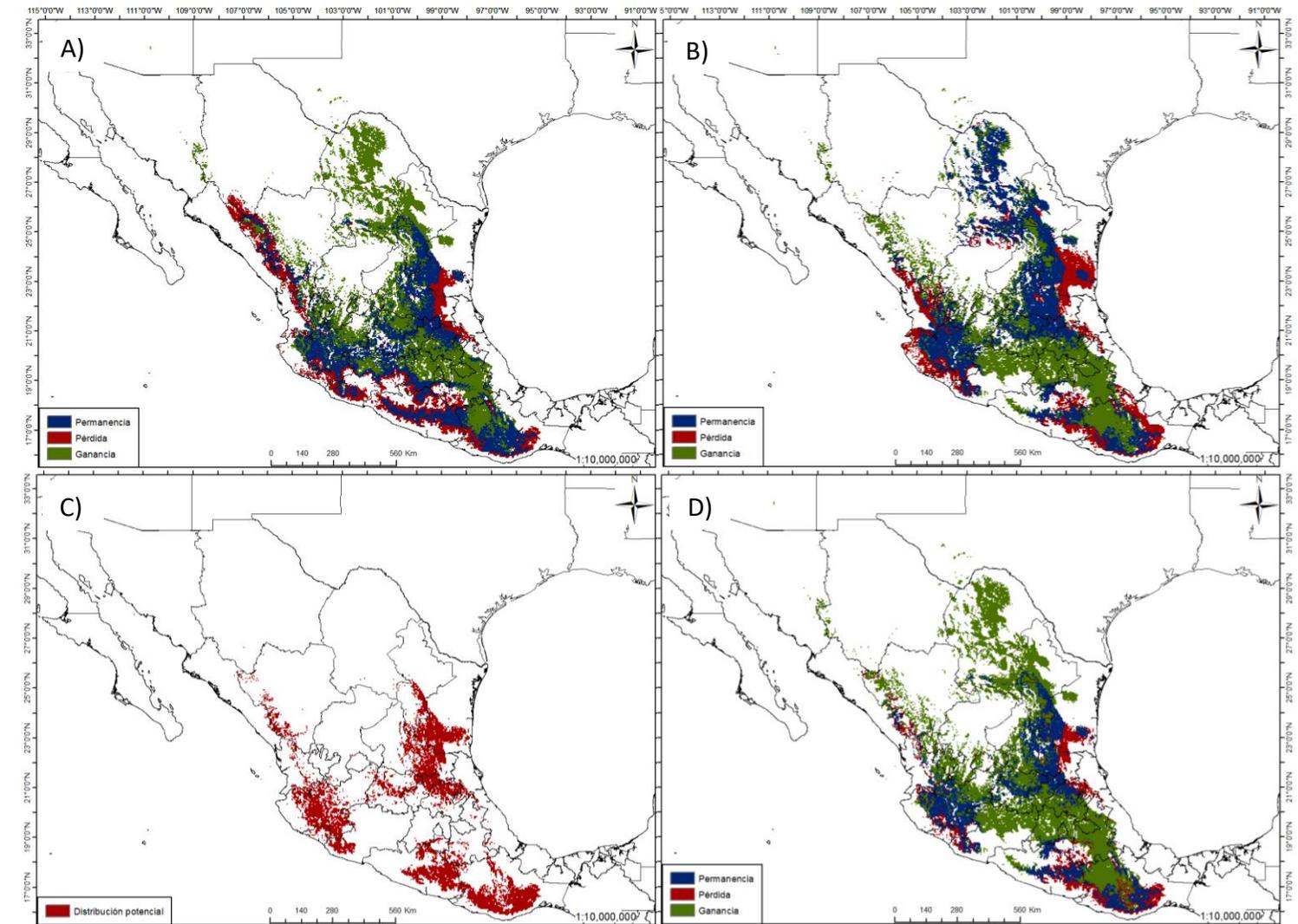


Figura 28. Distribución potencial de *Juniperus flaccida* con base en Gernandt y Pérez de la Rosa (2014). A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

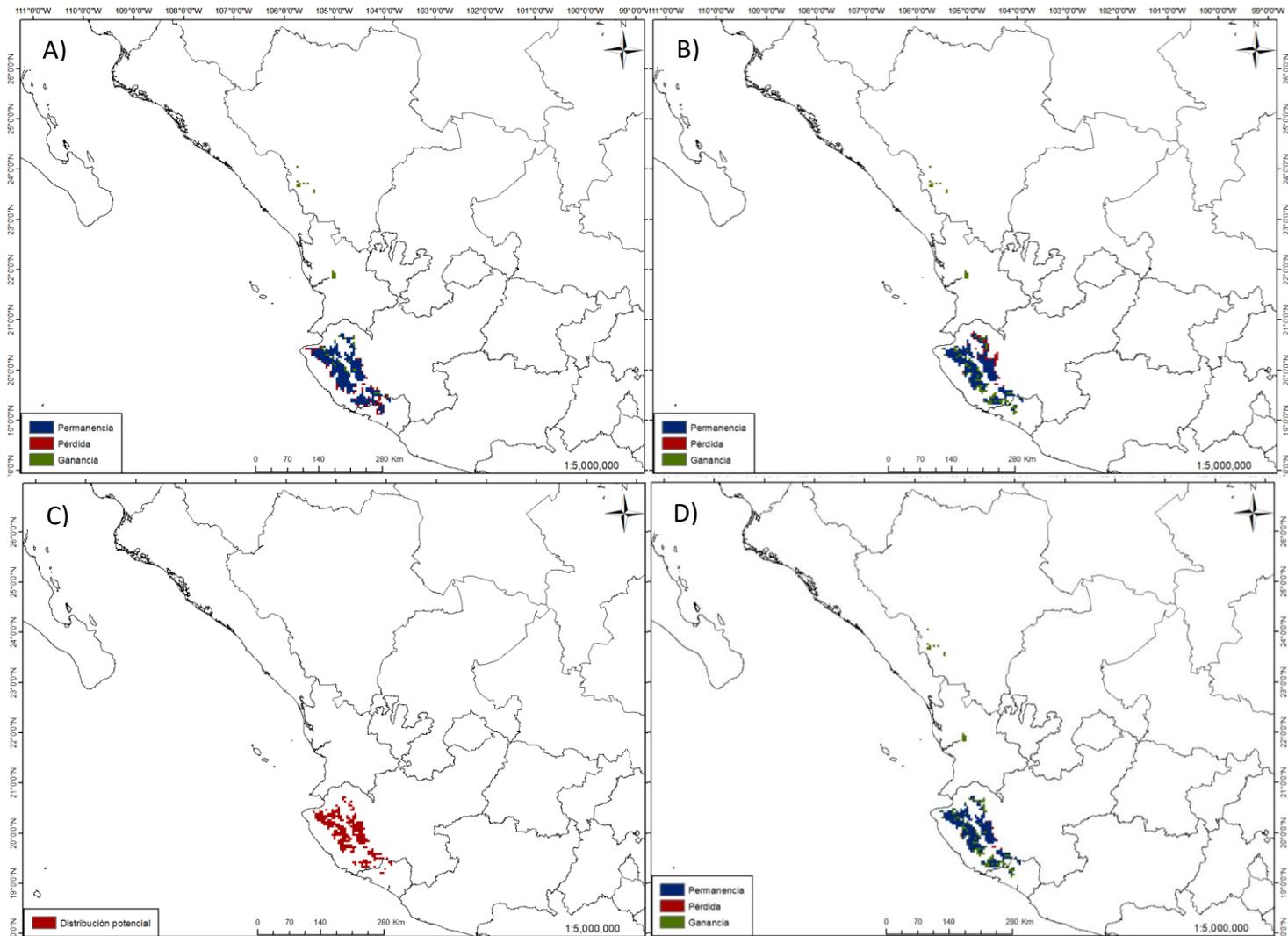


Figura 29. Distribución potencial de *Juniperus jaliscana*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

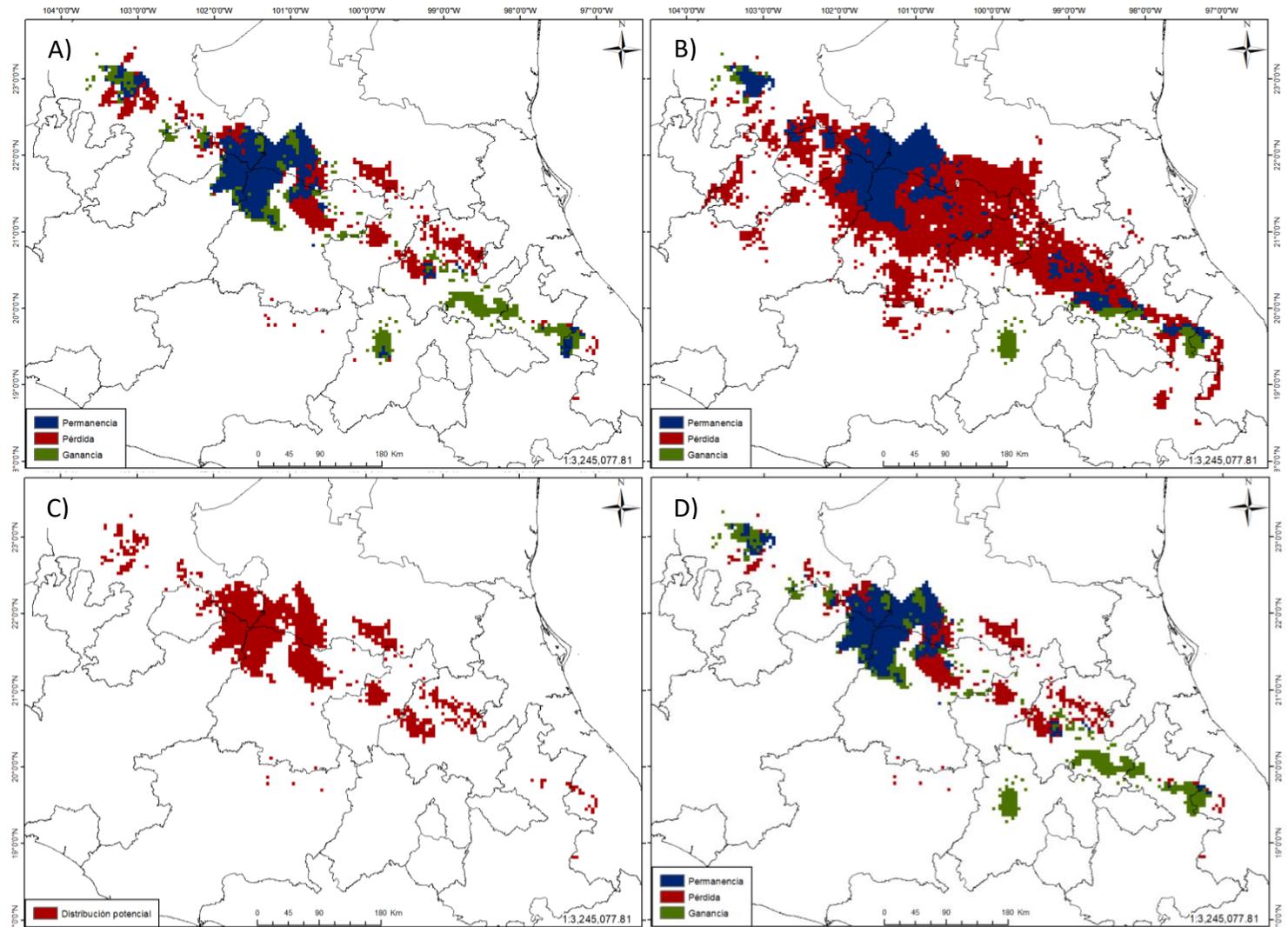


Figura 30. Distribución potencial de *Juniperus martinezii*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

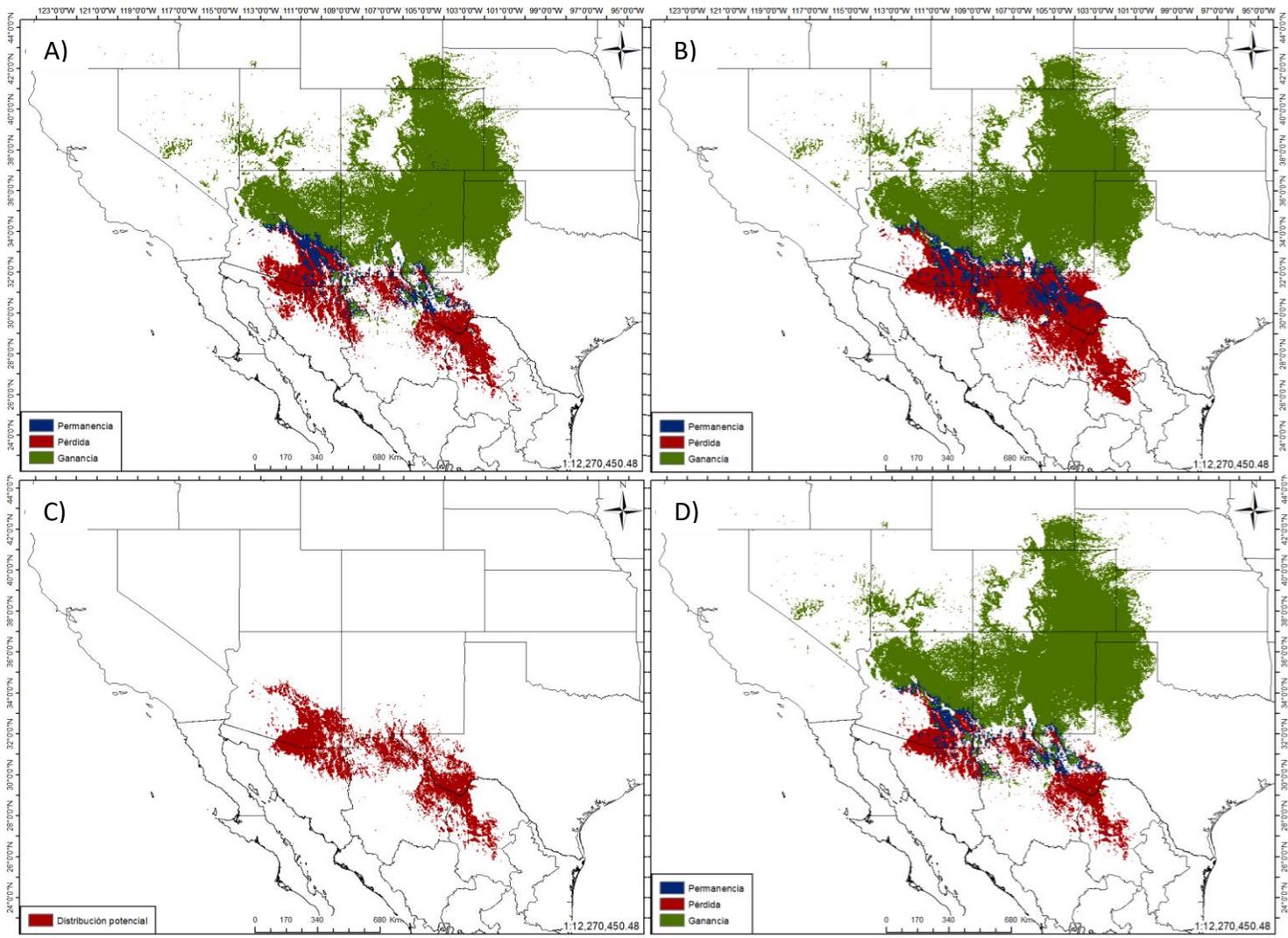


Figura 31. Distribución potencial de *Juniperus monosperma*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

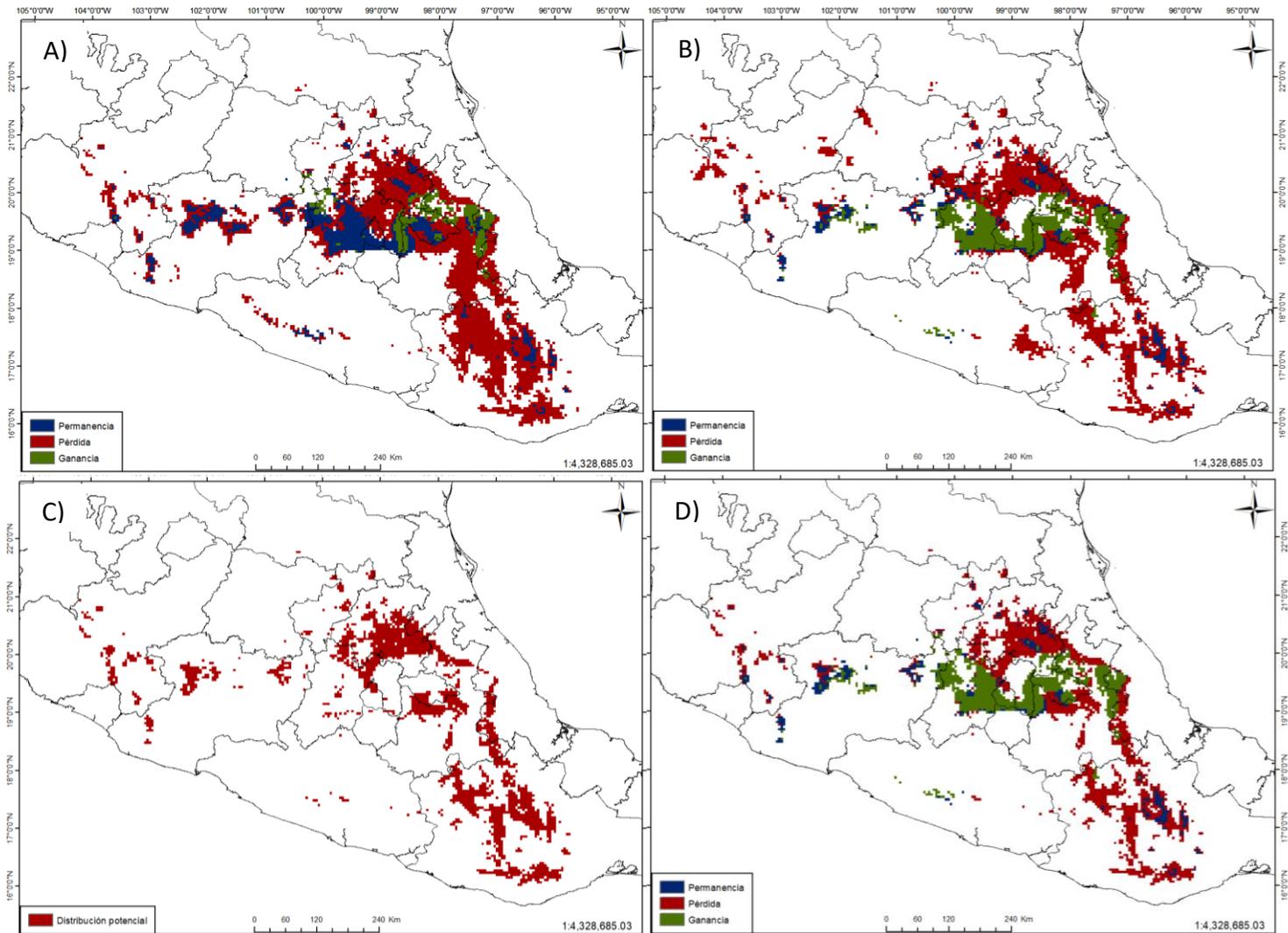


Figura 32. Distribución potencial de *Juniperus monticola*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

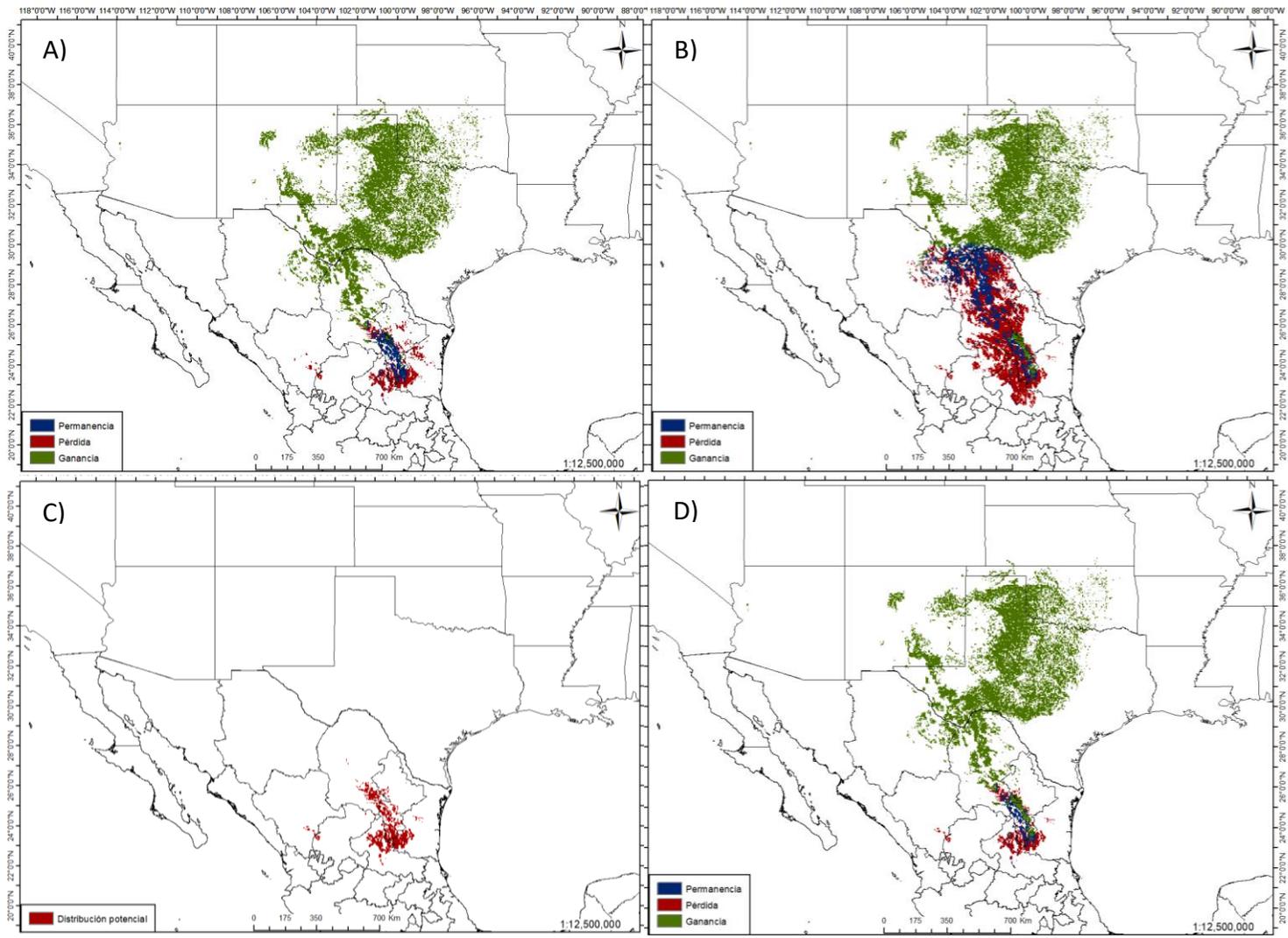


Figura 33. Distribución potencial de *Juniperus pinchotii*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

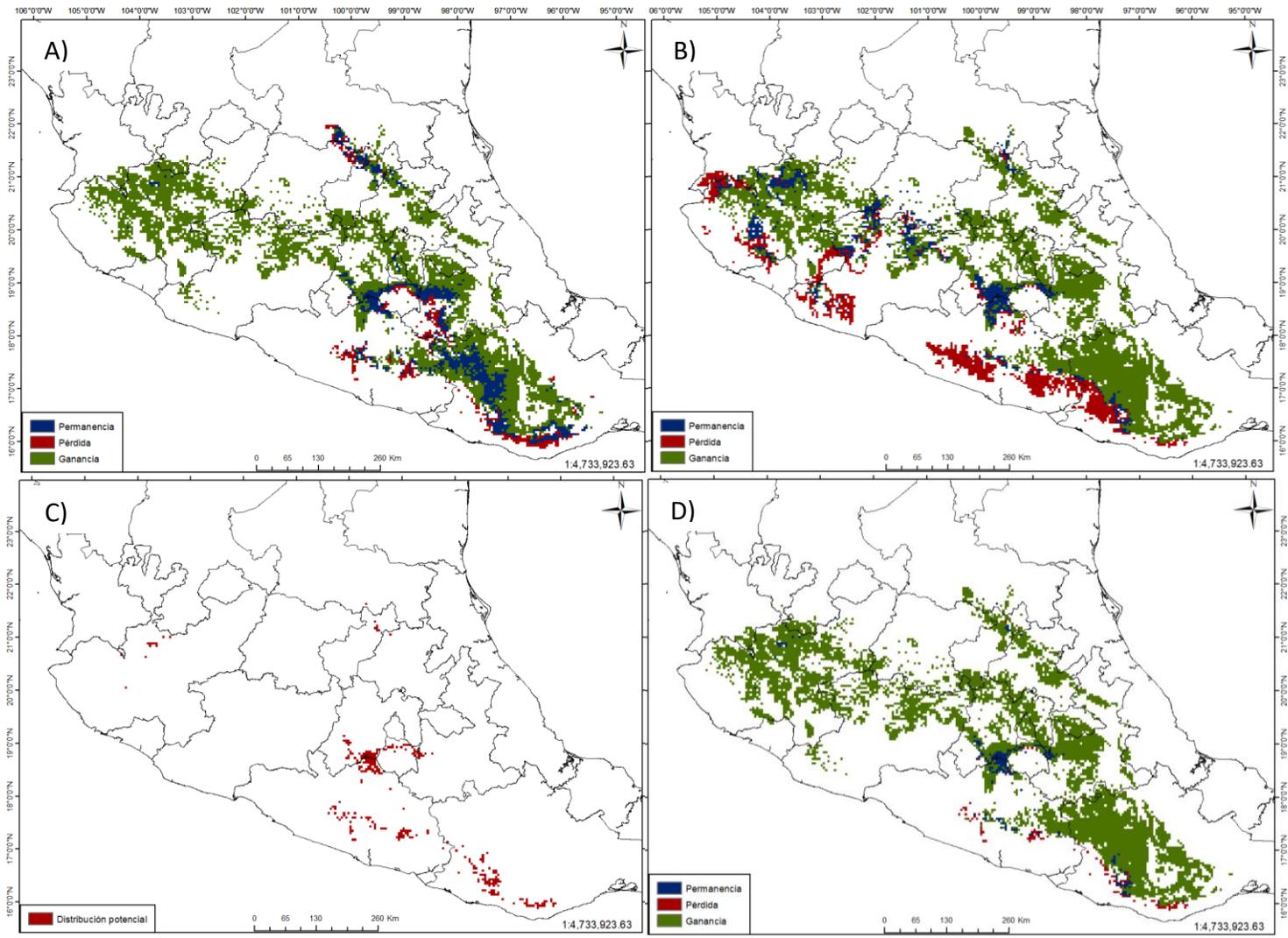


Figura 34. Distribución potencial de *Juniperus poblana*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

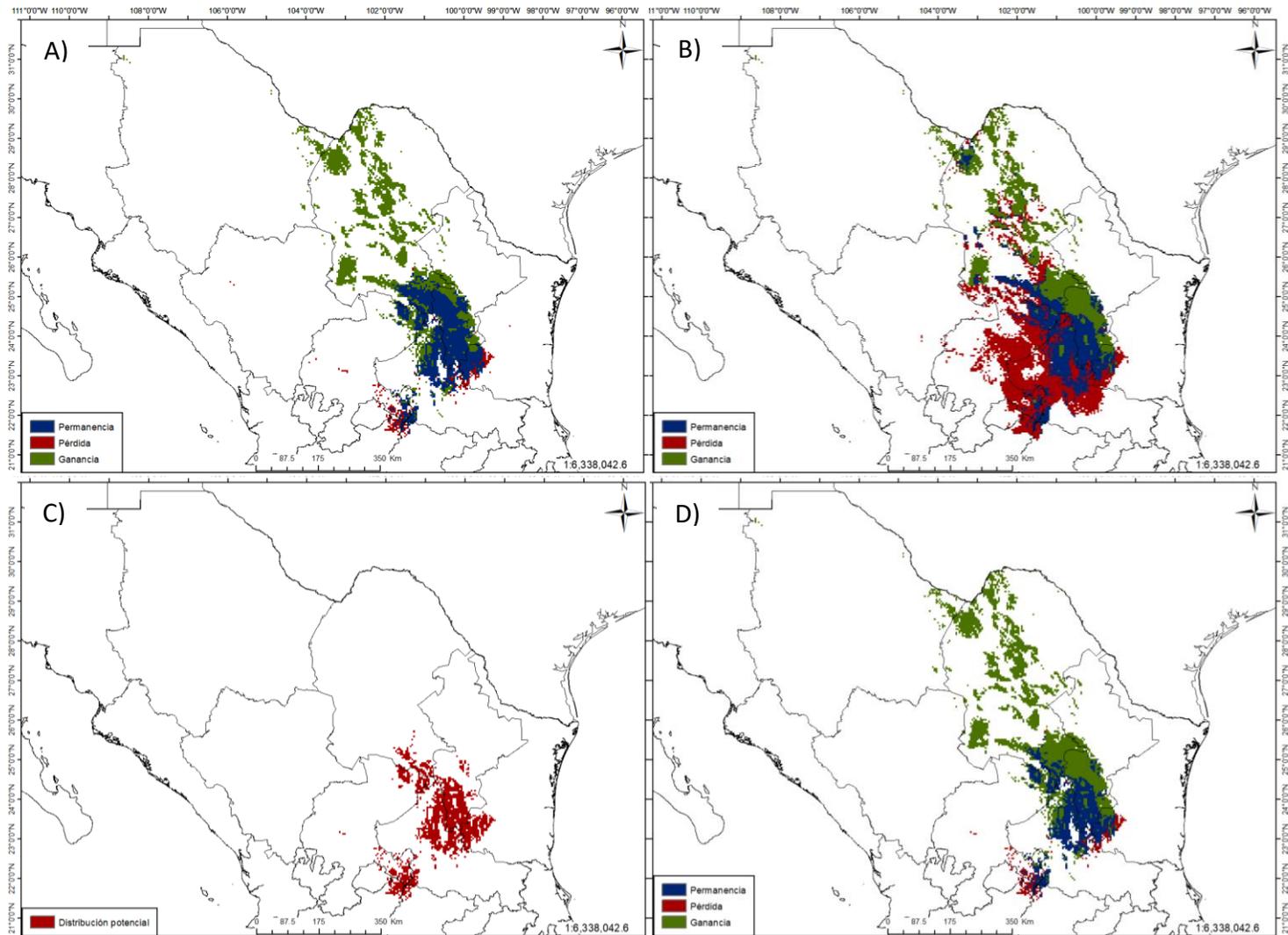


Figura 35. Distribución potencial de *Juniperus saltillensis*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

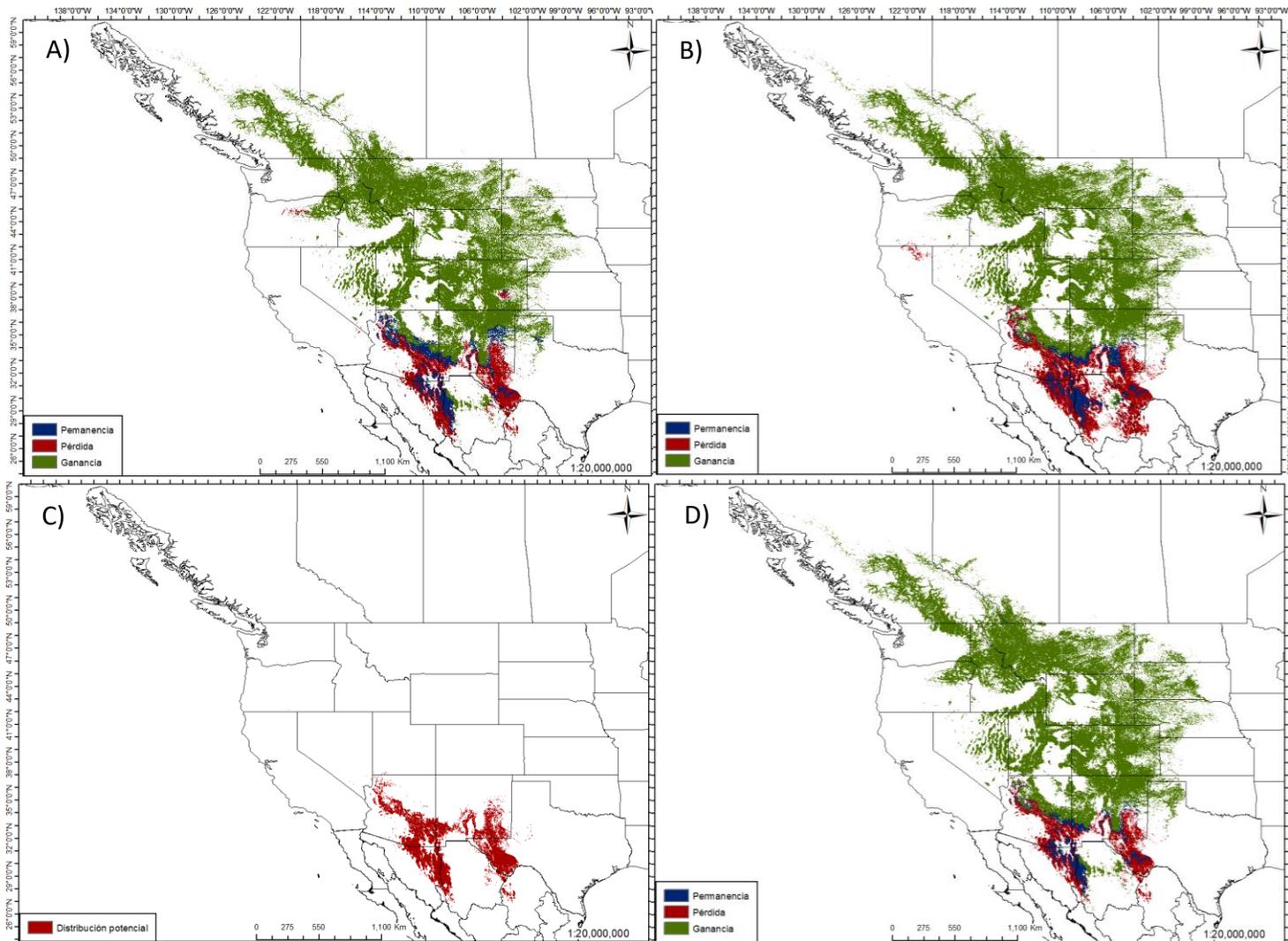


Figura 36. Distribución potencial de *Juniperus scopulorum*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

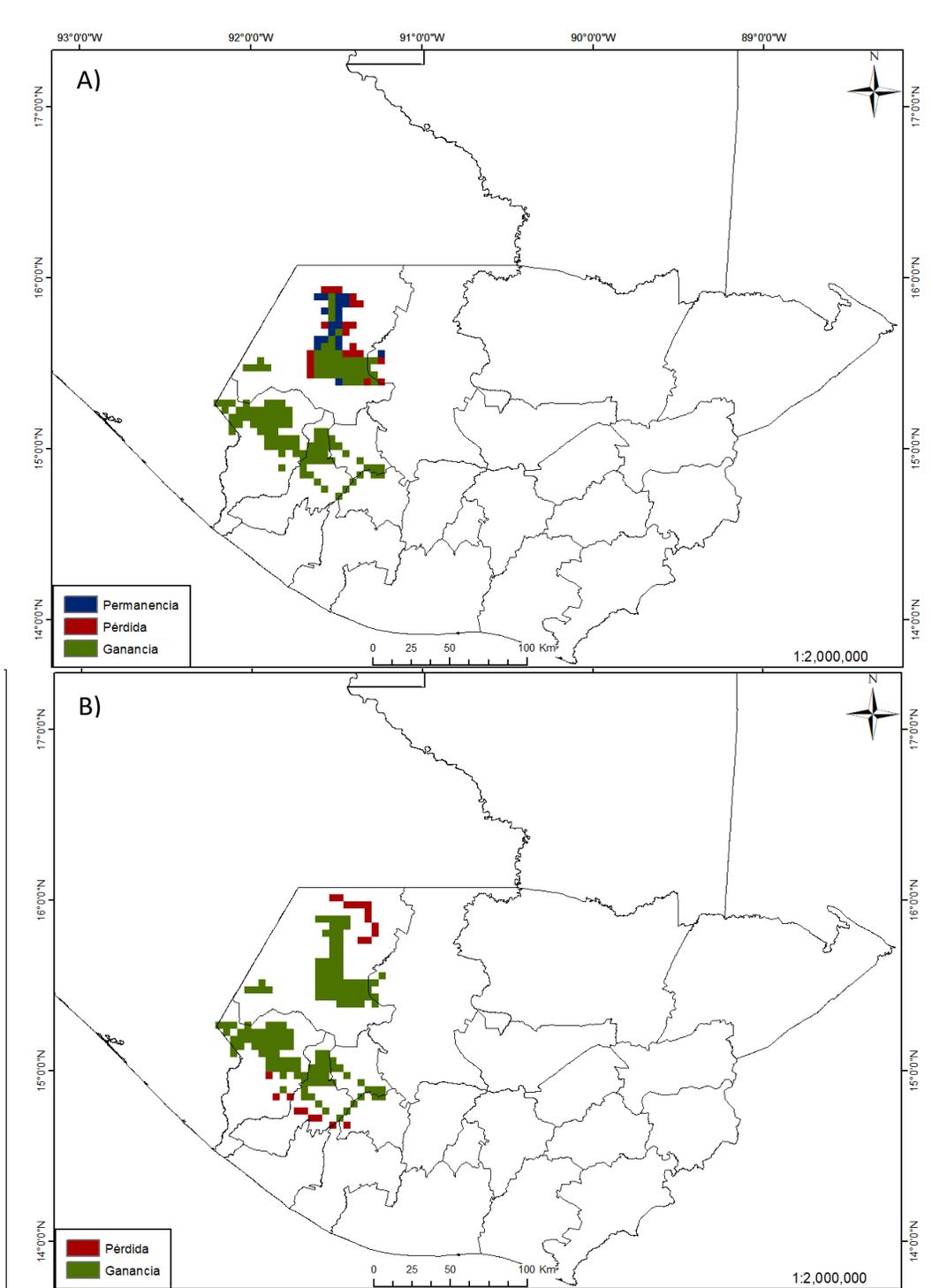


Figura 37. Distribución potencial de *Juniperus standleyi*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC.

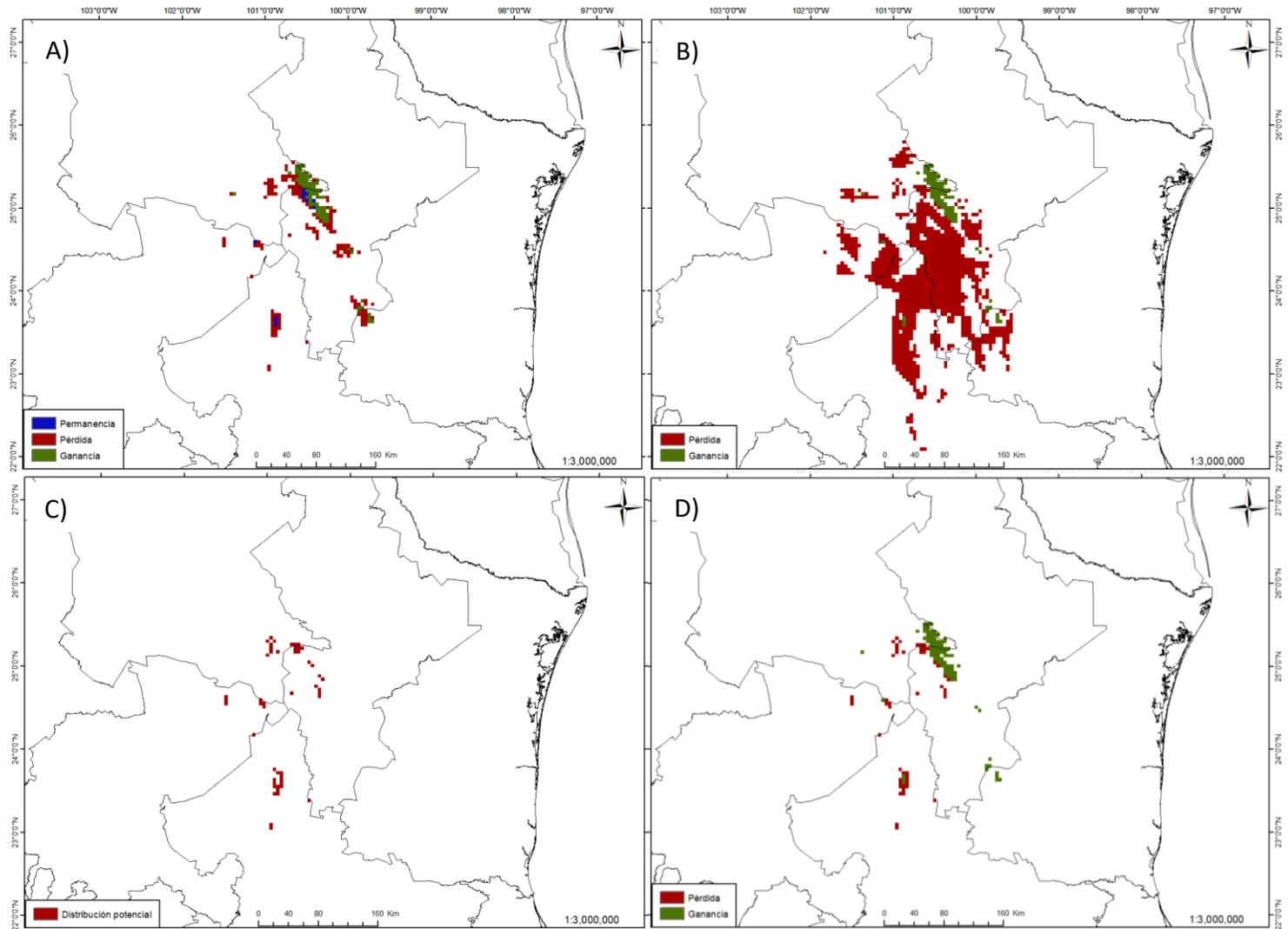


Figura 38. Distribución potencial de *Juniperus zanonii*. A) Cambios en la distribución del escenario CCSM4. B) Cambios en la distribución del escenario MIROC. C) Consenso de la distribución potencial durante el UMG. D) Cambios en la distribución consenso.

## **Análisis del clima actual y durante el UMG**

La comparación del clima en términos de temperatura promedio anual y precipitación total anual, muestra que, los ambientes en Norteamérica durante el UMG alcanzaron temperaturas más bajas que en la actualidad, sobre todo bajo el escenario MIROC. Respecto a la precipitación, el escenario del CCSM4 muestra valores más altos en comparación a MIROC y en ambos casos, se observa un mayor número de combinaciones de temperaturas bajas con diferente cantidad de humedad, es decir, existieron sitios húmedos y fríos.

Por otra parte, al comparar los cambios ambientales en la geografía, se puede observar que la temperatura muestra una diferencia de entre 0 y 8°C en México y Guatemala, para ambos escenarios; mientras que, en Estados Unidos, los cambios se encuentran entre 0 y 28°C para el escenario CCSM4 y de 4 y 32°C en el escenario MIROC. En cambio, para Canadá, las diferencias se registran entre los 8 y 28°C en el MCG CCSM4, y entre 12 a 36°C para el escenario MIROC (Figuras 39A y 39B). Respecto a la precipitación, de los dos escenarios, en el MIROC se observa mayor área en México con incremento de la precipitación, que incluye zonas como Baja California, los actuales desiertos y parte de la SME. Se observa un patrón distinto en los Estados Unidos, con incremento de la precipitación en regiones más al norte de este país en el escenario CCSM4. También se observa un patrón distinto para la Península de Yucatán, Chiapas y Guatemala, pues el escenario MIROC sugiere condiciones de mayor aridez para estas regiones (Figuras 39C y 39D).

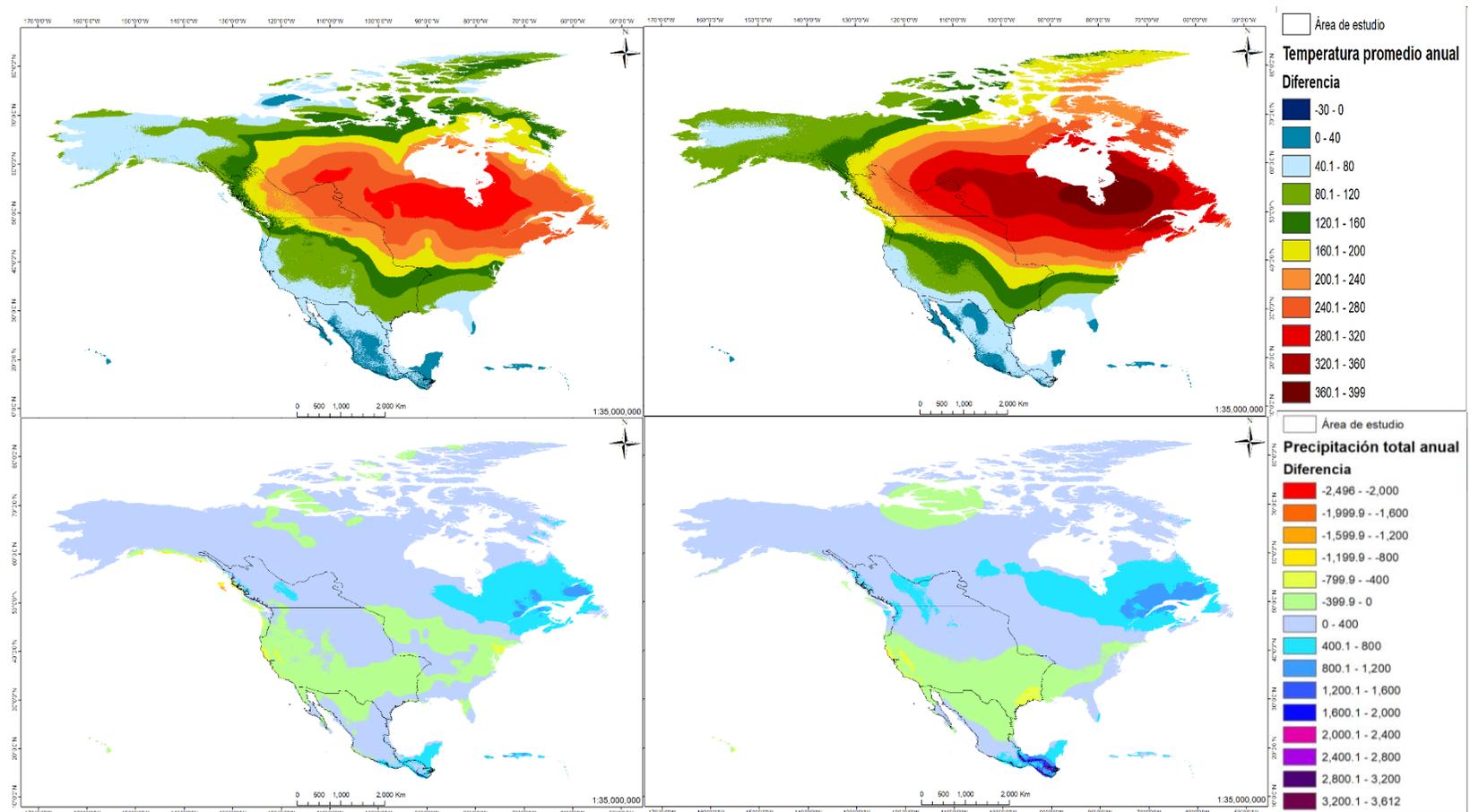


Figura 39. Diferencia entre el Presente y el UMG respecto a: A) Temperatura promedio anual escenario CCSM4. B) Temperatura promedio anual escenario MIROC. C) Precipitación anual escenario CCSM4. D) Precipitación anual escenario MIROC. Valores negativos indican que durante el UMG la temperatura o la precipitación fue mayor. Valores de temperatura en  $^{\circ}\text{C} \cdot 10$ , precipitación en mm.

## Modelos de nicho ecológico

Así como en la distribución potencial se observan diferencias dependiendo del escenario climático con el que se trabaje, sucede lo mismo con los modelos de nicho ecológico (MNE) (Cuadro 6), aunque se pueden observar tres condiciones principales:

Los análisis correspondientes a las dos ventana de tiempo, se observan tres posibles respuestas que se dieron desde el UMG hasta el presente:

- Porcentajes similares por arriba del 50% pueden considerarse como situaciones en que los nichos se han mantenido estables a través del tiempo.
- Porcentajes similares por debajo del 50% corresponden a nichos que son en apariencia diferentes para cada ventana de tiempo.
- Porcentajes uno mayor que otro son casos en los que un de los nichos se encuentra parcial o completamente inmerso dentro del otro.

La primera situación se da en seis casos del escenario CCSM4 y en 10 del MIRICOC, en la que podemos encontrar especies de amplia distribución, por ejemplo, *J. deppana*, además de especies endémicas, como el caso de *J. monticola*. De manera complementaria al porcentaje de intersección, también se obtuvo el índice de similitud, el cuál esta por arriba del 0.6 en nueve especies de juníperos, los cuales también tienen un porcentaje de intersección por arriba del 50%.

El segundo caso se dio unicamente en el escenario CCSM4, que incluye a *J. comitana* y *J. standleyi*, que además muestran un índice de similitud por debajo del 0.1.

El último caso incluye 10 especies de juníferos en el escenario CCSM4 y 12 en el MIROC, además de las tres especies de pinabete. En esta situación, uno de los nichos es más grande que el otro pero comparten cierto volumen en el espacio ambiental, sin embargo, es por esta misma diferencia de tamaño que el índice de similitud está por debajo del 0.5.

Cuadro 6. Porcentaje de intersección de los nichos de cada especie, comparando el presente con cada escenario del UMG. Índice de similitud de Jaccard con valores entre 0 y 1. P=presente, C= CCSM4, M=MIROC.

Especie	Porcentaje de intersección				Similitud	
	Presente-> CCSM4	CCSM4-> Presente	Presente ->MIROC	MIROC-> Presente	P-C	P-M
<i>P. chihuahuana</i>	97.1	31.9	95.4	32.9	0.32	0.32
<i>P. martinezii</i>	87.7	17.0	99.8	30.1	0.17	0.30
<i>P. mexicana</i>	91.9	30.3	82.1	26.6	0.29	0.25
<i>J. angosturana</i>	3.5	89.2	21.8	93.0	0.03	0.21
<i>J. arizonica</i>	79.4	39.3	69.0	57.8	0.36	0.46
<i>J. ashei</i>	7.6	80.4	56.6	90.2	0.07	0.53
<i>J. blancoi</i>	75.4	55.3	90.8	88.2	0.47	0.81
<i>J. californica</i>	94.2	96.7	94.2	96.7	0.91	0.91
<i>J. coahuilensis</i>	1.9	6.5	73.6	88.5	0.01	0.67
<i>J. comitana</i>	90.3	92.4	90.3	92.4	0.84	0.84
<i>J. deppeana</i>	68.1	63.4	93.9	83.4	0.49	0.79
<i>J. durangensis</i>	73.9	61.7	87.8	55.2	0.51	0.51
<i>J. flaccida</i>	69.5	62.4	58.9	97.4	0.49	0.58
<i>J. jaliscana</i>	69.0	73.5	92.1	98.0	0.55	0.90
<i>J. martinezii</i>	64.1	48.3	97.7	52.8	0.38	0.52
<i>J. monosperma</i>	39.8	87.9	36.7	95.0	0.38	0.36
<i>J. monticola</i>	72.7	53.1	99.7	87.6	0.44	0.87
<i>J. pinchotii</i>	25.1	64.4	52.9	93.7	0.22	0.51
<i>J. poblana</i>	26.3	68.6	74.9	98.5	0.24	0.74
<i>J. saltillensis</i>	52.4	82.8	81.2	84.8	0.47	0.71
<i>J. scopulorum</i>	35.8	79.7	35.0	93.2	0.33	0.34
<i>J. standleyi</i>	0.1	0.3	93.3	50.8	0.001	0.49
<i>J. zanonii</i>	68.1	27.2	99.4	39.8	0.24	0.40

Por otra parte, se realizó un análisis de traslape de nicho para cuatro taxa de *Juniperus*, los cuáles han mostrado discrepancias en su clasificación taxonómica. Dicho análisis se realizó entre *J. deppeana* y *J. deppeana* var. *gamboana*, mostrando valores de 1.5% y 25.84% respectivamente, con un índice de similitud de 0.01. Por otro lado, se analizaron los nichos de *J. flaccida* y *J. poblana*, obteniendo valores de 11.78% y 99.5% respectivamente; y un índice de similitud de 0.11.

## DISCUSIÓN

### Localidades de colecta

Dada la importancia de las localidades de colecta como materia prima en la elaboración de modelos, es que se hace mención acerca de las fuentes de información de las que disponemos para la obtención de registros.

Actualmente, con la consulta de las bases de datos en línea, es más fácil poder acceder a la información disponible en lo que se refiere a las colecciones científicas. Sin embargo, no hay que depender únicamente de ellas, pues aún existen datos que no se encuentran en estas bases, sino también en la literatura (Farjon, 2005; Gómez; 2007; López, 2009; García, 2012; Adams, 2014) y en los herbarios. Por otro lado, los ejemplares de herbario se encuentran depositados en varias colecciones científicas, muchas de ellas extranjeras, a pesar de ello, en los herbarios (MEXU, IBUG y UAMIZ) que se visitaron, se observaron algunas “tendencias generales”, por ejemplo, no hay un acuerdo en común sobre la clasificación taxonómica que se sigue para nombrar a las especies. Un taxón puede ser determinado como una especie en una colección y considerado como una subespecie en otra, inclusive, hay que ser muy estrictos, porque se pueden encontrar ejemplares aún sin determinar o identificados de manera errónea.

Sin embargo, los herbarios toman importancia, debido a que funcionan como reservorios de información, pues podrían contener información que no está disponible en bases de datos en línea. Esta situación se dio con *Juniperus coahuilensis*, especie de este trabajo, cuya distribución en la SMW se reportaba únicamente hasta el sur de Durango (Adams, 2014), sin embargo, en el herbario IBUG estaban depositados

ejemplares pertenecientes a esta especie para el estado de Jalisco y que fueron reportados por Pérez de la Rosa y Vargas (2015, 2017) y posteriormente mencionado por Adams (2018).

Las carencias dentro de los herbarios, es consecuencia de múltiples factores, como el hecho de que hay áreas mejor colectadas que otras en el país, la inexistencia, en algunos casos, de una base de datos organizada y actualizada, así como la falta de personal capacitado en todas las actividades relacionadas a la taxonomía, como estudios florísticos, filogénéticos o los mismos inventarios (Dávila y Sosa, 1994; Rzedowski, 2006), sin embargo, esto demandaría el trabajo de muchos taxónomos e infraestructura adecuada para lograrlo.

Por esta razón, me permito comentar, el trabajo de Villaseñor (2016), en el que considera puntos importantes sobre el conocimiento de la flora de México, como el hecho de que en muchos géneros son necesarios más estudios taxonómicos, además de que la falta de especialistas y el uso de diferentes criterios taxonómicos tiene como consecuencia, que no se haya integrado adecuadamente la Flora de México.

Para el caso particular de *Picea* y *Juniperus*, el autor reporta dos y 22 especies respectivamente, aunque menciona que habrá casos en los que posiblemente sigue habiendo problemas de sinonimias. Esto también depende de la fuente que se consulte, por lo que, listados, revisiones taxonómicas, colecciones científicas en línea o depositadas en herbarios, así como catálogos, son un punto de partida para profundizar en el conocimiento de cualquier grupo de plantas.

## Distribución potencial

Los resultados en cuanto a la distribución potencial de los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) se ven determinados por una serie de toma de decisiones que se realizaron a lo largo de todo el procedimiento. Se observó que emplear un menor número de variables ambientales para la elaboración de los modelos provocaba una disminución de los valores de AUC y de ROC parcial. De acuerdo a Peterson y Nakazawa (2008), utilizar una gran cantidad de variables puede provocar un sobreajuste de los modelos, sin embargo, también se ha observado que el disminuir el número de variables, no afecta de manera significativa la precisión e incertidumbre de los modelos, con respecto a usar un mayor número de variables (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014; Galante, 2015; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016).

No se debe olvidar que los MNE son el primer acercamiento al conocimiento de la distribución geográfica de las especies en el que se aborda la relación entre éstas y el ambiente, en los que no se consideran la influencia por otros organismos, las actividades humanas o la capacidad de dispersión de las especies (Pearson y Dawson, 2003). En este sentido, pueden existir “sobre predicciones” de los modelos que se deben a otros factores que no se consideran en este trabajo, inclusive perturbaciones como incendios que pueden mermar o desaparecer poblaciones de plantas en un determinado lugar (Reemts y Hansen, 2008).

Las especies de *Picea* son elementos que se encuentra adaptados a condiciones de bajas temperaturas (Farjon y Filer, 2013), razón por la cual solo se encuentran en las zonas montañosas del norte de México, lo que a su vez resulta de particular interés por tener una distribución tan al sur para el género. Sin embargo, de

acuerdo a la evidencia fósil, pudo haberse encontrado en el Valle de México durante el Último Máximo Glacial (UMG) (Lozano-García *et al.*, 1993; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998; Caballero *et al.*, 2010; Lozano-García y Sosa-Nájera, 2015). Esto coincide con los modelos obtenidos, prediciendo a las tres especies en el ENV, además, dado que las condiciones imperantes durante el UMG eran más frías que en el presente, esto debió favorecer la expansión en sus áreas de distribución.

Con el decremento de la temperatura en el UMG, la vegetación debió desplazarse a menores altitudes. De acuerdo a McDonald (1998), estos cambios en la distribución de la vegetación alpina-subalpina de hasta 1,000 m en altitud, resultaría en un extenso corredor entre las diferentes serranías de México, principalmente de la SMW hacia la SME y el ENV. La presencia de *Picea mexicana* tanto en la SMW y la SME se explicaría por la conexión de las mismas a través de la MC, posteriormente, con el incremento de la temperatura durante el Holoceno, las condiciones favorables de la MC desaparecerían, aislando las poblaciones de *P. mexicana*, tal y como se observan en la actualidad.

Si bien las predicciones del UMG son reducidas en la MC, esto podría deberse a los parámetros empleados en la elaboración del modelo, subestimando el área de distribución potencial. Por otra parte, los resultados obtenidos son parecidos a los reportados por Gugger *et al.* (2011) para *Pseudostuga menziensii*, la cual también tiene una distribución disyunta en la actualidad y probablemente también la tuvo durante el UMG, sin embargo, pudo haber presentado una distribución continua durante otras épocas glaciales del Pleistoceno.

Respecto a la presencia de *Picea* en el centro de México, es probable que se tratara de *P. chihuahuana*, no solo por las predicciones obtenidas, también dada la afinidad florística entre la SMW y el ENV (McDonald, 1998), además de los estudios genéticos realizados por Jaramillo-Correa *et al.* (2006) y la dinámica de migración de norte a sur durante las épocas glaciales y de sur a norte durante los interglaciales (Briones, 1994; González-Medrano, 1998; Loera *et al.*, 2017).

A pesar de ser el segundo género más diverso entre las coníferas (Rzedowski, 2006; Gernandt y Pérez-De la Rosa, 2014), poco se sabe del género *Juniperus* en México. Dadas las similitudes en su morfología, como son las hojas, microestóbilos y macroestróbilos, han provocado dificultad para la identificación de las especies, esto ha llevado a que se propongan diferentes tratamientos taxonómicos y en consecuencia desconocer que especies se distribuyen en el país y en que sitios (Zanoni, 1978; Farjon, 2005; Adams, 2014).

Tras haber definido las especies que se considerarían en este trabajo y con apoyo de los MNE, nos ha permitido conocer más acerca de la distribución geográfica de los juníperos. Si bien se tratan de distribuciones potenciales, estas coinciden en su mayoría con lo reportado por Adams (2014) y Farjon y Filler (2013), en especial con las especies que cuentan con varios registros (>20). En algunos casos se predicen localidades que no fueron incluidas en la elaboración de los modelos, por ejemplo, en Zacatecas para *J. martinezii* y en Durango para *J. jaliscana*, siendo para esta última, localidades que no han sido confirmadas, ya que después de haber sido reportada por Martínez (1963) no se ha vuelto a registrar en Durango (Farjon, 2010; Pérez de la Rosa, comunicación personal).

Por otra parte, en los modelos de *J. blancoi*, *J. coahuilensis*, *J. martinezii* o *J. poblana* se observan “sobrepredicciones”, sitios que cuentan con las condiciones ambientales favorables para la presencia de la especie, pero en los que no ha sido colectada. En estas situaciones, es importante realizar muestreos de campo para validar los modelos y complementar la información respecto a la distribución geográfica de las especies. Tal como ha sucedido con *J. blancoi*, especie que en un principio se reportaba solo en la SMW y con el tiempo se agregaron nuevas localidades conocidas en el ENV (Pérez de la Rosa y Carillo, 2003).

A diferencia del género *Picea*, las especies de juníperos tienen mayor tolerancia ambiental, por un lado, están las especies de hábitos montanos, como *J. monticola*, *J. standleyi* o *J. zanonii*, mientras especies como *J. angosturana*, *J. coahuilensis* o *J. monosperma*, son tolerantes a los ambientes semiáridos. Por lo tanto, es de esperar diferentes respuestas ante el clima del UMG.

Hace 22,000 años, las condiciones de menor temperatura debieron beneficiar a las especies con afinidad a climas templados, y que se refleja en la distribución potencial de *J. monticola* y *J. zanonii*, las cuales son mayores para los escenarios del pasado en comparación con el presente. En contraste, el área potencial de *J. standleyi* durante el UMG fue menor, a pesar de que también está relacionada a bajas temperaturas, además de valores altos de precipitación. Sin embargo, es probable que esta última haya determinado la distribución potencial de esta especie, ya que, durante el UMG, el aporte de humedad fue menor en Chiapas y Guatemala.

Otra consecuencia de las bajas temperaturas del UMG, fue el desplazamiento de la vegetación a menores altitudes de hasta 1,000 m, de esta manera se pudieron

formar corredores entre las montañas, permitiendo que la distribución de las especies fuera continua (McDonal, 1998; Caballero *et al.*, 2010; Mastreta-Yanez *et al.*, 2015). Esto se observa en los modelos del UMG de *J. zanonii*, en los que se forma una conexión entre la Sierra de Arteaga y Peña Nevada, en el sur de Nuevo León.

De igual forma, *J. monticola* pudo haberse encontrado a menores altitudes durante el UMG, mostrando un limitado desplazamiento horizontal, de manera que esta especie se encontró en la misma área geográfica, sin embargo, el occidente del ENV se mantuvo separado del resto de las predicciones. Esto coincide con lo obtenido por Mastreta-Yanez *et al.* (2018), quienes mencionan que las poblaciones del oeste del ENV pudieron haber sido colonizadas a larga distancia.

Una de las especies más abundantes en la actualidad y que también mostro una distribución potencial continua durante el UMG fue *J. deppeana*. De acuerdo a Adams *et al.* (2007), mencionan que las poblaciones que se encuentran actualmente en las montañas Chisos y Davis, Texas, probablemente eran continuas durante el UMG. Por otra parte, las poblaciones del centro de Nuevo México y norte de Arizona, se establecieron posterior a la última glaciación, y que son provenientes del sur de Arizona, sitio que pudo fungir como “refugio” para las poblaciones de *J. deppeana*, lo cual concuerda con los modelos obtenidos.

Así mismo, durante el UMG *J. deppeana* pudo encontrarse dentro de lo que actualmente es el desierto Chihuahuense, ya que hace 22,000 años, las condiciones de temperatura y aumento de la precipitación de estos sitios debieron favorecer la expansión de esta especie y el establecimiento de bosques abiertos junto a *Pinus* (Anderson y Van Devender, 1991; Briones, 1994; Metcalfe, 2006). De tal manera que

la precipitación tiene un papel importante en la distribución de los juníperos. Para las especies que se comparten con E. U., si bien las temperaturas más bajas del UMG pudieron ser más adversas, el incremento de humedad en los actuales desiertos de Norteamérica debió favorecer el establecimiento de los juníperos en estos sitios.

Sin embargo, con excepción de *J. californica*, todas las especies que se encuentran en el norte de México y sur de E. U. mostraron una distribución potencial menor. Especies como *J. ashei* y *J. pinchotii*, actualmente son tan abundantes en el estado de Texas que son consideradas como malezas (Lyons *et al.*, 1998; Adams, 2014), pero durante el UMG su distribución potencial fue menor y se encontraban a menores latitudes. Adams (2014) sugiere que *J. ashei* se estableció principalmente al este de la Sierra del Carmen, pero no más hacia el sur; mientras que la Meseta Edwards probablemente fungió como refugio pleistocénico. En contraste con los modelos obtenidos, no se predicen áreas favorables en el centro de Texas, pero sí en la región norte de Coahuila, en la Serranía de El Burro, inclusive, bajo el escenario CCSM4, *J. ashei* pudo haberse encontrado en la subprovincia de los Pliegues de Saltillo-Parras en Nuevo León, que es una zona de llanos y areniscas.

De igual forma, la distribución potencial de *J. scopulorum* fue menor durante el UMG. En la actualidad esta especie se encuentra desde el sur de Canadá, a lo largo de las montañas del oeste en Estados Unidos, hasta el norte de México, presentando la distribución latitudinal más amplia en la presente investigación, mientras que en el pasado pudo encontrarse dentro de los actuales desiertos Chihuahuense, Sonorense y Mojave. Otros sitios que pudieron actuar como refugios pleistocénicos, fueron el norte de Oregón, el norte de California y el sur de Colorado, tal como lo sugiere Adams

(2014). Las condiciones de temperatura tal vez superaron las tolerancias ambientales de esta especie, pero el incremento de la precipitación debió beneficiarla, pues *J. scopulorum* está relacionada positivamente con la humedad disponible en el ambiente (Spond *et al.*, 2014).

Los cambios latitudinales que se observan en la distribución potencial de algunos juníferos, también ha sido reportado por Shinneman *et al.* (2016), para *Pinus ponderosa*. Esta especie probablemente se encontró durante el UMG en la región de California o de la Gran Cuenca, más allá del sur de su distribución actual.

Por otra parte, las condiciones más áridas del centro y sur de México debieron ser desfavorables para algunas especies como *J. flaccida* y *J. poblana*, provocando que el área potencial de ambas especies fuera menor y obteniendo distribuciones fragmentadas, a pesar de que en la actualidad *J. flaccida* es otra de las especies abundantes en México.

Como muestran los resultados, no todas las especies fueron beneficiadas con el clima del UMG. Una respuesta negativa al clima de hace 22,000 años también fue observada por Alba-Sánchez *et al.* (2010), quienes obtuvieron los modelos para dos especies de *Abies* en España, los cuales mostraron una reducción de la distribución potencial en el pasado. De acuerdo con estos autores, la contracción de las poblaciones de *Abies* se debió a que la temporada de crecimiento de la especie se redujo como consecuencia de las bajas temperaturas y el cambio en el régimen de precipitación. Así mismo, Fierro *et al.* (2011), señalan que la combinación de bajas temperaturas y aridez durante el UMG, pudo provocar que muchas especies

disminuyeran su distribución, manteniéndose únicamente en áreas pequeñas con microclimas favorables, desde donde volverían a expandirse a partir del Holoceno.

De acuerdo a los modelos obtenidos, se observan dos tipos de desplazamientos, verticales y horizontales. En comparación, los desplazamientos verticales (altitud) son relativamente más cortos que los movimientos longitudinales (latitud o longitud) realizados en las planicies, por lo que las zonas montañosas de México pudieron funcionar como refugios para diferentes especies como *J. ashei* o *J. pinchotii* (Nowak *et al.*, 1994; Alba-Sánchez *et al.*, 2010; Mastretta-Yanes *et al.*, 2015; Mastretta-Yanes *et al.*, 2018).

Por otra parte, dentro del género *Juniperus* aún existen problemáticas respecto a la taxonomía y distribución de las especies, donde los MNE pueden contribuir en el conocimiento de las mismas.

En el caso de *J. monosperma*, es una especie de la que no se tienen colectas recientes en México, por lo que existe la incertidumbre de que se distribuya en el país. En particular, Adams (2014), menciona que las localidades que se han reportado para México podrían tratarse en realidad de *J. angosturana* o de *J. coahuilensis*, sin embargo, Farjon (2005) verificó un ejemplar de herbario de *J. monosperma* en el norte de Chihuahua, cuya colecta data de 1880. De igual forma, los modelos muestran sitios con condiciones ambiental favorables en México Si bien, en la actualidad tal vez esta especie no se haya colectado en el territorio nacional, los modelos indican que existen condiciones favorables para su presencia en el país, que se han mantenido inclusive desde el UMG.

Por otro lado, los registros de colecta de *J. flaccida* y *J. poblana* se han realizado en sitios muy próximos entre sí, en consecuencia, en los modelos se observa que comparten distribución potencial. La cercanía entre los registros, probablemente se deba a problemas de identificación dentro de los herbarios, ya que estas taxa presentan similitudes morfológicas en el tamaño del cono y la apariencia de las hojas y ramillas (Farjon 2010; Adams, 2014). A pesar de que en los análisis genéticos de Adams *et al.* (2006), las consideran como especies diferentes, Farjon (2010), menciona que la cantidad de muestras que se usaron en el análisis, no es suficiente para resolver la relación filogenética.

También existen discrepancias en lo que respecta a la taxonomía de *J. deppeana*, razón por la que se realizaron diferentes modelos, tomando como referencia las clasificaciones de Adams (2014) y el listado de Gernandt y Pérez de la Rosa (2014). Los modelos obtenidos se diferenciaron principalmente en el estado de Oaxaca y en Guatemala, donde se predicen más áreas potenciales en el modelo basado en la clasificación de Adams (2014), probablemente debido al efecto que tienen las localidades de Chiapas, que aportan nueva información en la generación de los modelos. Por otra parte, en el estado de Oaxaca se han colectado ejemplares identificados como *J. deppeana* y que están depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias de la UNAM (FCME), sin embargo, estos ejemplares presentaban ramillas flácidas y no había ninguna mención sobre la corteza exfoliante en cuadros, tan característica de esta especie, por lo que los ejemplares de herbario podrían tratarse de *J. flaccida*.

En cuanto a las localidades de Chiapas, son consideradas como una variedad de *J. deppeana*, que, de acuerdo a análisis genéticos, son más parecidas a *J. deppeana* var. *robusta*, que se distribuye en la SMW (Adams *et al.*, 2007). En las predicciones del UMG, no se observa conexión entre Chiapas con el resto de la distribución potencial de *J. deppeana*. La distribución potencial se encuentra separada por el Istmo de Tehuantepec, el cual ha funcionado como barrera geográfica para varias especies de coníferas (Del Castillo *et al.*, 2004).

De acuerdo a Adams *et al.* (2007), *J. deppeana* pudo haberse establecido en Chiapas, gracias a la acción dispersora de aves. Sin embargo, la única característica que comparte la variedad de Chiapas, *J. deppeana* var. *gamboana*, con la variedad de la SMW, es la apariencia de la corteza que es forma de cuadros. Considerando las diferencias morfológicas de menor tamaño en los conos y menor número de semillas en *J. deppeana* var. *gamboana*, así como la distribución geográfica que presentan y la falta de un muestreo más amplio, sugieren que se trata de una especie diferente (Farjon 2010).

Respecto a los modelos que se obtuvieron, considerando la clasificación de Adams (2014), se predicen zonas de Oaxaca y en la Sierra de Cochumatanes en los que no se ha registrado la especie. Mientras que en las proyecciones del UMG predicen una mayor área en Chiapas en comparación a los modelos obtenidos con base en el listado de Gernandt y Pérez de la Rosa (2014). En ambos casos, las predicciones del UMG sugieren que *J. deppeana* var. *gamboana* no ha estado en contacto con las otras variedades de *J. deppeana* desde entonces.

Una forma de validar los modelos que se proyectan al pasado, es con localidades fósiles. De acuerdo a los datos fósiles, el género *Juniperus* estuvo presente en lo que actualmente son los desiertos de Norteamérica, formando parte de bosques abiertos junto a *Pinus* (Van Devender, 1990a; Van Devender 1990b). Este tipo de bosque prevalecieron prácticamente durante todo el UMG y fueron reemplazados por otros elementos de ambientes más áridos con el inicio del Holoceno (Van Devender, 1990a; Van Devender 1990b; Spaulding, 1990; Metcalfe, 2006).

Sin embargo, no es posible definir con exactitud que especies se encontraban en estas zonas, por lo que es posible que existan diferencias entre lo encontrado en los fósiles y lo obtenido en los MDEs. Al respecto, Thompson (1990) menciona que *J. scopulorum* pudo haberse encontrado en la Gran Cuenca durante el UMG, al igual que *J. osteosperma*, una de las especies de juníperos más abundantes en las montañas del oeste de Estados Unidos. Sin embargo, los modelos no predicen ambientes idóneos en tal zona para *J. scopulorum*; probablemente los restos fósiles reportados, corresponden únicamente *J. osteosperma*, que se considera con una mayor tolerancia a los cambios ambientales (Nowak *et al.*,1994).

Cabe mencionar que algunos datos fósiles se han obtenido de las paleomadrigueras de roedores, sin embargo, para el caso de *Juniperus*, la identificación se ha hecho con base en las hojas, las cuales no son el principal carácter de valor diagnóstico, por lo que no deberían considerarse concluyentes para la identificación de especies.

Otro tipo de registro fósil es el polen, el cual refleja la composición de la vegetación a escala regional (Mehring y Wigand, 1990; Briones, 1994), pero que

tiene la limitante de que la morfología del polen en la Familia Cupressaceae es muy similar y la abundancia tanto del género *Picea* y *Juniperus*, suele ser baja. Por lo tanto, el hecho de que los modelos no logren predecir la presencia de una especie en un sitio con registros fósiles, no implica necesariamente que los modelos sean deficientes.

A pesar de lo anterior, los MNE han sido probados para predecir la distribución potencial de las especies durante el pasado y se han obtenido resultados satisfactorios. Martínez-Meyer *et al.* (2004) reportan que, para 23 especies de mamíferos, las predicciones de los modelos entre diferentes tiempos, resultan estadísticamente significativos, en 18 de los 23 casos, probando que los modelos logran hacer predicciones confiables hacia el pasado.

En otros trabajos en los que se cuenta con mayor número de registros fósiles, como los de Martínez-Meyer y Peterson (2006) y Ballesteros-Barrera (2008), los MNE han mostrado ser altamente predictivos hacia el pasado. Por lo que, en este trabajo, a pesar de no contar con suficientes datos fósiles por especie, podemos deducir que los MDE durante el UMG son confiables.

### **Espacio ambiental**

Una de las problemáticas al realizar MNE con transferencias en tiempo o espacio, es la capacidad para reconstruir el nicho de las especies bajo condiciones ambientales diferentes (Guevara *et al.* 2018a), además, hay que considerar que los MNE se basan en las condiciones actuales en las que se encuentran las especies, por lo tanto, estas podrían no estar representando por completo el nicho de las especies.

Así, al comparar las condiciones ambientales entre el presente y el UMG para cualquiera de las especies de *Picea* y *Juniperus* se observa que potencialmente se pueden encontrar en diferentes condiciones de temperatura y precipitación. Estos cambios no necesariamente se deben a modificaciones en las tolerancias de las especies, si no a las diferencias propias del ambiente durante el UMG. Jackson y Overpeck (2000) mencionan que el espacio ambiental es dinámico en el tiempo, por lo que no depende únicamente de las interacciones entre las mismas variables ambientales y de la heterogeneidad espacial. De esta manera, con el paso del tiempo existen configuraciones ambientales distintas que modifican el nicho potencial de las especies tanto en forma, tamaño y posición.

De manera que, sería precipitado hablar sobre cambios en el nicho de las especies, sin haber realizado otros tipos de pruebas. Por lo tanto, el que las especies se pudieran haber encontrado en condiciones ambientales diferentes (por ejemplo, menores temperaturas que en la actualidad), sugiere que los rangos de tolerancia son más amplios de lo que se observa en la actualidad. Inclusive, con base a los modelos de nicho, los ambientes disponibles podrían incrementar en un tiempo u otro, dando la apariencia de que los nichos hubieran cambiado en el transcurso de los últimos 22,000 años.

Finalmente, la distribución de las especies se ve influida, no solamente por la tolerancia de las mismas al clima, también a la combinación de ambientes disponibles en la geografía (Jackson y Overpeck, 2000), puesto que pueden aparecer o desaparecer sitios idóneos para el establecimiento de las especies, además, aun cuando existan las condiciones ambientales idóneas para las mismas, podrían

encontrarse separados en la geografía y quedar inaccesibles para su colonización. Es un punto a considerar con las especies con pocos registros en la actualidad y con poblaciones disyuntas, como el caso de *P. mexicana*, cuya distribución geográfica puede estar dada por la dinámica ambiental, la disponibilidad de ambientes idóneos y su accesibilidad a los mismos.

## CONCLUSIONES

Tras la obtención de los modelos de las especies *Picea* y *Juniperus*, se observan cambios en la distribución potencial entre el UMG y el presente que consistieron en el aumento o disminución del área potencial. Así mismo, se dieron desplazamientos de la vegetación tanto en sentido vertical (altitud), como en horizontal (longitud y latitud).

Las condiciones más frías del UMG debieron proporcionar mayor disponibilidad de ambientes favorables para el establecimiento de las especies de *Picea*, las cuales tuvieron mayor área de distribución potencial hace 22,000 años. Además de haberse encontrado a menores altitudes y latitudes, tal como sugieren las evidencias fósiles.

Las especies con mayor cambio en su área de distribución potencial fueron *P. chihuahuana*, en el escenario CCSM4 y *P. mexicana* en el MIROC.

En el caso de los juníperos, además de la temperatura, se observó un claro efecto de la precipitación en la distribución de las especies. Las especies beneficiadas por el clima del UMG y que presentaron mayor área de distribución potencial con respecto al presente, muestran afinidad a climas templados, o que habitan en las zonas montañosas, como es el caso de *J. blancoi*, *J. durangensis*, *J. martinezii*, *J. monticola* y *J. zanonii* (especies endémicas). Mientras que especies como *J. californica* y *J. deppeana* (distribución en México y E. U.), se beneficiaron por el incremento de la precipitación en el norte de México.

De acuerdo a los resultados, 12 de las especies de *Juniperus* tuvieron una respuesta negativa al clima del UMG, al presentar menor área de distribución

potencial. Especies como *J. comitana*, *J. flaccida*, *J. poblana* y *J. standleyi* se vieron afectadas por la disminución de la precipitación. Mientras que, en el norte de México y sur de E. U., los cambios en la distribución dependieron del efecto combinado de la temperatura y la precipitación.

Entre de los juníferos, las especies que se beneficiaron en mayor medida con el clima del UMG fueron, *J. monticola* en el escenario CCSM4, y *J. zanonii* en el MIROC. Por otra parte, el clima actual ha beneficiado la expansión de *J. angosturana*, especie endémica de México.

Las comparaciones entre los ambientes de las dos épocas (presente y UMG), sugieren que los rangos de tolerancias ambientales, tanto de los pinabetes como de juníferos, son más amplios de lo que se observa en la actualidad.

Los MNE también nos permiten realizar otros tipos de análisis, como explorar el espacio ambiental y la similitud entre especies. La comparación de los MNE, sugiere que *J. deppeana* var. *gamboana*, podría considerarse como una especie diferente de *J. deppeana* y *J. poblana* podría tratarse de una variedad de *J. flaccida*.

Por último, cabe mencionar que los pinabetes y los juníferos, son géneros en los que se puede abordar y profundizar en diversos campos de la investigación, como son: taxonomía, genética, fenología, ecología, fitogeografía, así como en las interacciones con otras especies, que en su conjunto coadyuven a entender el “papel” de las especies de estos géneros en las comunidades vegetales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, R. 2014. *Junipers of the world: the genus Juniperus*. 4<sup>a</sup> ed. Trafford Publishing, Texas.
- Adams, R. 2018. *Juniperus* of Canada and the United States: taxonomy, key and distribution. *Lundellia*. 21:1-34.
- Adams, P., Schwarzbach, A. y S. Nguyen. 2006. Re-examination of the taxonomy of *Juniperus flaccida* var. *martinezii*, and var. *poblana* (Cupressaceae). *Phytologia* 88(3): 233-241.
- Adams, R., Schwarzbach, A., Nguyen, S. y J. Morris. 2007. Geographic variation in *Juniperus deppeana*. *Phytologia* 89(2):132-150.
- Aguilar, O. 2016. Predicción de la distribución potencial de las especies arbóreas de las selvas tropicales de México, bajo escenarios de cambio climático global. Estudio en áreas naturales protegidas. Tesis de Maestría. Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.
- Alba-Sánchez, F., López-Sáez, J., Benito de Pando, B., Linares, J., Nieto-Lugilde, D. y L. López-Merino. 2010. Past and present potential distribution of the Iberian *Abies* species: A phytogeographic approach using pollen data and species distribution models. *Diversity and Distributions* 16(2):214- 228.
- Anderson, R. y T. Van Devender. 1991. Comparison of pollen and macrofossils in packrat (*Neotoma*) middens: A chronological sequence from the Waterman Mountains of southern Arizona, U.S.A. *Review of Paleobotany and Palynology* 68:1-28.

- Araújo, M. y A. Guisan. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* :1-12.
- Arroyo-Cabrales, J., Carreño, A., Lozano-García, S. y M. Montellano-Ballesteros. 2008. La diversidad en el pasado. In Soberón, J., Halffter, G. y J. Llorente-Bousquets (comp.), *Conocimiento actual de la biodiversidad*. México, Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ballesteros-Barrera, C. 2008. Efecto del cambio climático global en la distribución de especies del Desierto Chihuahuense. Tesis de Doctorado. D. F., Instituto de Biología, UNAM.
- Begon, M., Harper, J. y C. Townsend. 1999. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. 3ª ed. Ediciones Omega, Barcelona.
- Bostock, H. 1970. Physiographic Regions of Canada. Geological Survey of Canada, Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
- Briones, O. 1994. Origen de los desiertos mexicanos. *Ciencia* 45(3):263-279.
- Cab, L. 2016. Refugios pleistocénicos de roedores en la península de Baja California, México. Tesis de Maestría. La Paz, Centro de Investigaciones Biológicas del Norte, S.C.
- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L. y B. Ortega. 2010. Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62(3): 359-377.

- Ceballos, G. y G. Oliva. 2005. Los mamíferos silvestres de México. Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J., Miranda-Viquez, E. y A. Pineda-Velázquez. 1990. Provincias Fisiográficas de México. Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México. In Sánchez, O., Vega, E., Peters, E. y O. Monroy-Vilchis (edit.). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. In Soberón, J., Halffter, G. y J. Llorente-Bousquets (comp.), *Conocimiento actual de la biodiversidad*. México, Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. Georreferenciación de localidades de Colecciones Biológicas. Manual de Procedimientos. México.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E. y E. Ortiz. 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución

de especies en MaxEnt. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(2):187-201.

- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F. y J. López-Sandoval. 2016. Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22(2):135-148.
- Cuervo-Robayo, A. y O. Monroy-Vilchis. 2012. Distribución potencial del jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) en Guerrero, México: persistencia de zonas para su conservación. *Revista de Biología Tropical* 60(3):1357-1367.
- Dávila, P. y V. Sosa. 1994. El conocimiento florístico de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 55:21-27.
- De la Cerda, M. e I. García. 2008. Gimnospermas. In Villegas, H. y A. Cruz (coord.), *La biodiversidad en Aguascalientes: estudio de estado*. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes y Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Del Castillo, R., Pérez de la Rosa, J. y G. Vargas. 2004. Coníferas. In García-Mendoza, A., Ordóñez, M. y M. Briones-Salas (coord. y edit.), *Biodiversidad de Oaxaca*. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Duro, J., Madoqueo, R., Vásquez, R., González, G., García, G., Argueta, J. y O. González. 2005. Atlas temático de la República de Guatemala. Unidad de

Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo-UPGGR. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala.

- Eckenwalder, J. 2009. Conifers of the world. The complete reference. Timber Press, Portland.
- Elton, C. 1927. Animal Ecology. Sidgwick and Jackson, London.
- Estrada, A., Villarreal, J., Salinas, M., Cantú, C., González, H. y J. Jiménez. 2014. Coníferas de Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León.
- Farjon, A., 2005. A monograph of Cupressaceae and Sciadopitys. Royal Botanical Garden, Kew, Richmond.
- Farjon, A. 2010. A handbook of the world's conifers (2 vols.). 2ª ed. Brill, Leiden.
- Farjon A. y Filer D. 2013. An atlas of the world's conifers: An analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status. Brill, Leiden.
- Fenneman, N. 1917. Physiographic Subdivision of the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 3: 17–22.
- Fierro, E., Munuera, M., Fernández, S., Arribas, A. y J. Carrión. 2011. Cambios en el paisaje vegetal de la región andaluza durante el pleistoceno superior y Holoceno. *Revista de Prehistoria de Andalucía* (2):15-33.
- Flores-López, C., López-Upton, J. y J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39:117-126.

- Flores-López, C., Grada-López, C., López-Upton, J. y E. López-Ramírez. 2013. Variación morfológica en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Revista Forestal Barocoa* 32(2):3-9.
- Flores-Villela, O. y L. Canseco-Márquez. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20(2): 115-144.
- Galante, P. 2015. Model complexity and variable selection in MaxEnt niche models: analyses for rodents in Madagascar. Tesis de Maestría. New York. Department of Biology, University of New York.
- García, H. 2012. *Picea chihuahuana* Martínez (Pinaceae). Monografía. Saltillo, Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- García-Arévalo, A. 2008. Vegetación y flora de un bosque relictual de *Picea chihuahuana* Martínez del norte de México. *Polibotánica* (25):45-68.
- Gernandt, D. y J. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 126-133.
- Gesch, D. y K. Larson, 1996. Techniques for development of global 1-kilometer digital elevation models. In: Pecora Thirteen, Human Interactions with the Environment - Perspectives from Space, Sioux Falls, South Dakota.
- Gómez, J. 2007. Crecimiento e incremento de *Picea martinezii* T. F. Patterson en tres poblaciones de Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Gómez, J., Monterroso, A. y J. Tinoco. 2007. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques* 13(2):29-49.
- González-Medrano, F. 1998. La vegetación de México y su historia. *Ciencias* (52):58-62.
- González-Elizondo, S., González, M. y M. Márquez. 2007. Vegetación y ecorregiones de Durango. IPN, CIIDIR, Plaza y Valdés, D. F.
- Gordon, A. 1968. Ecology of *Picea Chihuahuana* Martinez. *Ecology* 49(5):880-896.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. y M. Hernández-García. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13:67-83.
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk* 34:427-433.
- Guevara, L., León-Panlagua, L., Rios, J. y R. Anderson. 2018a. Variación entre Modelos de Circulación Global para reconstrucciones de distribuciones geográficas del último Máximo Glacial: relevancia en la filogeografía. *Ecosistemas* 27:62-76.
- Guevara, L., Gerstner, B., Kass, J. y R. Anderson. 2018b. Toward ecologically realistic predictions of species distributions: A cross-time example from tropical montane cloud forests. *Global Change Biology* 24:1511-1522.

- Guevara, L., Morrone, J. y L. León-Paniagua. 2019. Spatial variability in species' potential distributions during the Last Glacial Maximum under different Global Circulation Models: Relevance in evolutionary biology. *Journal Zoological Systematics Evolutionary Research* 57:113-126.
- Gugger, P., González-Rodríguez, A., Rodríguez-Correa, H., Sugita, S. y J. Cavender-Bares. 2011. Southward Pleistocene migration of Douglas-fir into Mexico: phylogeography, ecological niche modeling, and conservation of “rear edge” populations. *New Phytologist* 189:1185-1199.
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. y A. Jarvis, 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Holmgren, P., Holmgren N. y L. Barnett. 1990. Index herbariorum. Part I, The herbaria of the world. 8<sup>a</sup> ed. *Regnum vegetabile* 120. New York Botanical Garden for the International Association for Plant Taxonomy.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22:415-427.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1: 250 000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.

- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2008. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 31 pp.
- IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II, y III al Quinto Informe de Evaluación del IPCC, Ginebra.
- IUCN. 2012. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. 2ª ed. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN.
- Jackson, S. y J. Overpeck. 2000. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology* 26: 194-220
- Jaramillo-Correa, J., Beaulieu, J., Ledig, F. y J. Bousquet. 2006. Decoupled mitochondrial and chloroplast DNA population structure reveals Holocene collapse and population isolation in a threatened Mexican-endemic conifer. *Molecular Ecology* 15:2787-2800.
- Köppen, W. 1948. Climatología. Fondo de Cultura Económica, México.
- Ledig, F., Jacob-Cervantes, V., Hodgskiss, P. y T. Eguiluz-Piedra. 1997. Recent evolution and divergence among populations of a rare Mexican endemic, Chihuahua spruce, following Holocene climatic warming. *Evolution* 51:1815-1827.
- Ledig, F., Mapula-Larreta, M., Bermejo-Velázquez, B., Reyes-Hernández, V., Flores-López, C. y M. Capó-Arteaga. 2000. Locations of endangered spruce

populations in Mexico and the demography of *Picea chihuahuana*. *Madroño* 47:71-78.

- Ledig, F., Rehfeldt, G., Sáenz-Romero, C. y C. Flóres-López. 2010. Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. *American Journal of Botany* 97:970-987.
- Ledig, F., Hodgskiss, P. y V. Jacob-Cervantes. 2002. Genetic, mating system, and conservation of a Mexican subalpine relict, *Picea mexicana* Martínez. *Conservation Genetics* 3: 113-122.
- Ledig, F., Hodgskiss, P., Krutovskii, K., Neale, D. y T. Eguiluz-Piedra. 2004. Relationships among the Spruces (*Picea*, Pinaceae) of Southwestern North America. *Systematic Botany* 29(2):275-295.
- Loera, I., Ickert-Bond, S. y V. Sosa. 2017. Pleistocene refugia in the Chihuahuan Desert: the phylogeographic and demographic history of the gymnosperm *Ephedra compacta*. *Journal of Biogeography*: 1-11.
- López, D. 2009. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en las poblaciones naturales de México. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Lozano-García, S. y B. Ortega-Guerrero. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Paleobotany and Palynology* 99:77-93.

- Lozano-García, S. y S. Sosa-Nájera. 2015. Análisis palinológico del Cenozoico de la cuenca de México: el registro polínico de los pozos Texcoco-I y San Lorenzo Tezonco. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 67(2):245-253.
- Lozano-García, S., Ortega-Guerrero, B., Caballero-Miranda, M. y J. Urrutia-Fucugauchi. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of the Chalco lake, Central Mexico. *Quaternary Research* 40:332-342.
- Lozano, S. 2004. Evidencia de cambio climático: cambios en el paisaje. In Martínez, J. y A. Fernández (comp.), *Cambio climático: una visión desde México*. México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Lozano-García, S., Debajyoti, P., Correa, Y., Caballero, M., Carriquiry, J., Figueroa-Rangel, B., Alexander, G., Luna, L. y J. Villanueva. 2015. Registros paleoclimáticos. In Gay, C. y J. Rueda (coord.), *Reporte Mexicano de Cambio Climático: Grupo 1 Bases científicas. Modelos y modelación*. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lyons, R., Owens, M. y R. Machen. 1998. Juniper biology and management in Texas. Texas Agricultural Extension Service. *The Texas A&M University System*. 3-10.
- Maciel-Mata, C., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P. y G. Sánchez-Rojas. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria* 25(2):3-19.

- Martínez-Meyer, E. y A. Peterson. 2006. Conservatism of ecological niche characteristics in North American plant species over the Pleistocene-to-Recent transition. *Journal of Biogeography* 33:1779-1789.
- Martínez-Meyer, E., Peterson, A. y W. Hargrove. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 13:305-314.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. 3° ed. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F.
- Mastretta-Yanes, A., Moreno-Letelier, A., Piñero, D., Jorgensen, T. y B. Emerson. 2015. Biodiversity in the Mexican highlands and the interaction of geology, geography and climate within the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Biogeography* 42:1586-1600.
- Mastretta-Yanes, A., Xue, A., Moreno-Letelier, A., Jorgensen, H., Alvarez, N., Piñero, D. y B. Emerson, 2018. Long-term in situ persistence of biodiversity in tropical sky islands revealed by landscape genomics. *Molecular Ecology*. 27:432-448.
- Mateo, R. Felicísimo, A. y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84:217-240.
- McDonald, J. 1998. Fitogeografía e historia de la flora alpin-subalpina del noreste de México. In Rammamoorthy, T., Bye, R., Lot, A. y J. Fa (comp.).

*Diversidad biológica de México*. México, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Mehringer, P. y P. Wigand. 1990. Comparison of Late Holocene environments from woodrat middens and pollen: Diamond Craters, Oregon. In Betancourt, J., Van Devender, T. y P. Martin (edit.), *Packrat middens: The last 40,000 years of biotic change*. United States, The University of Arizona Press.
- Metcalfe, S. 2006. Late Quaternary environments of the northern deserts and central transvolcanic belt of Mexico. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 93(2):258-273.
- Miranda, F. y E. Hernández-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- Moreno-Letelier, A., Mastretta-Yanes, A. y T. Barraclough. 2014. Late Miocene lineage divergence and ecological differentiation of rare endemic *Juniperus blancoi*: clues for the diversification of North American conifers. *New Phytologist* 203:335–347.
- Morrone, J. y T. Escalante. 2016. Introducción a la biogeografía. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F.
- Morueta-Holme, N., Flojgaard, C. y J. Svenning. 2010. Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammal species. *PLoS ONE* 5(4):1-12.

- Navarro, S., y A. Gordillo. 2006. Catálogo de autoridad taxonómica de la avifauna de México. Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM. Base de datos SNIB-CONABIO, proyecto CS010.
- Nowak, C., Nowak, R. Tausch, R. y P. Wigand. 1994. Tree and shrub dynamics in northwestern Great Basin woodland and shrub steppe during the Late-Pleistocene and Holocene. *American Journal of Botany* 81(3):265-277.
- Pearson, R. y T. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12:361-371.
- Patterson, T. 1988. A new species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo León, Mexico. *SIDA, Contributions to Botany* 13(2):131-135.
- Pearson, R., Raxworthy, C., Nakamura, M. y A. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34:102-117.
- Pérez de la Rosa, J. y P. Carrillo. 2003. Primer reporte de *Juniperus blancoi* Martínez en Nueva Galicia. *Boletín, IBUG* 11:5-9.
- Pérez de la Rosa, J. y G. Vargas-Amado. 2015. Morfología de los microestróbilos de *Juniperus* (Cupressaceae) y su distribución geográfica en Jalisco, México. *Boletín, IBUG* 8:79-93.
- Pérez de la Rosa, J. y G. Vargas. 2017. Gimnospermas. In Cruz, A., Ordorica, A., Valero, J. y E. Melgarejo (Coord.), *La biodiversidad en Jalisco: Estudio de*

estado, Volumen II. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Peterson, A. y T. Anamza. 2015. Ecological niches and present and historical geographic distributions of species: a 15-year review of frameworks, results, pitfalls, and promises. *Folia Zoologica* 64(3):207–217.
- Peterson, A. e Y. Nakazawa. 2008. Environmental data sets matter in ecological niche modelling: an example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global Ecology and Biogeography* 17:135-144.
- Peterson, A., Papes, M. y J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* 213:63-72.
- Peterson, A., Soberón, J. y V. Sánchez-Cordero. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science* 285:1265-1267.
- Peterson, A., Soberón, S., Person, P., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. y M. Bastos. 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, Princeton and Oxford.
- Phillips, S. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Phillips, S., Anderson, R. y R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Phillips, S., Anderson, R., Dudik, M., Shapire, R. y M. Blair. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 40:887-893.

- Quirino, R. 2019. El género *Juniperus* en el estado de Zacatecas. Memorias del XXI Congreso Mexicano de Botánica, Aguascalientes, Aguascalientes [20-25 de octubre de 2019].
- Ramírez-Pulido, J., Arroyo-Cabrales, J. y N. González-Ruiz. 2008. Catálogo de autoridades de los mamíferos terrestres de México. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM Iztapalapa. Base de datos SNIB-CONABIO, proyecto ES010.
- Ran, J., Wei, X. y X. Wang. 2006. Molecular phylogeny and biogeography of *Picea* (Pinaceae): Implications for phylogeographical studies using cytoplasmic haplotypes. *Molecular phylogenetics and evolution* 41:405-459.
- Reemts, C. y L. Hansen. 2008. Slow recolonization of burned oak-juniper woodlands by Ashe juniper (*Juniperus ashei*): Ten years of succession after crown fire. *Forest Ecology and Management* 255:1057-1066.
- Reygadas, D. 2017. Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano. Informe final entregado a la CONABIO y al PNDU. México. 82 pp.
- Rosales, S. 2016. Reconstrucción paleoflorística a partir de los conjuntos palinológicos recuperados de los lacustres Villa Alegría y Cerro Prieto en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y Oaxaca. Tesis de Maestría. México, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* (14):3-21.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Rzedowski, G., Rzedowski, J. y colaboradores. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro.
- Sánchez, J. 1984. *Picea chihuahuana*, una conífera en peligro de extinción. *Revista Ciencia Forestal* 9(51): 51-63.
- SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (Segunda sección). 1-77.
- Sengupta, D. 2012. Models of five climatically sensitive taxa in central and northwestern Mexico during the present, the mid-Holocene and the Last Glacial Maximum. Tesis de Doctorado. Berkeley, University of California.
- Shinneman, D., Means, R., Potter, K. y V. Hipkins. 2016. Exploring climate niches of Ponderosa Pine (*Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson) haplotypes in the western United States: Implications for evolutionary history and conservation. *PLoS ONE* 11(3):1-24.

- Siqueiros, M., Rodríguez, J., Martínez, J., Sierra, J. y G. García. 2017. Vegetación del estado de Aguascalientes. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes.
- Soberón, J. y A. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.
- Spaulding, W. 1990. Vegetation and climatic development of the Mojave Desert: The Last Glacial Maximum to the Present. In Betancourt, J., Van Devender, T. y P. Martin (edit.), *Packrat middens: The last 40,000 years of biotic change*. United States, The University of Arizona Press.
- Spond, M., Van de Gevel, S. y H. Grissino-Mayer. 2014. Climate-growth relationships for Rocky Mountain juniper (*Juniperus scopulorum* Sarg.) on the volcanic badlands of western New Mexico, USA. *Dendrochronologia*, 32:137-143.
- Thesing, B., Noyes, R., Starkey., D. y D. Shepard. 2016. Pleistocene climatic fluctuations explain the disjunct distribution and complex phylogeographic structure of the Southern Red-backed Salamander, *Plethodon serratus*. *Evolutionary Ecology* 30:89-104.
- Thompson, R. 1990. Late Quaternary vegetation and climatic in the Great Basin. In Betancourt, J., Van Devender, T. y P. Martin (edit.), *Packrat middens: The*

*last 40,000 years of biotic change*. United States, The University of Arizona Press.

- Tinoco, B., Astudillo, P., Latta, S. y C. Graham. 2009. Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird: The Violet-throated Metaltail (*Metallura baroni*). *Bird Conservation International* 19:63-76.
- Van Devender, T. 1990a. Late Quaternary vegetation and climate of the Chihuahuan Desert, United States and Mexico. In Betancourt, J., Van Devender, T. y P. Martin (edit.), *Packrat middens: The last 40,000 years of biotic change*. United States, The University of Arizona Press.
- Van Devender, T. 1990b. Late Quaternary vegetation and climate of the Sonoran Desert, United States and Mexico. In Betancourt, J., Van Devender, T. y P. Martin (edit.), *Packrat middens: The last 40,000 years of biotic change*. United States, The University of Arizona Press.
- Villaseñor, J. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3):559-902.
- Wehenkel, C., Brazão-Protázio, J., Carrillo-Parra, A., Martínez-Guerrero, H. y F. Crecente-Campo. 2015. Spatial distribution patterns in the very rare and species-rich *Picea chihuahuana* tree community (Mexico). *PLoS ONE* 10(10): e0140442.
- Zandoni, T. y R. Adams. 1975. The genus *Juniperus* (Cupressaceae) in Mexico and Guatemala: numerical and morphological analysis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* (35):69-92.

- Zanoni, T. 1978. Los *Juniperus* de Jalisco. *Boletín, IBUG* 4:11-17.
- Zunino, M. y A. Zullini. 2003. Biogeografía: La dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica. México.

## FUENTES ELECTRÓNICAS

- Canada.ca (14 December 2018) Natural Resources Canada  
<https://www.nrcan.gc.ca/>
- CONABIO. 2019. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. [http://www.conabio.gob.mx/remib/cgi-bin/clave\\_remib.cgi?lengua=es-MX](http://www.conabio.gob.mx/remib/cgi-bin/clave_remib.cgi?lengua=es-MX)
- Data.gov (5 December 2018) U.S. Government's open data  
<https://catalog.data.gov/dataset>
- GBIF.org (02 March 2017) GBIF Occurrence Download  
<https://doi.org/10.15468/dl.osssyq>
- GBIF.org (02 March 2017) GBIF Occurrence Download  
<https://doi.org/10.15468/dl.rbhghn>
- GBIF.org (15 March 2017) GBIF Occurrence Download  
<https://doi.org/10.15468/dl.o3poaw>
- GBIF.org (15th March 2017) GBIF Occurrence Download  
<http://doi.org/10.15468/dl.mgkrro>

- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.x6qgea>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.o52frp>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.zz3jig>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.timjvg>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.92nkjb>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.wa8tqz>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.jwyfvx>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.sn3nh1>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.ympmun>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.8dg4p0>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.dhmnwu>

- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.e3kas7) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.e3kas7>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.n9wvow) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.n9wvow>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.o73oof) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.o73oof>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.1v5qoe) (15th March 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.1v5qoe>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.nxgtrc) (22nd April 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.nxgtrc>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.tpvh7d) (22nd April 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.tpvh7d>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.whutnf) (22nd April 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.whutnf>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.cpb5ft) (22nd April 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.cpb5ft>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.waeve2) (22nd April 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.waeve2>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.v66fzp) (22nd April 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.v66fzp>
- [GBIF.org](http://doi.org/10.15468/dl.egqlgb) (27th July 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.egqlgb>

- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (27th July 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.6hiedw>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (27th July 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.art5en>
- [GBIF.org](http://www.gbif.org) (3rd August 2017) GBIF Occurrence  
Download <http://doi.org/10.15468/dl.vc0v0x>
- Ministerio de Ganaderia y Alimentacion de Guatemala (MAGA). 2005. Atlas temático de la República de Guatemala. Mapa: Fisiográfico - Geomorfológico  
<http://web.maga.gob.gt/>
- NeotomaDB.org (20 January 2020) Neotoma Paleoecology Database  
<https://www.neotomadb.org>
- Plant Resources Center (TEX-LL) (15 November 2017) College of Natural Sciences, University of Texas, Austin. <http://www.biosci.utexas.edu/prc/>
- Portal de Datos Abiertos UNAM Colecciones Universitarias (14 July 2017) Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), Herbario Nacional de México, Plantas Vasculares, Universidad Nacional Autónoma de México.  
<http://datosabiertos.unam.mx/>
- The Great Plains Regional Herbarium Network (3 August 2017) Great Plains Herbaria <http://www.ngpherbaria.org/portal/index.php>
- USGS/NOAA North American Packrat Midden Database (4 July 2019)  
<https://geochange.er.usgs.gov/midden/>

## ANEXOS

### ANEXO I. Resultados del análisis de componentes principales (PCA) por género.

Género *Picea*

Importancia de los componentes:	PC1	PC2
Desviación Estándar	3.7081	2.2912
Proporción de varianza	0.7237	0.2763
Proporción acumulada	0.7237	1

Variable	PC1	PC2
bio_1	0.471837	-0.881686
bio_2	-0.988231	-0.152967
bio_3	0.970801	-0.239887
bio_4	-0.998914	0.046602
bio_5	-0.667983	-0.744177
bio_6	0.899371	-0.437185
bio_7	-0.999942	-0.010750
bio_8	-0.511736	-0.859143
bio_9	-0.265686	-0.964060
bio_10	-0.395420	-0.918501
bio_11	0.777413	-0.628991
bio_12	-0.998337	0.057648
bio_13	-0.973285	-0.229599
bio_14	0.968323	0.249701
bio_15	-0.971990	-0.235024
bio_16	-0.974405	0.224801
bio_17	0.982671	0.185359
bio_18	-0.966770	0.255647
bio_19	-0.765804	0.643074

Género *Juniperus*

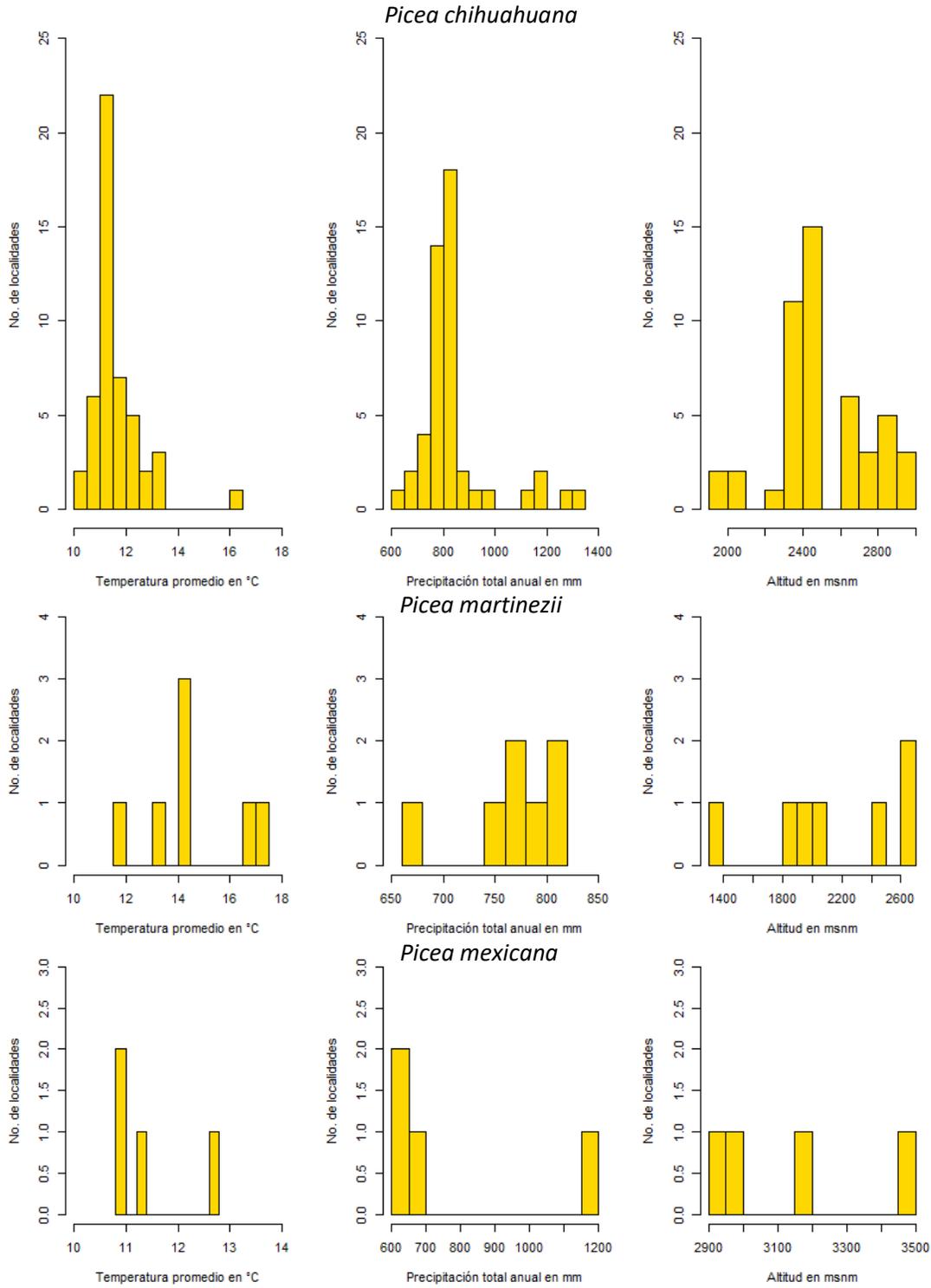
Importancia de los componentes:	PC1	PC2	PC3	PC4
Desviación Estándar	2.9646	2.1291	1.6136	1.2555
Proporción de varianza	0.4626	0.2386	0.137	0.083
Proporción acumulada	0.4626	0.7011	0.8382	0.9211

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
bio_1	-0.087074	0.867754	0.479752	-0.002061
bio_2	0.633463	0.469216	-0.444947	0.318343
bio_3	-0.922712	0.097806	-0.080680	0.273427
bio_4	0.944786	-0.087897	0.025762	-0.211274
bio_5	0.727840	0.608628	0.210603	-0.162247
bio_6	-0.686392	0.614325	0.310926	0.003038
bio_7	0.957673	-0.017095	-0.073586	-0.110280
bio_8	0.280711	0.600374	0.499508	0.328937
bio_9	-0.273790	0.828972	-0.100205	-0.352732
bio_10	0.642571	0.619586	0.373296	-0.183733
bio_11	-0.650268	0.673014	0.289218	0.100358
bio_12	-0.895388	-0.223954	0.180567	-0.197949
bio_13	-0.922705	-0.051606	0.018559	-0.179314
bio_14	0.067443	-0.570865	0.800258	0.034058
bio_15	-0.697063	0.446564	-0.443627	-0.023881
bio_16	-0.919860	-0.043462	-0.022663	-0.182167
bio_17	0.000212	-0.560747	0.810112	-0.057850
bio_18	-0.847404	-0.119980	0.066893	-0.092967
bio_19	0.143394	0.032979	-0.088854	-0.960378

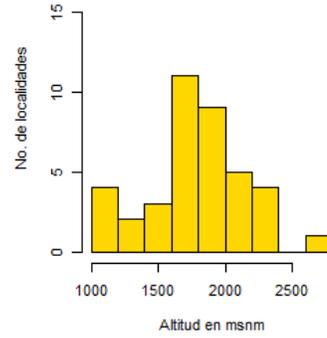
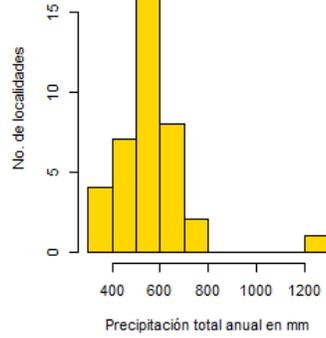
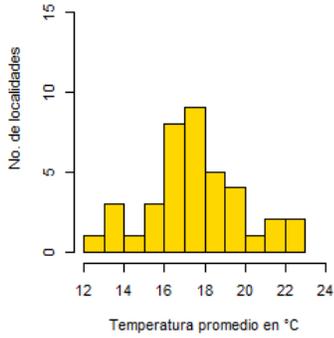
**Anexo II.** Datos promedio por especie para siete variables ambientales de temperatura y precipitación.

Especie	Temperatura promedio anual (°C)	Temperatura max (°C)	Temperatura min (°C)	Intervalo de temperatura (°C)	Precipitación total anual (mm)	Precipitación max (mm)	Precipitación min (mm)
<i>P. chihuahuana</i>	11.62	26.05	-3.36	29.41	836.10	207.60	13.48
<i>P. martinezii</i>	14.57	25.24	3.00	22.24	766.57	161.00	18.14
<i>P. mexicana</i>	11.50	22.38	0.20	22.18	771.25	146.50	19.75
<i>J. angosturana</i>	17.47	28.91	5.05	23.86	563.33	102.92	13.00
<i>J. arizonica</i>	15.86	34.50	-0.98	35.48	442.24	82.79	6.55
<i>J. ashei</i>	18.75	34.66	1.33	33.33	733.28	105.07	33.57
<i>J. blancoi</i>	14.14	26.46	1.14	25.32	881.86	205.50	9.00
<i>J. californica</i>	14.76	32.99	0.76	32.23	426.65	78.41	1.74
<i>J. coahuilensis</i>	17.33	32.45	1.43	31.02	486.21	113.71	6.57
<i>J. comitana</i>	18.20	27.05	9.17	17.88	1379.87	261.90	17.71
<i>J. deppeana</i>	14.47	28.24	0.53	27.71	687.79	150.13	9.05
<i>J. durangensis</i>	14.18	26.98	0.88	26.10	855.83	211.06	7.75
<i>J. flaccida</i>	17.99	29.79	5.47	24.32	768.95	169.09	8.79
<i>J. jaliscana</i>	16.99	27.03	5.97	21.07	1332.78	309.00	6.00
<i>J. martinezii</i>	15.55	27.24	3.28	23.96	578.68	116.05	9.64
<i>J. monosperma</i>	10.88	31.12	-8.21	39.34	381.83	66.01	11.10
<i>J. monticola</i>	11.06	20.92	0.83	20.09	1102.73	220.40	12.12
<i>J. pinchotii</i>	16.48	33.05	-1.34	34.39	522.56	84.75	16.25
<i>J. poblana</i>	17.84	28.96	6.37	22.59	934.78	205.78	6.78
<i>J. saltillensis</i>	17.20	30.08	3.42	26.65	417.06	70.24	10.82
<i>J. scopulorum</i>	6.67	27.79	-11.81	39.59	440.05	66.45	17.15
<i>J. standleyi</i>	9.28	16.64	0.93	15.71	1631.09	293.27	19.36
<i>J. zanonii</i>	11.13	21.63	0.50	21.13	663.83	111.67	20.33

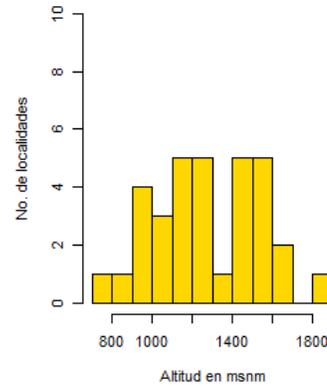
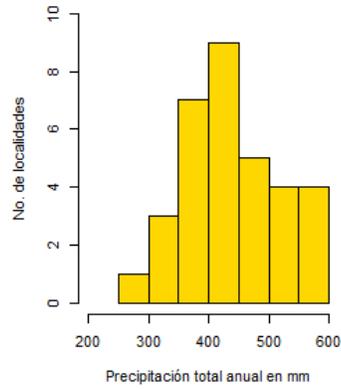
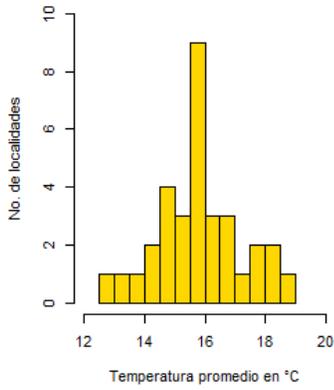
**Anexo III. Histogramas por especie de las variables Bio 1, Bio 12 y elevación.**



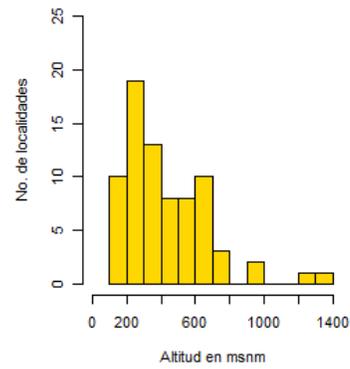
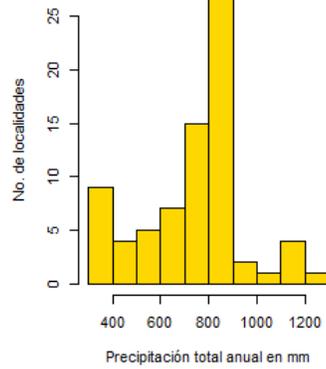
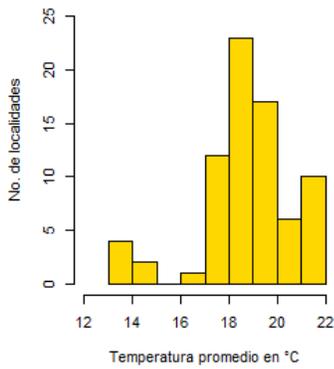
*Juniperus angosturana*



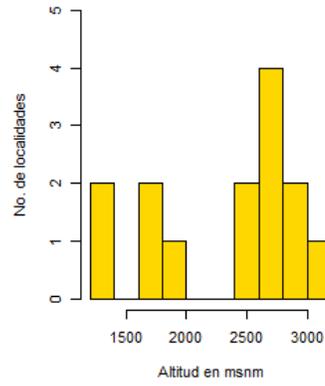
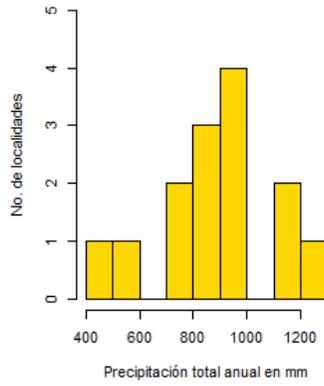
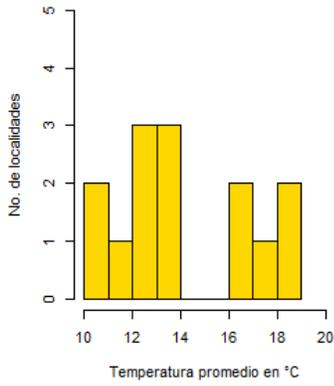
*Juniperus arizonica*



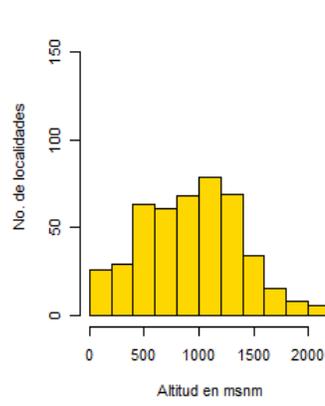
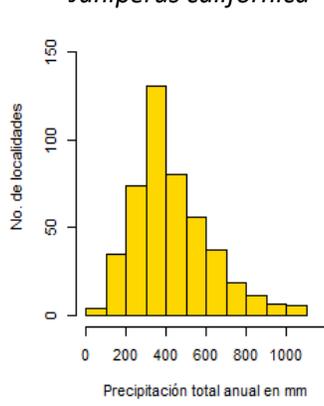
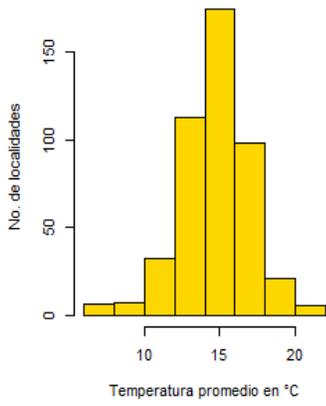
*Juniperus ashei*



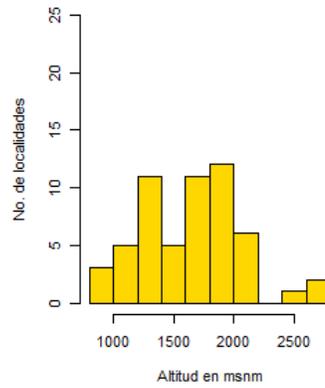
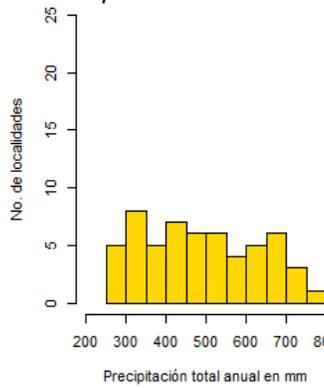
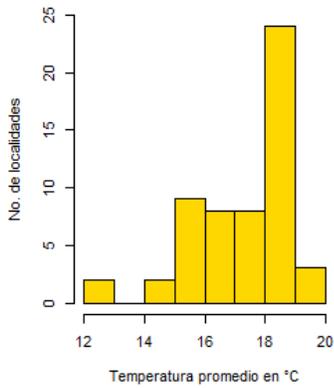
*Juniperus blancoi*

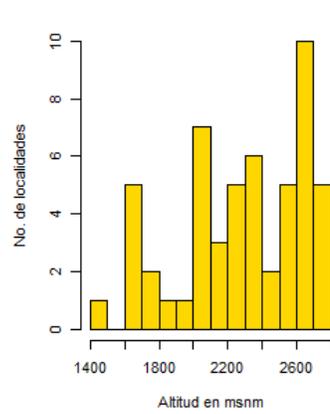
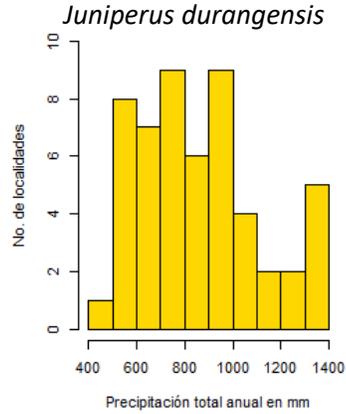
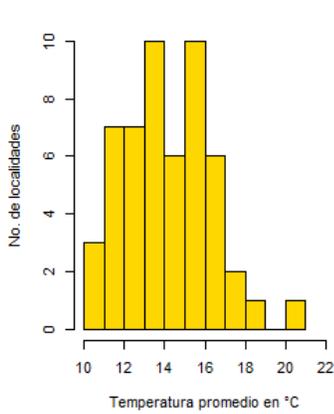
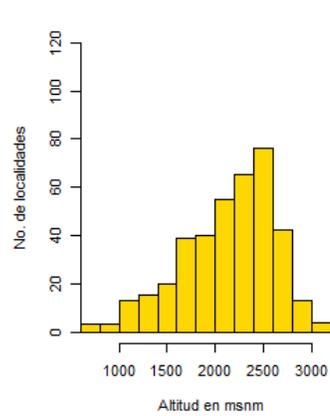
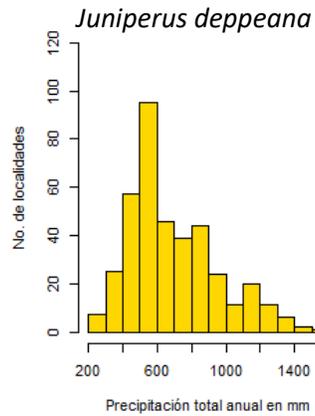
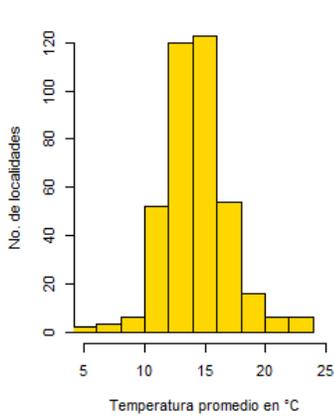
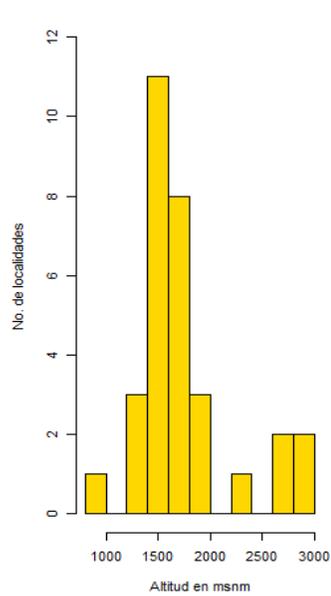
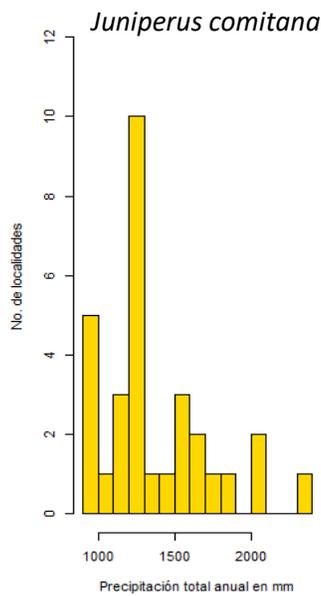
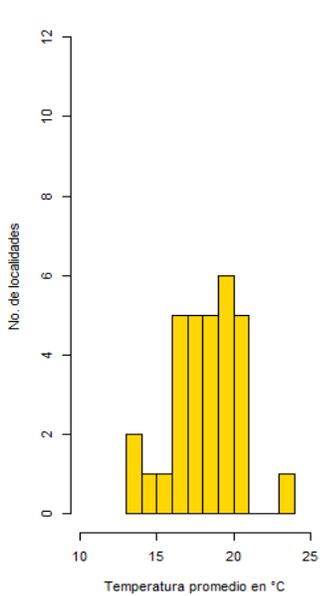


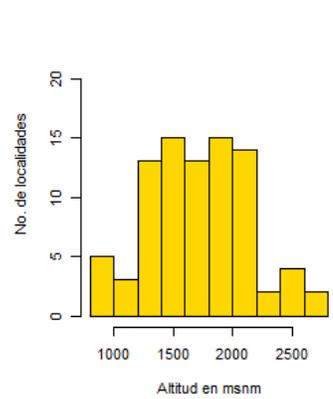
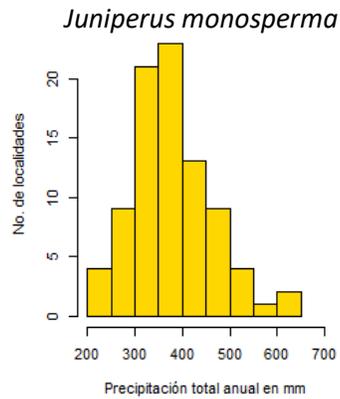
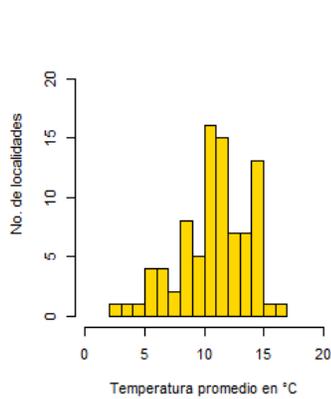
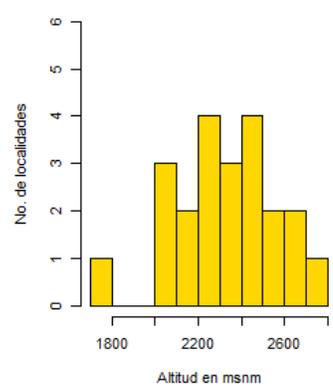
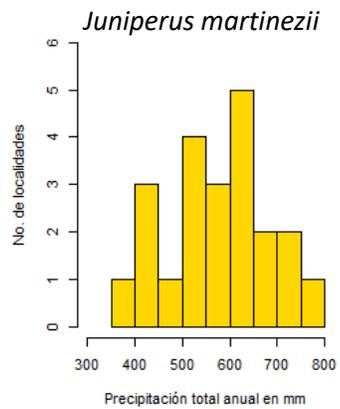
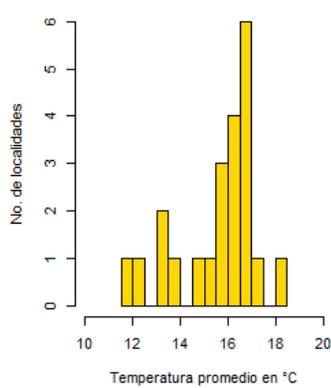
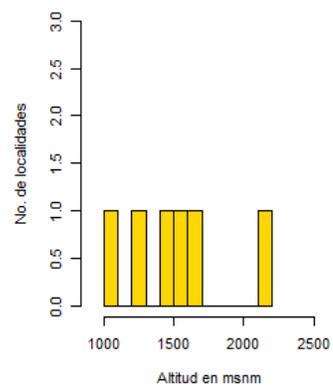
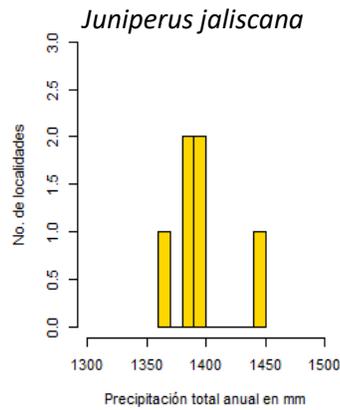
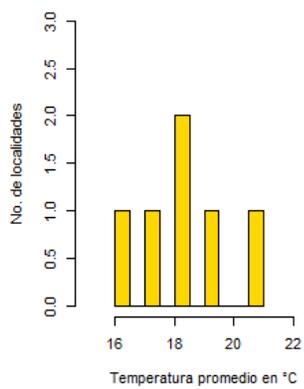
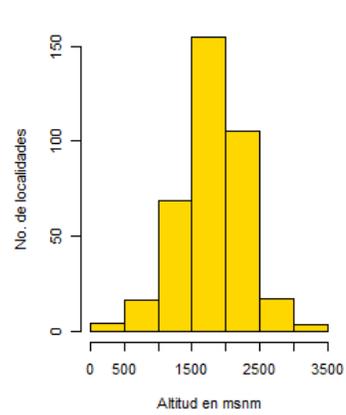
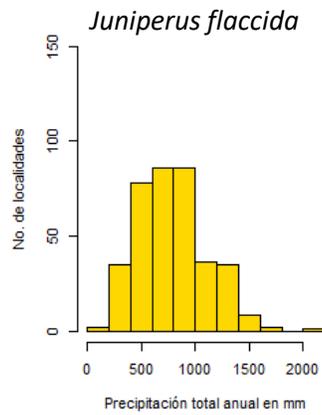
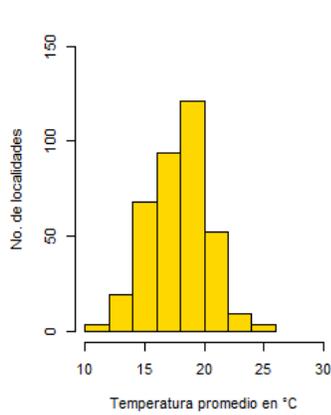
*Juniperus californica*

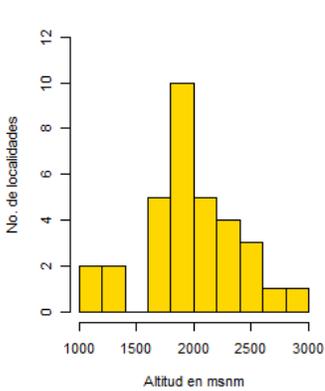
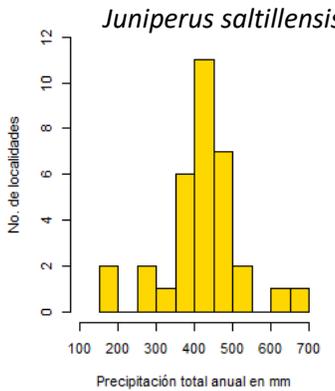
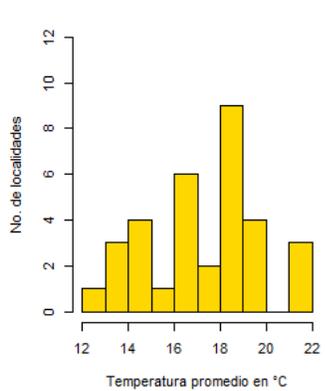
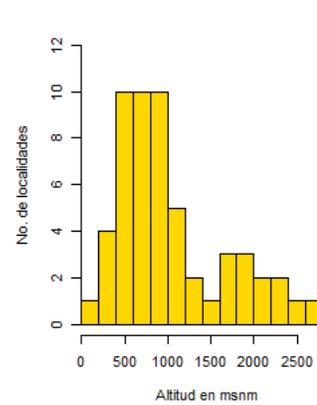
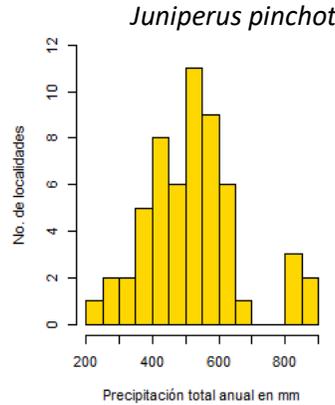
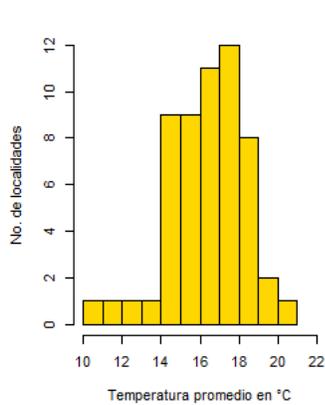
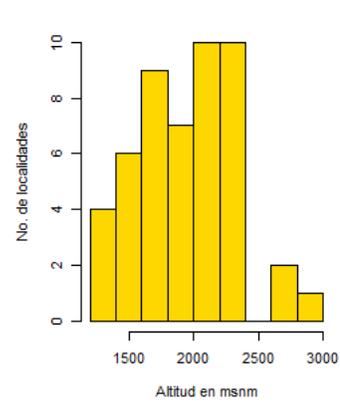
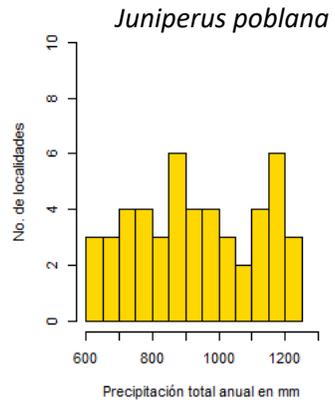
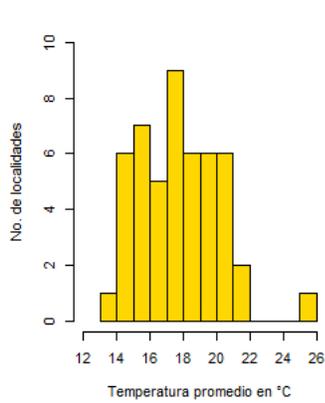
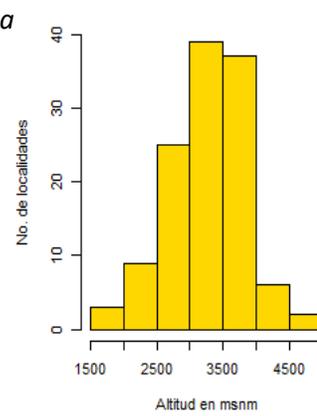
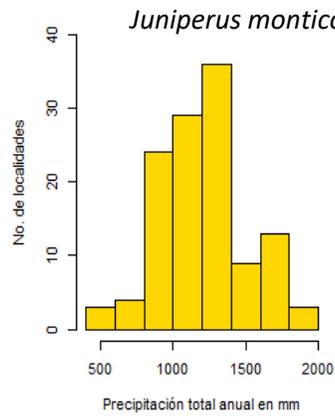
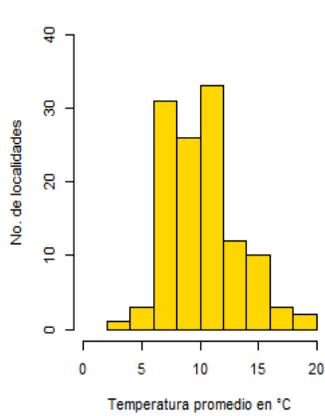


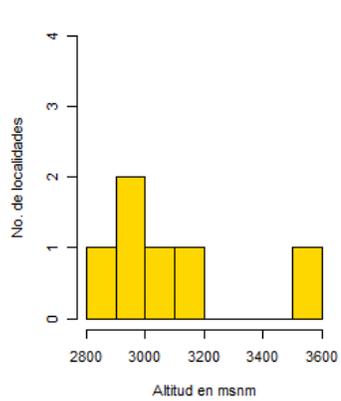
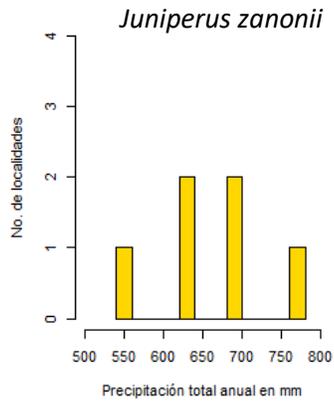
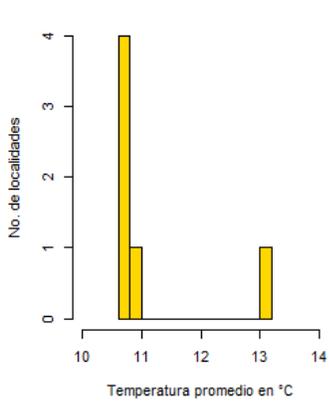
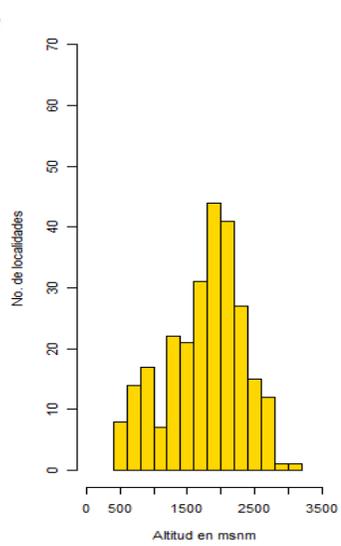
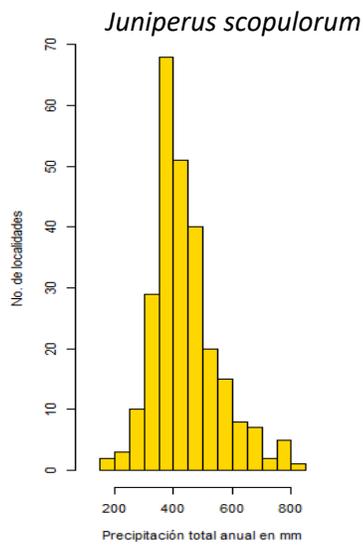
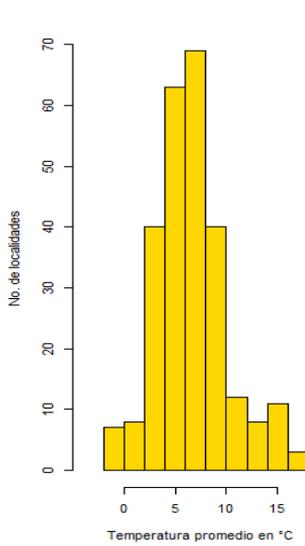
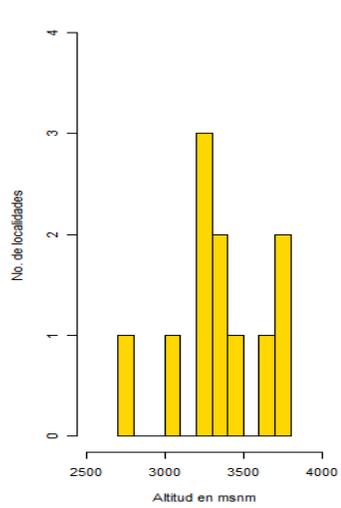
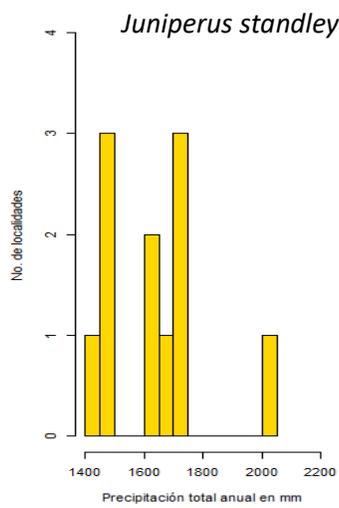
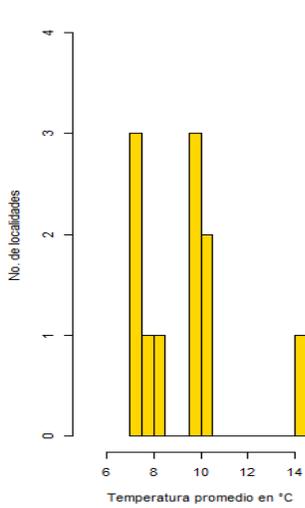
*Juniperus coahuilensis*



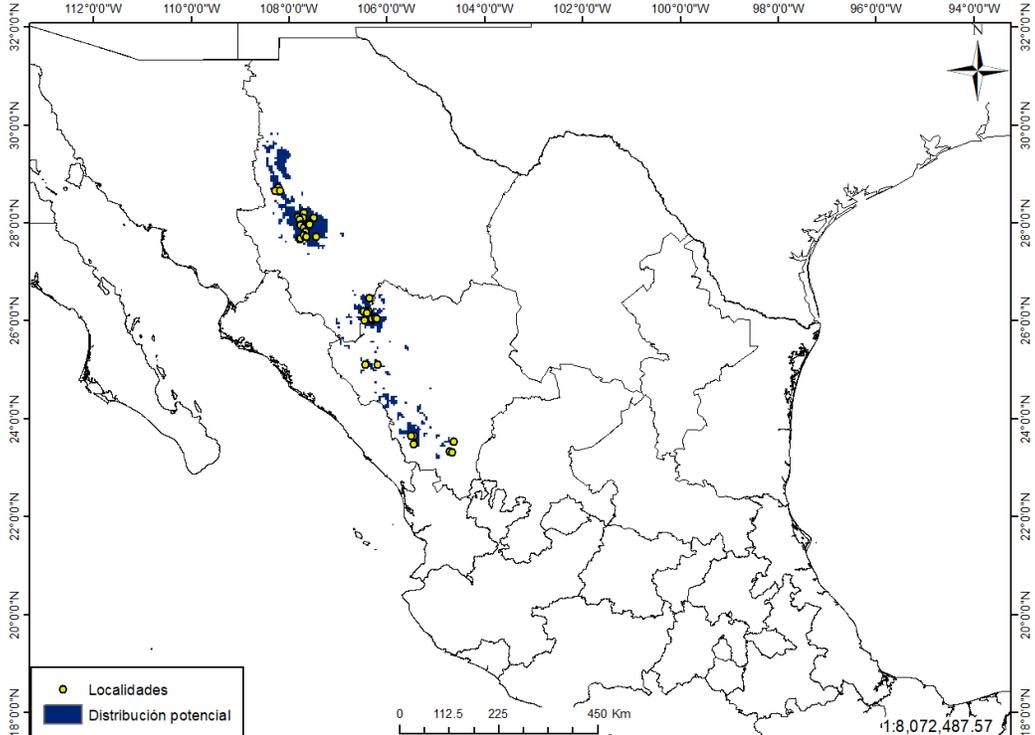




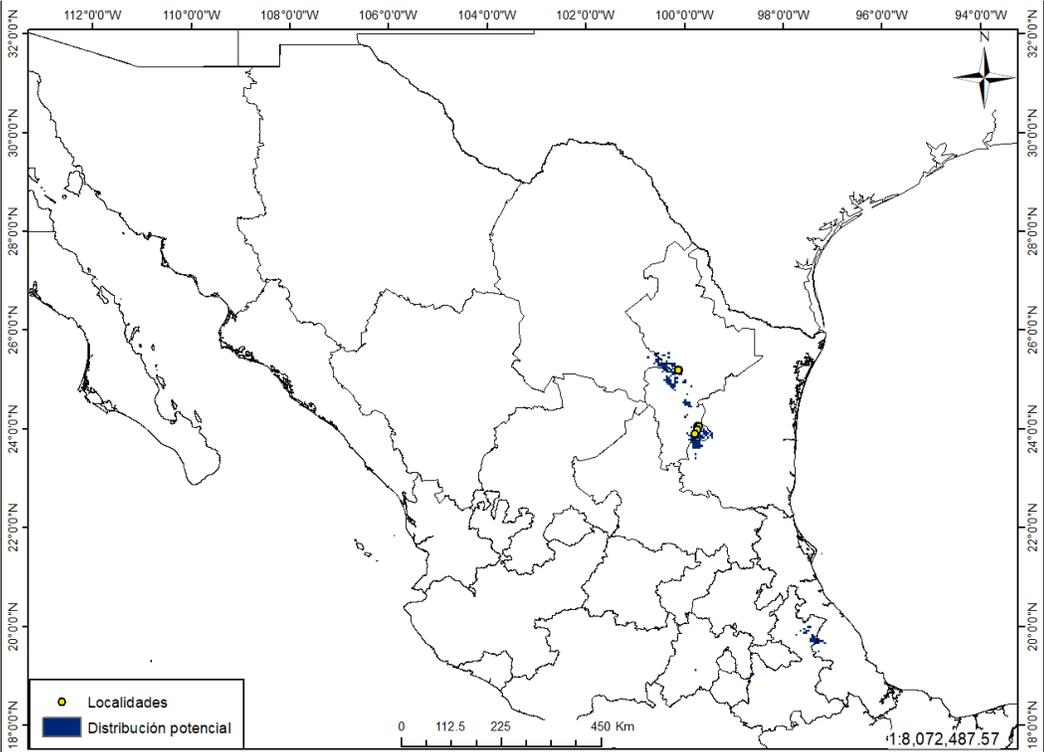




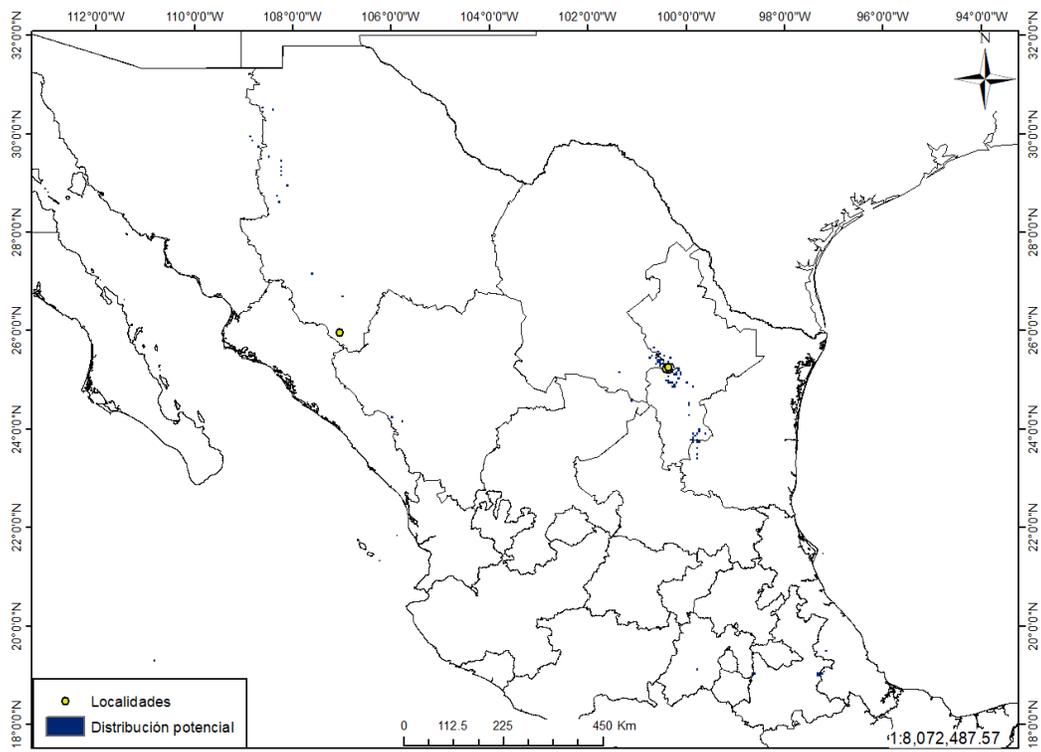
Anexo IV. Mapas de distribución potencial presente.



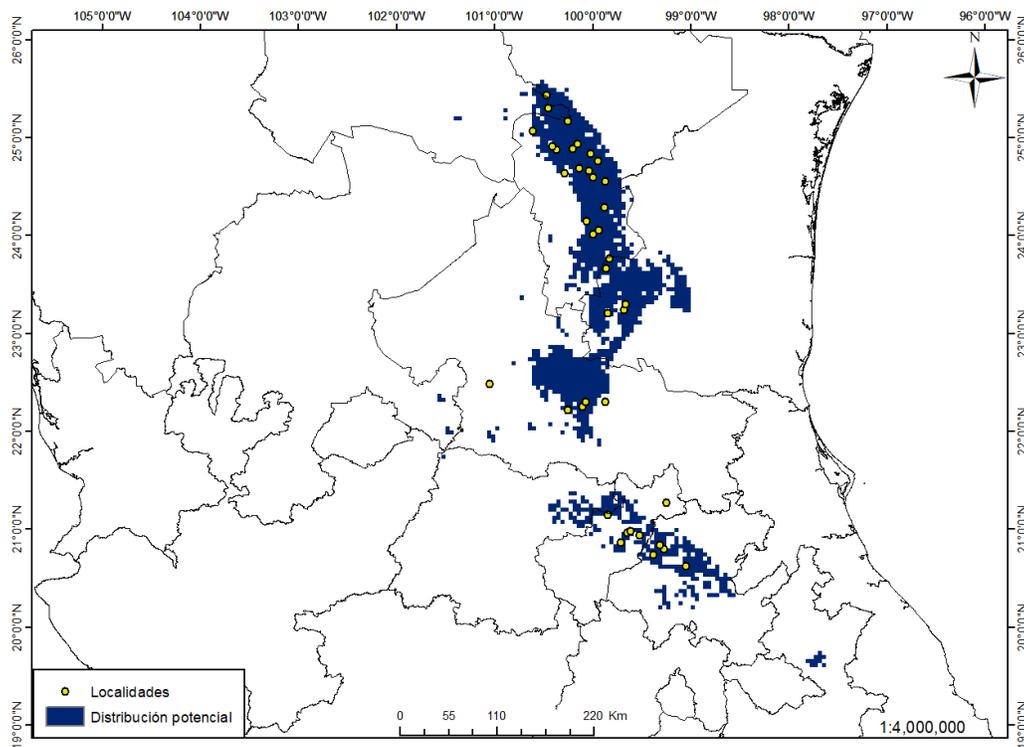
Distribución potencial actual y localidades de *P. chihuahuana*.



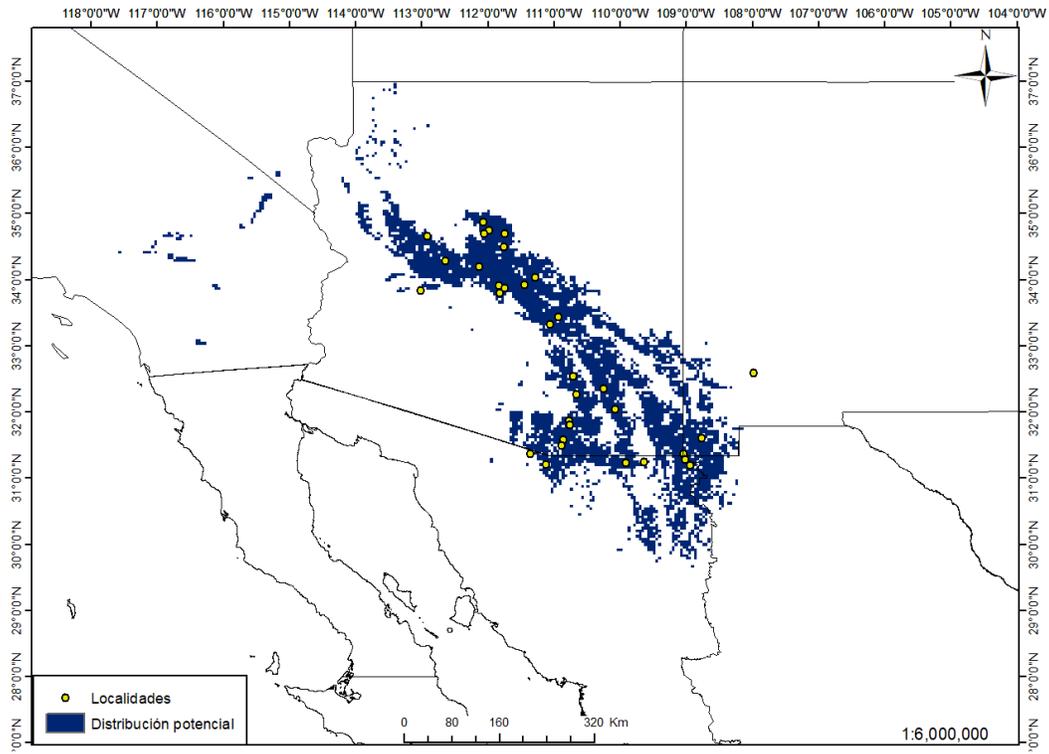
Distribución potencial actual y localidades de *P. martinezii*.



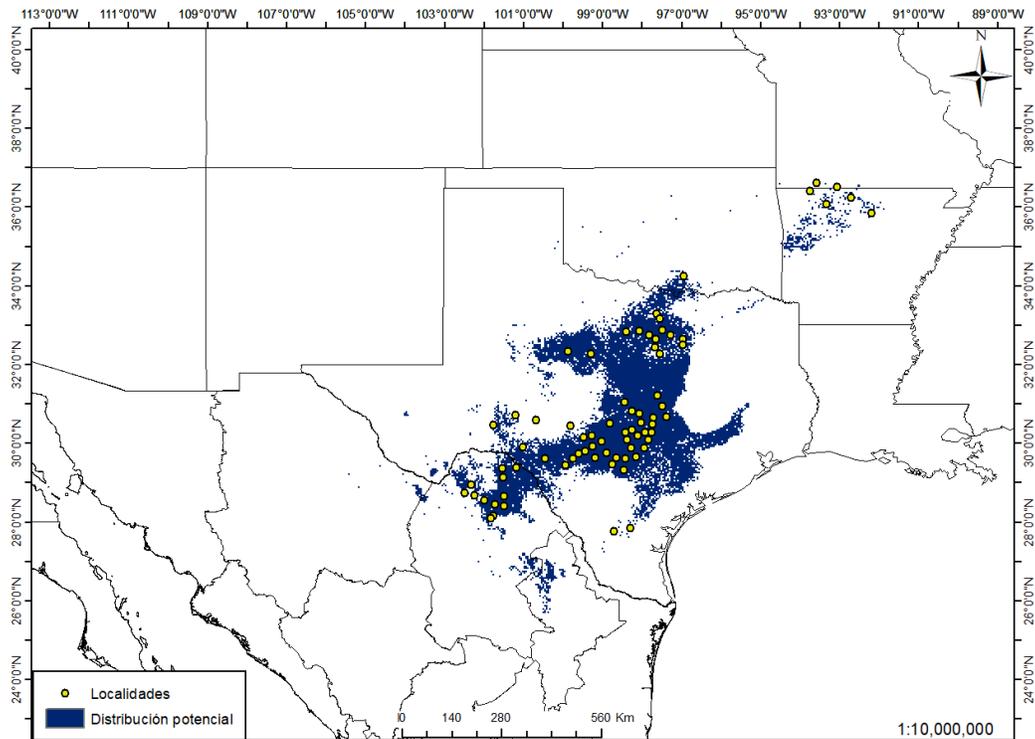
Distribución potencial actual y localidades de *P. mexicana*.



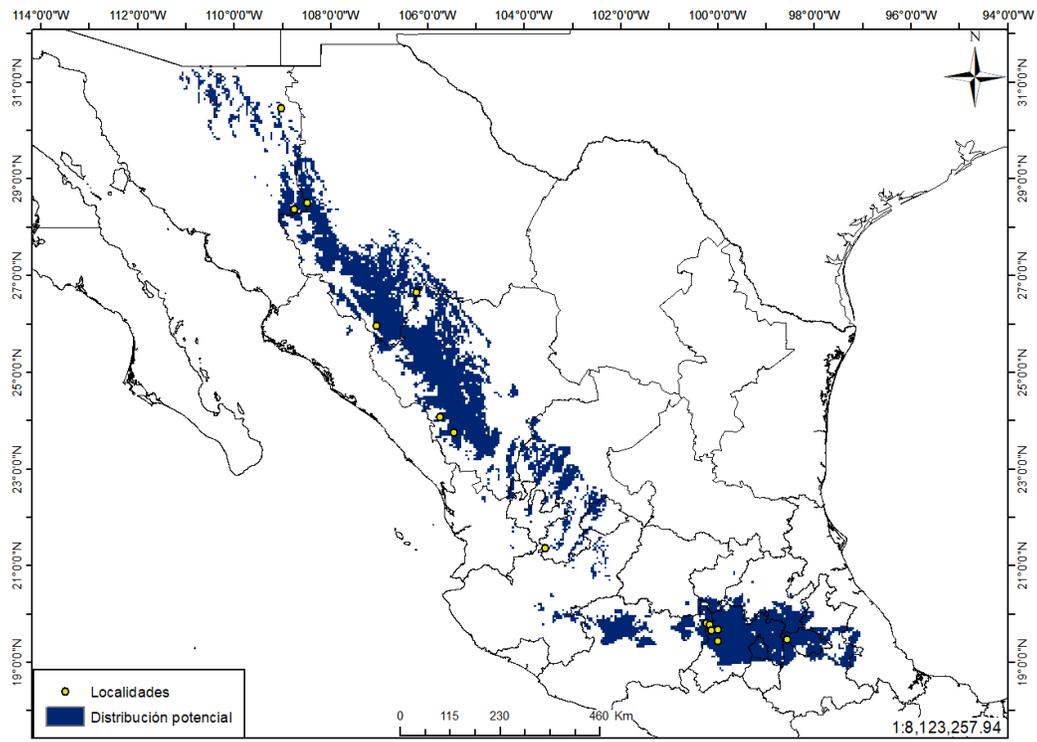
Distribución potencial actual y localidades de *J. angosturana*.



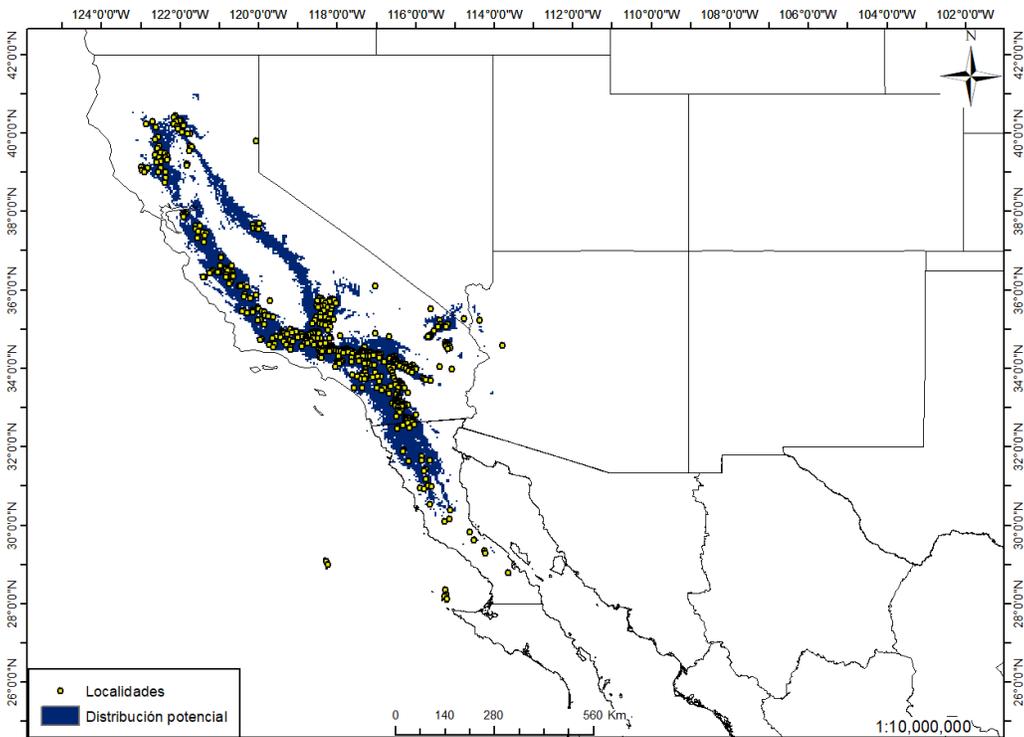
Distribución potencial actual y localidades de *J. arizonica*.



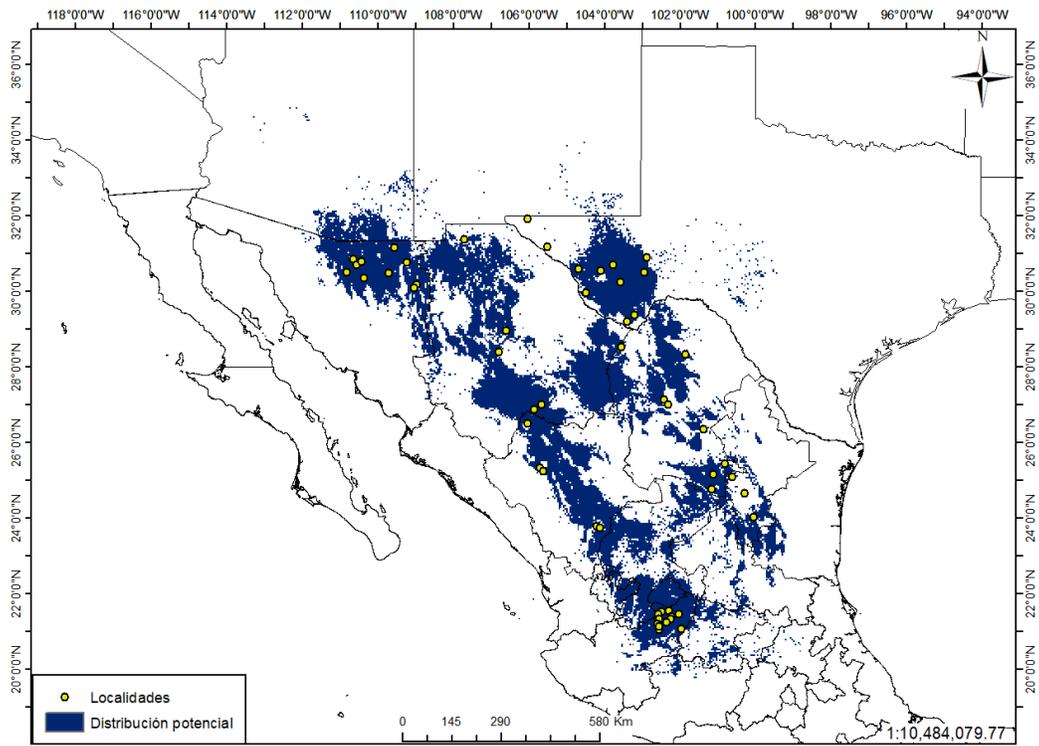
Distribución potencial actual y localidades de *J. ashei*.



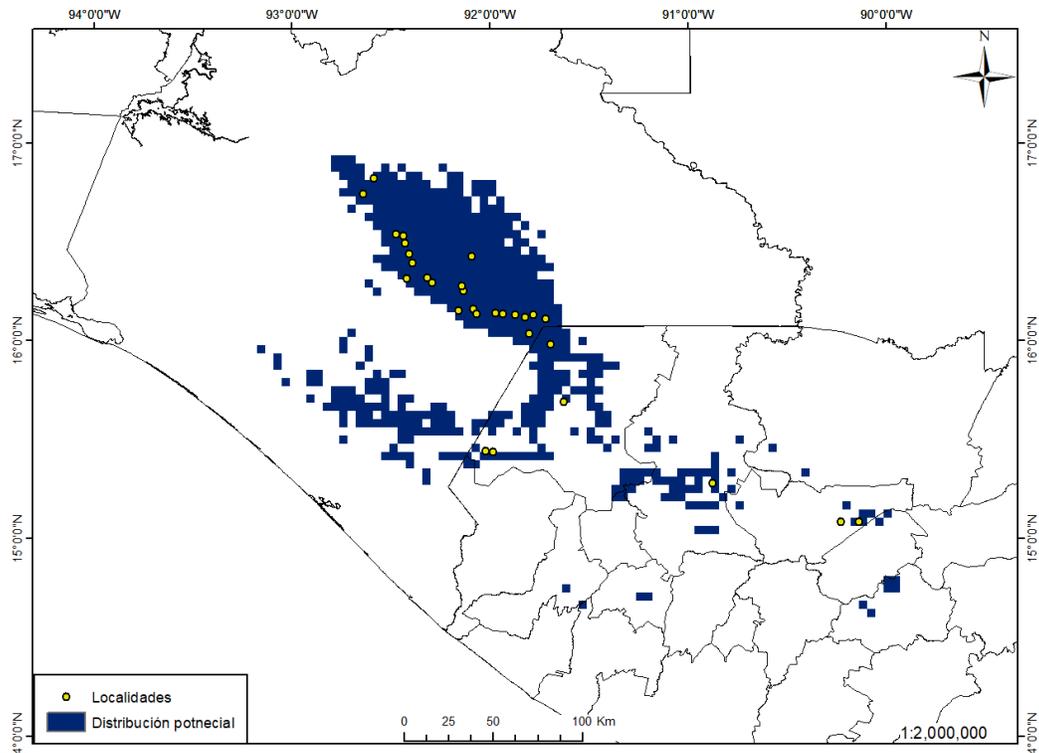
Distribución potencial actual y localidades de *J. blancoi*.



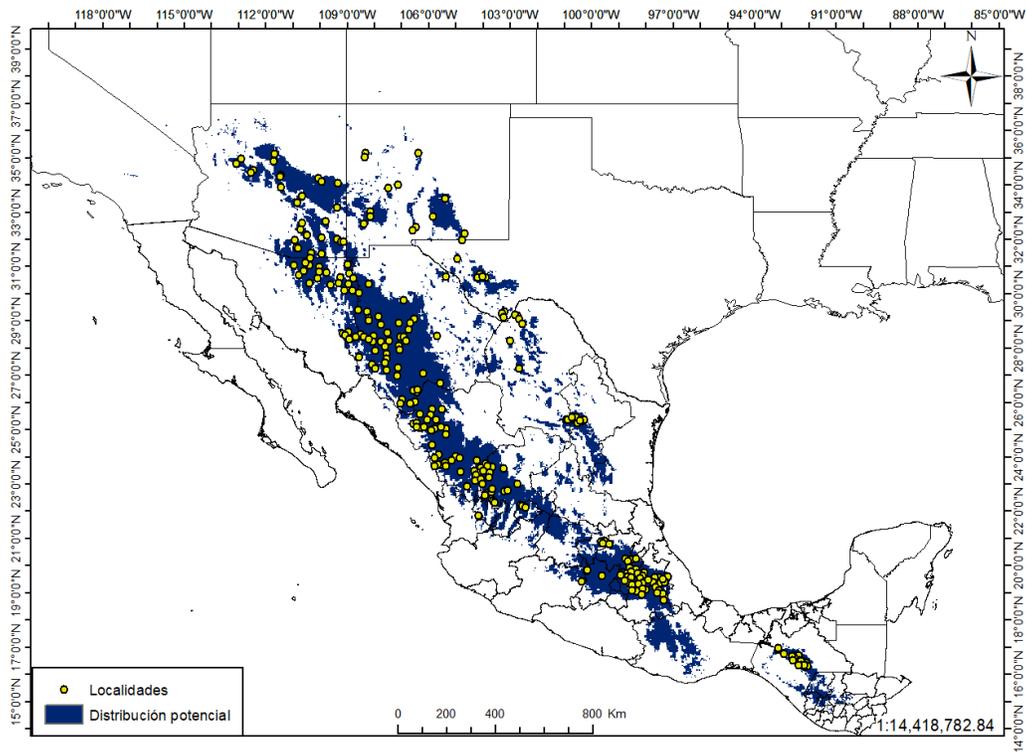
Distribución potencial actual y localidades de *J. californica*.



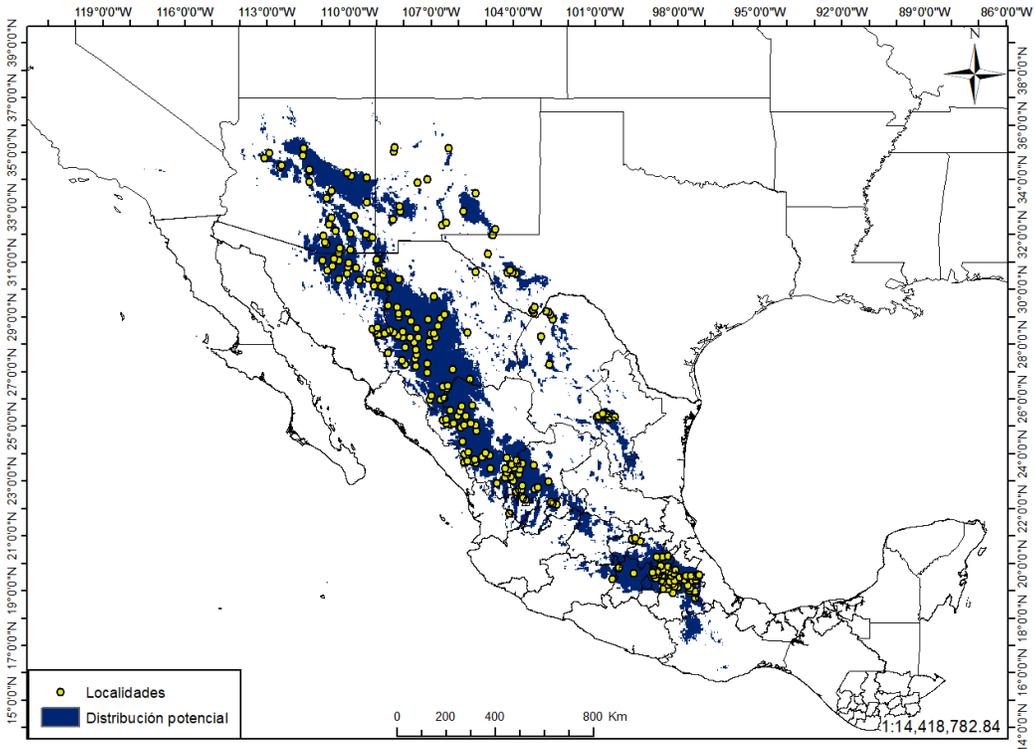
Distribución potencial actual y localidades de *J. coahuilensis*.



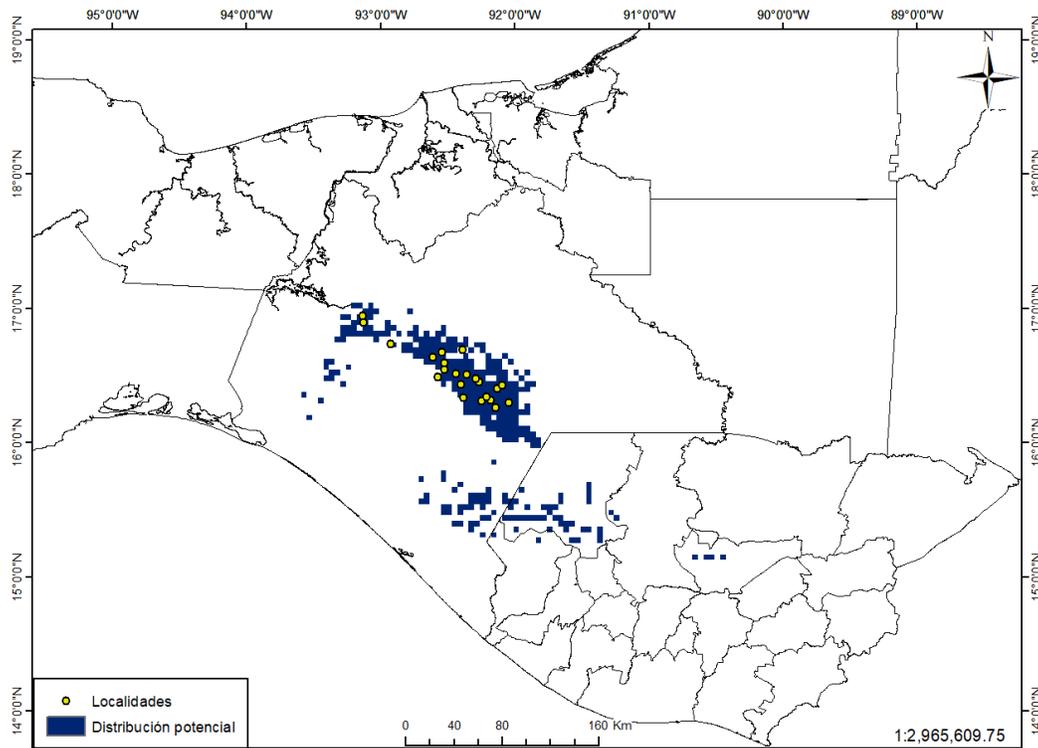
Distribución potencial actual y localidades de *J. comitana*.



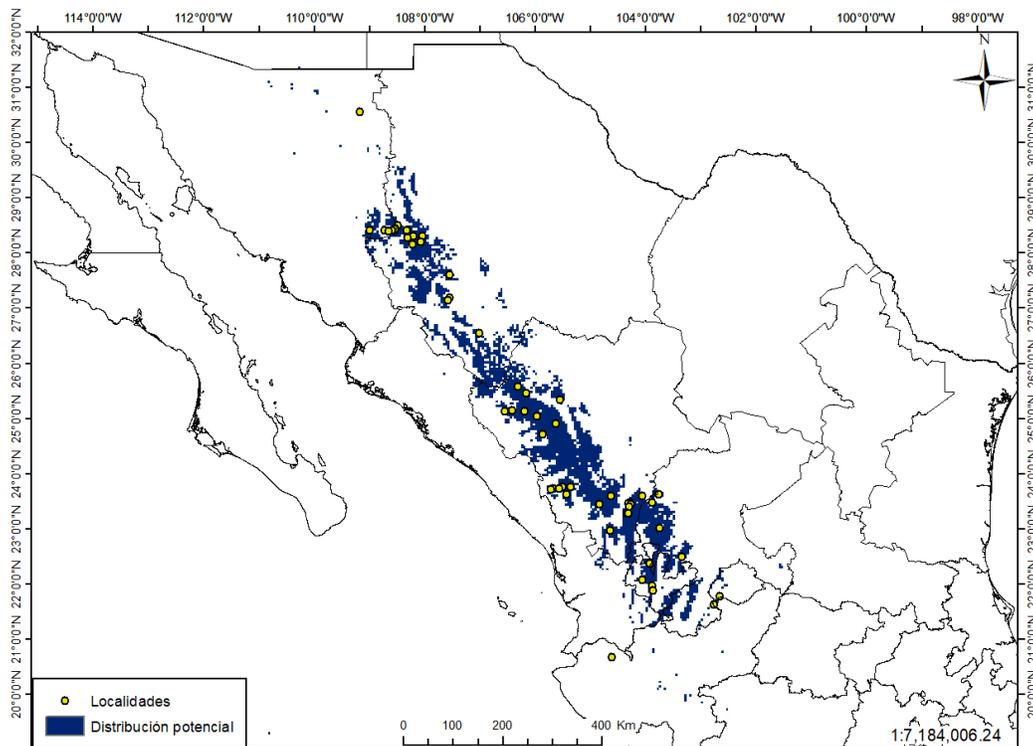
Distribución potencial actual y localidades de *J. deppeana*.



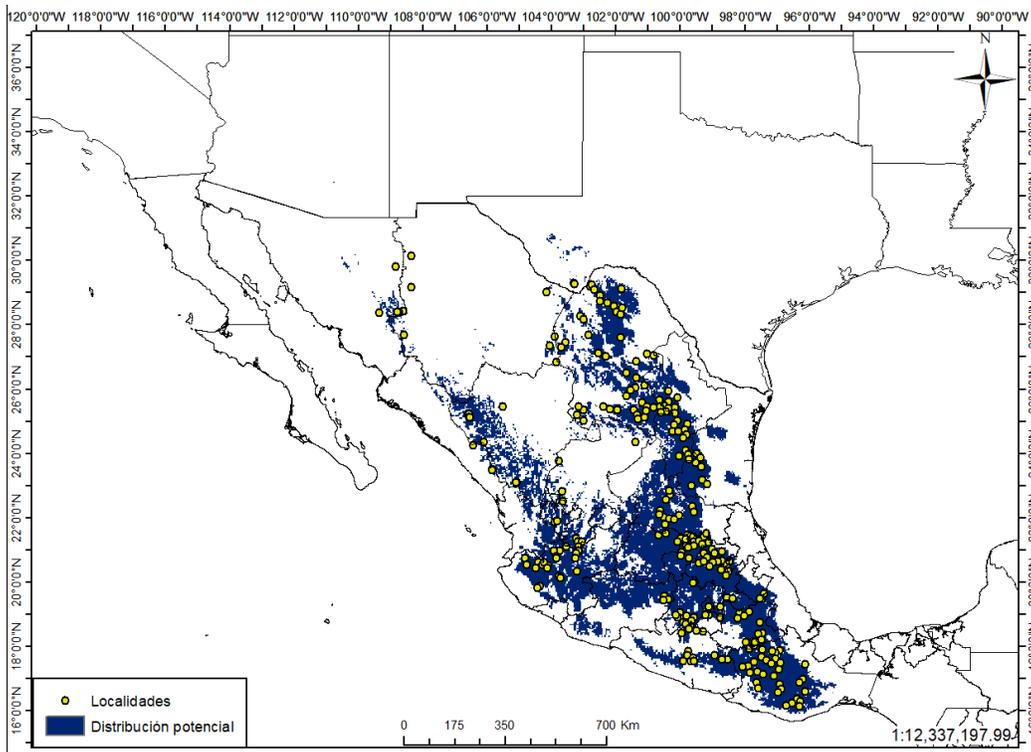
Distribución potencial actual y localidades de *J. deppeana*, considerando a Gernandt y Pérez de la Rosa (2014).



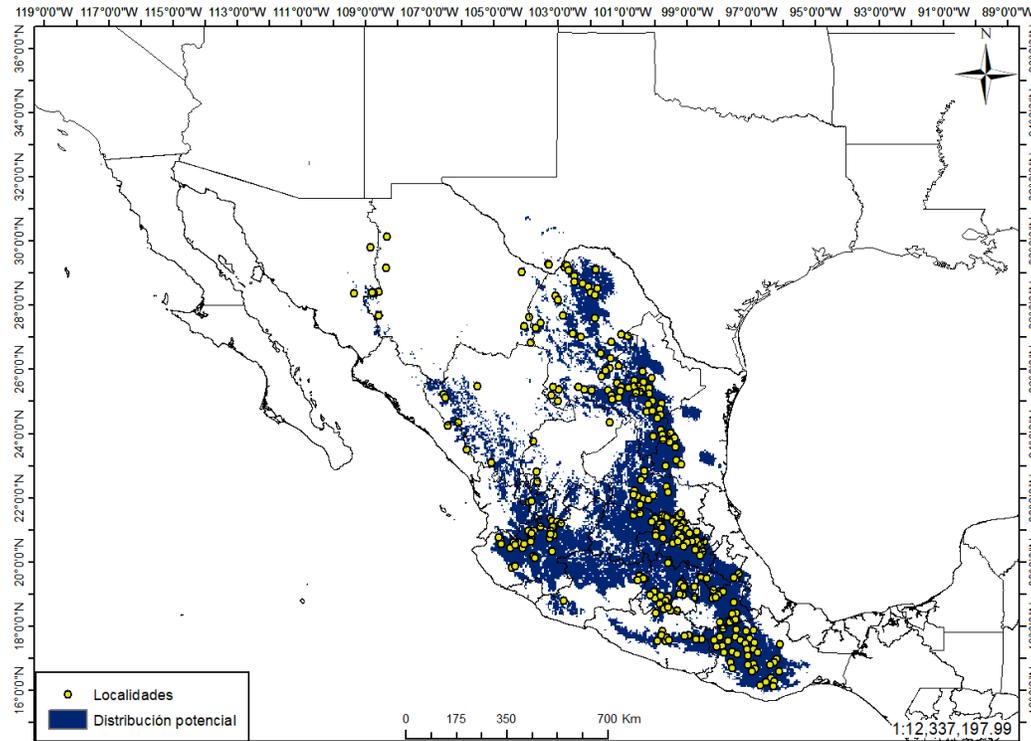
Distribución potencial actual y localidades de *J. gamboana*, considerando a Gernandt y Pérez de la Rosa (2014).



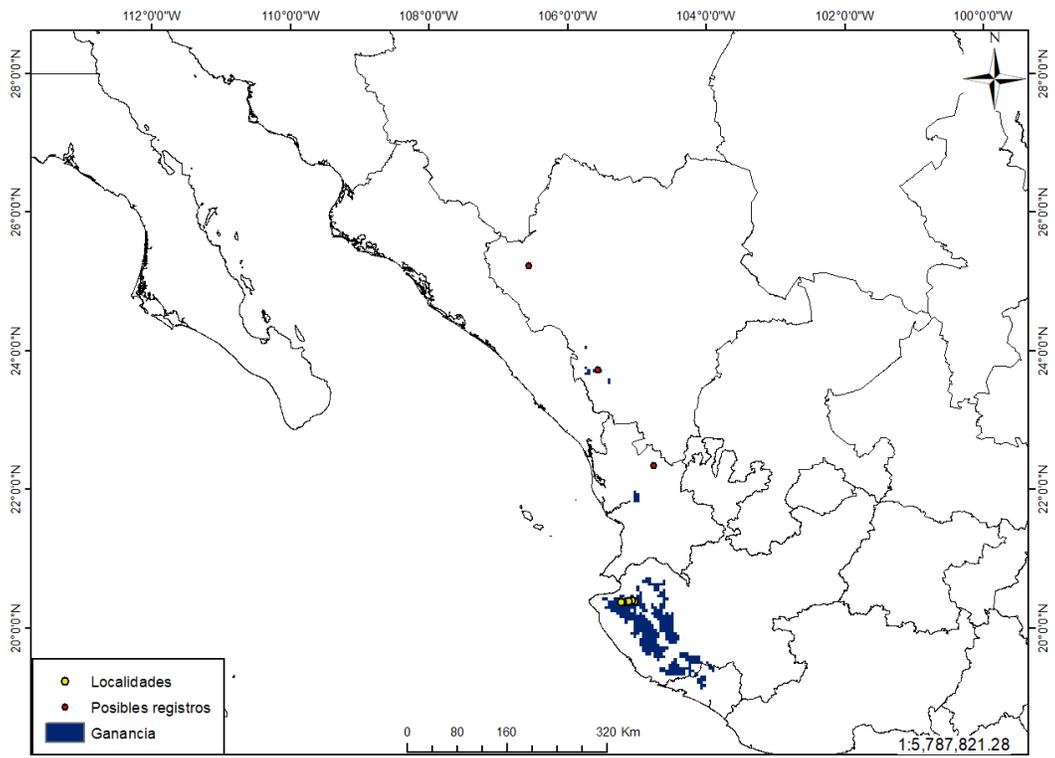
Distribución potencial actual y localidades de *J. durangensis*.



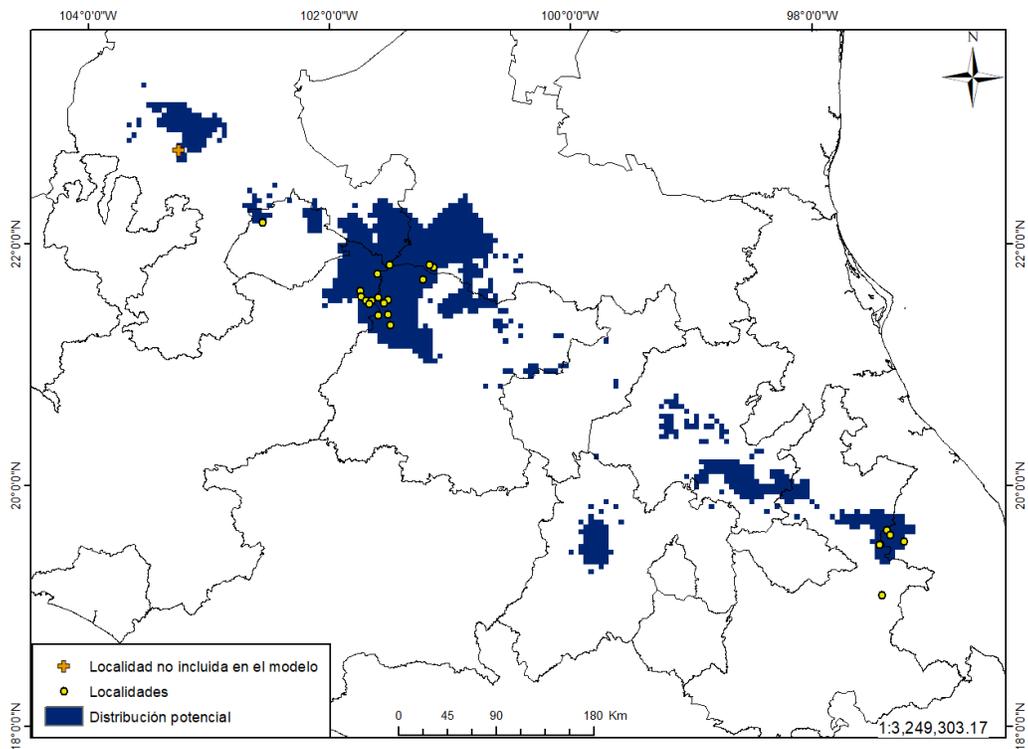
Distribución potencial actual y localidades de *J. flaccida*.



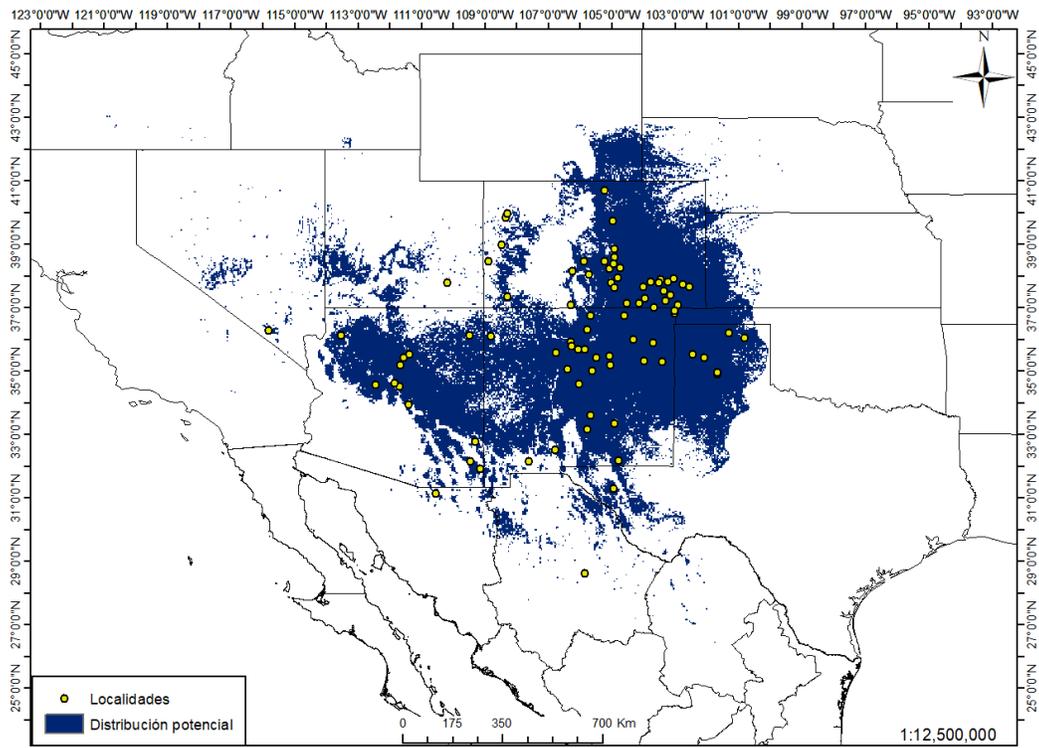
Distribución potencial actual y localidades de *J. flaccida*, considerando a Gernandt y Pérez de la Rosa (2014).



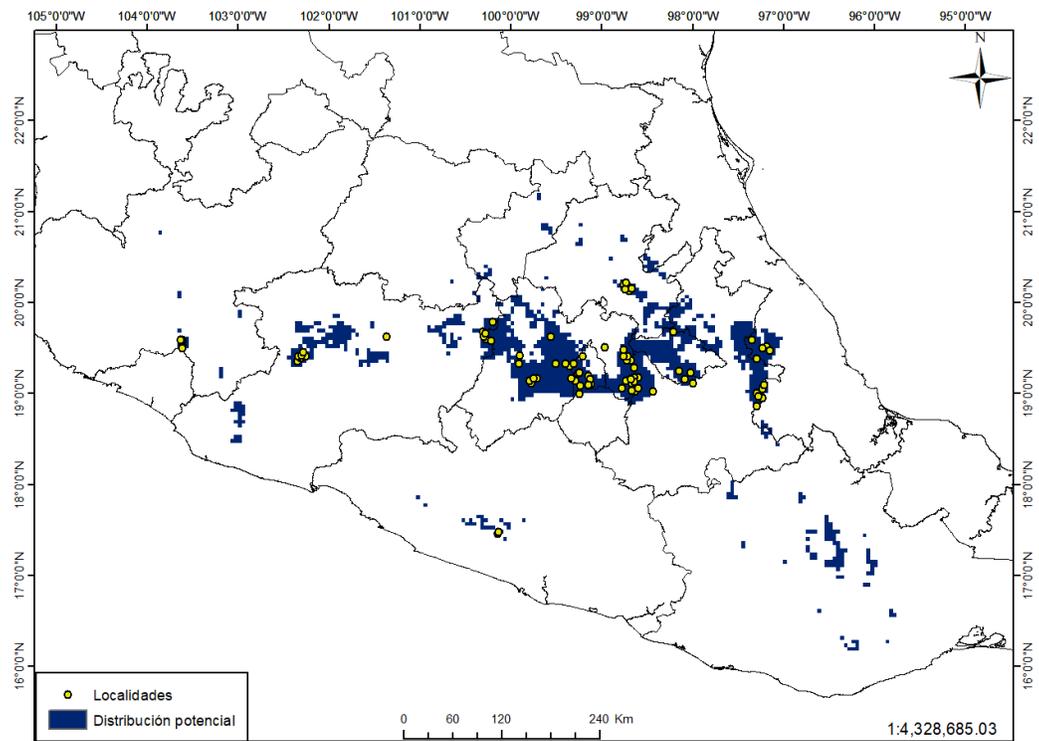
Distribución potencial actual y localidades de *J. jaliscana*.



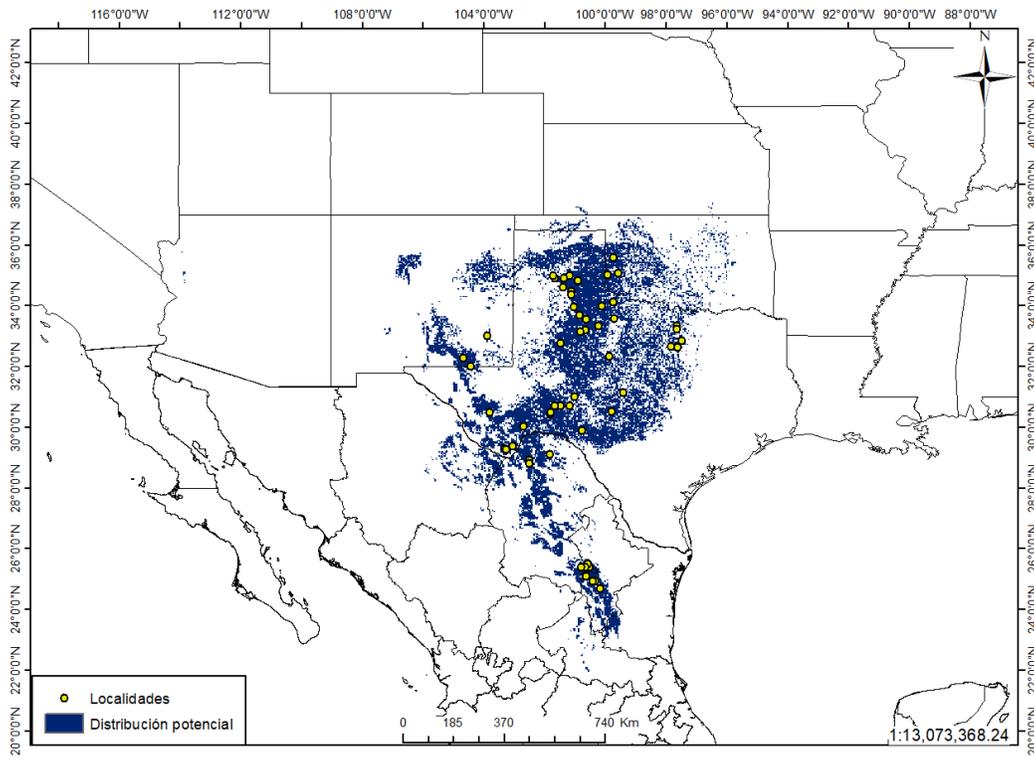
Distribución potencial actual y localidades de *J. martinezii*.



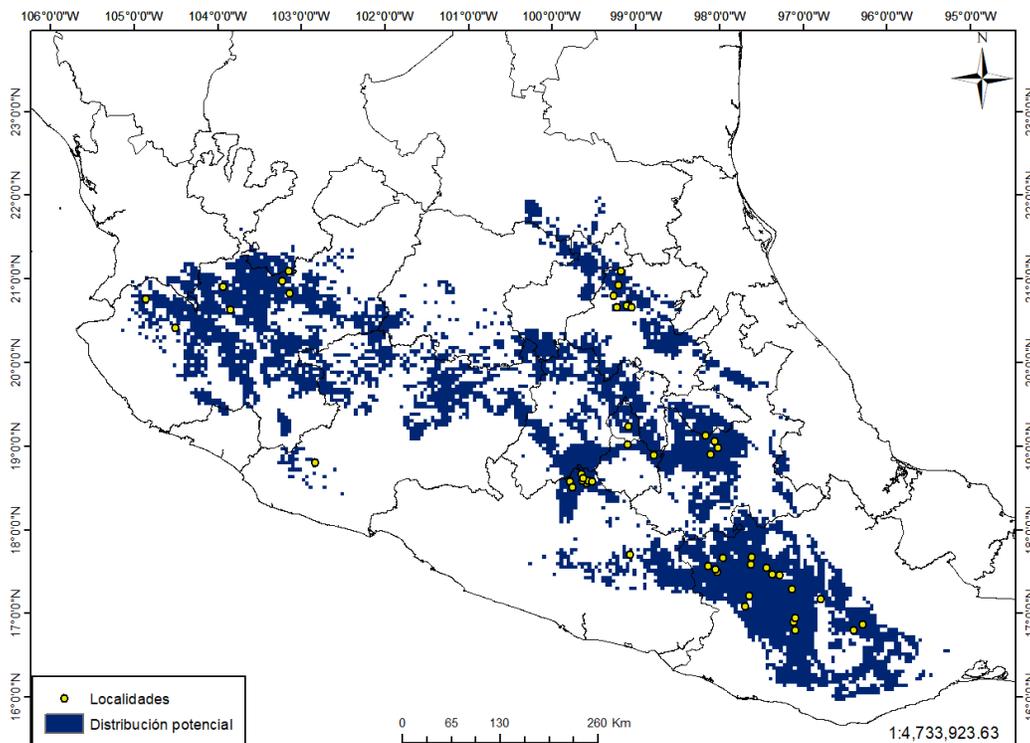
Distribución potencial actual y localidades de *J. monosperma*.



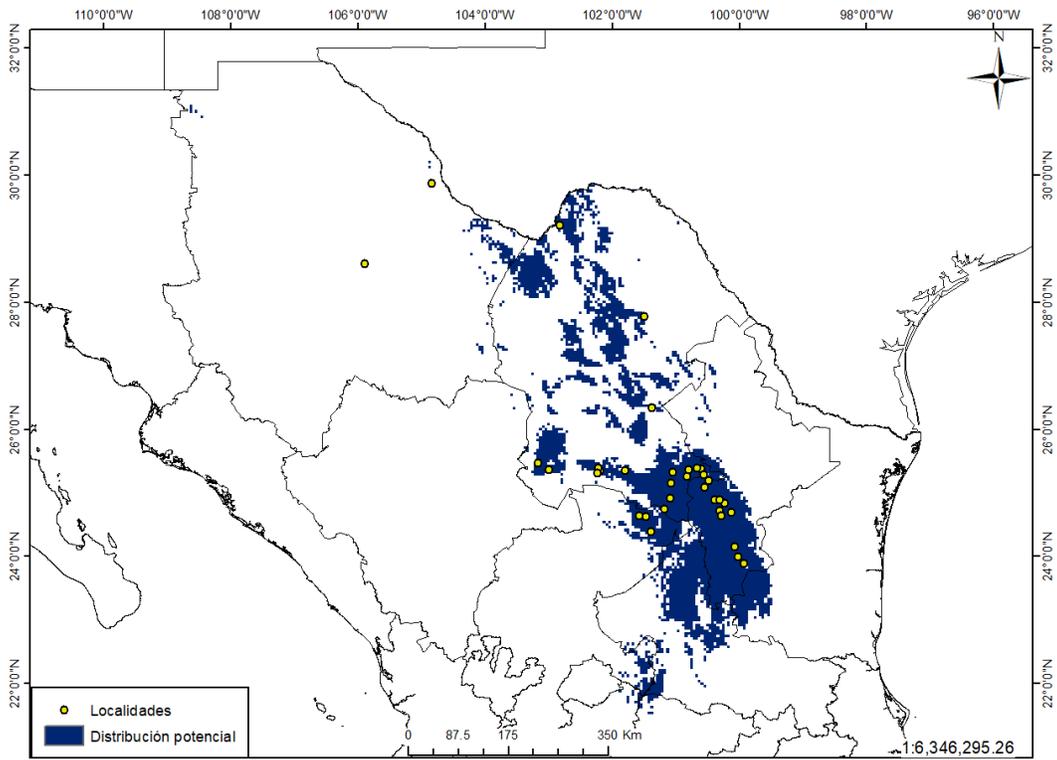
Distribución potencial actual y localidades de *J. monticola*.



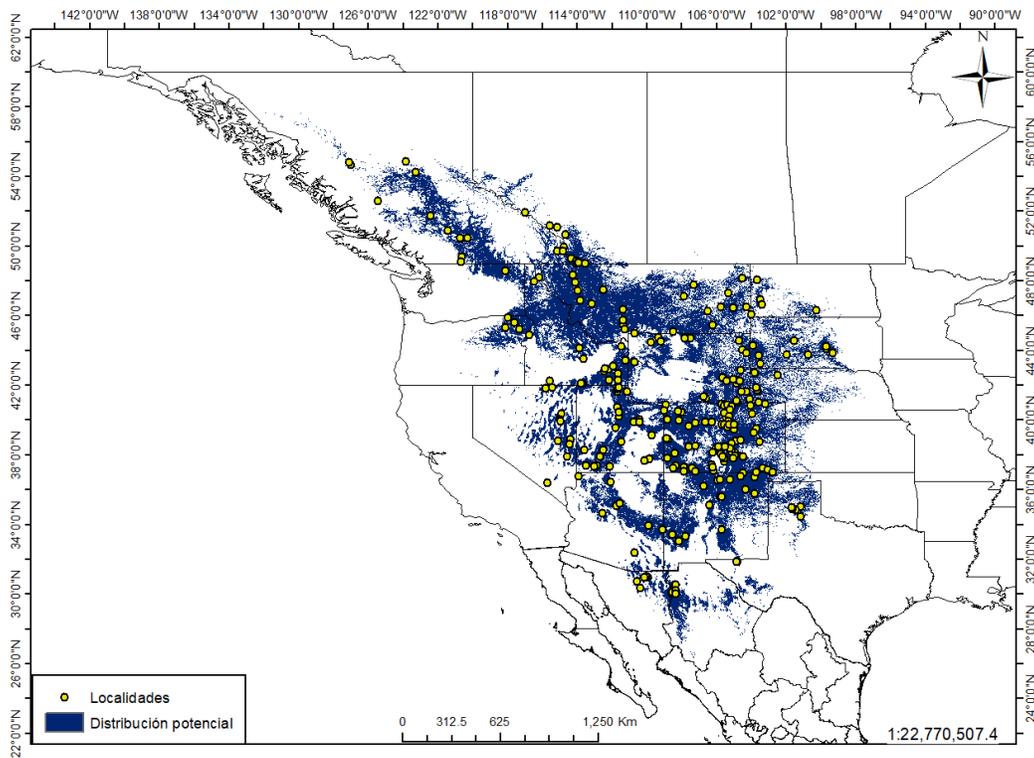
Distribución potencial actual y localidades de *J. pinchotii*.



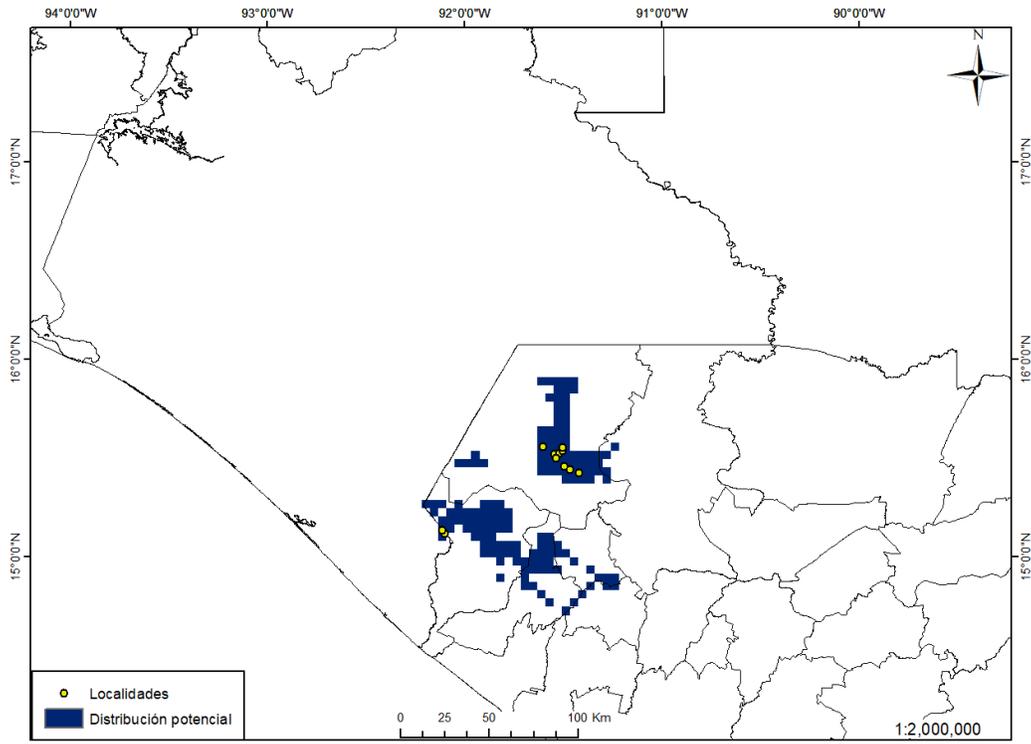
Distribución potencial actual y localidades de *J. poblana*.



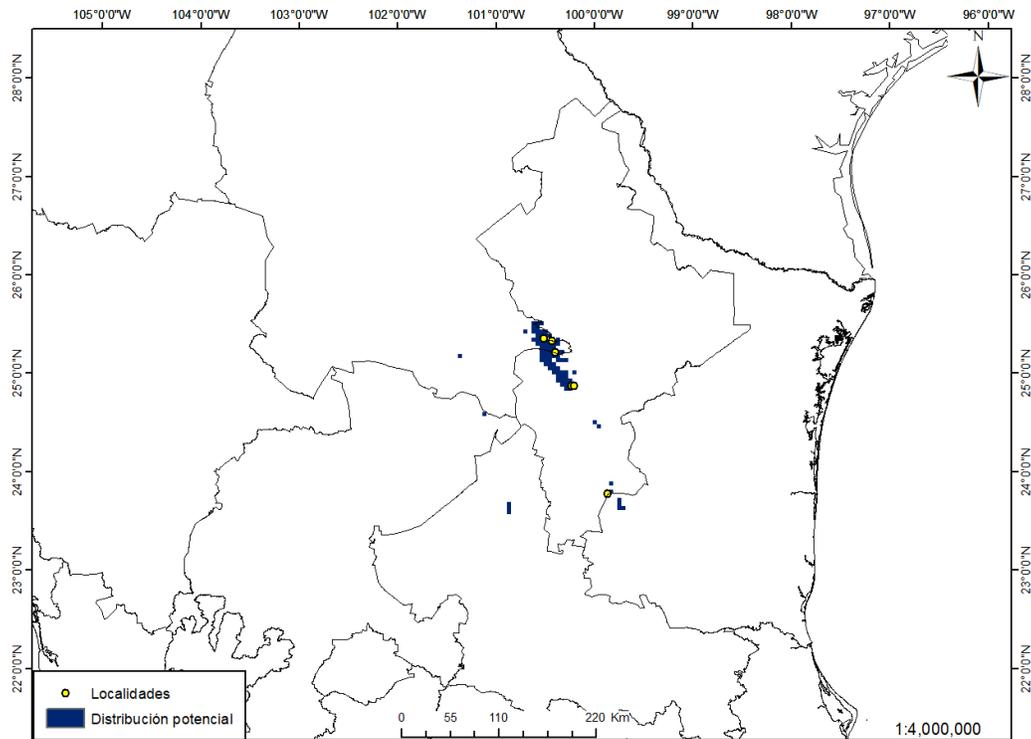
Distribución potencial actual y localidades de *J. saltillensis*.



Distribución potencial actual y localidades de *J. scopulorum*.

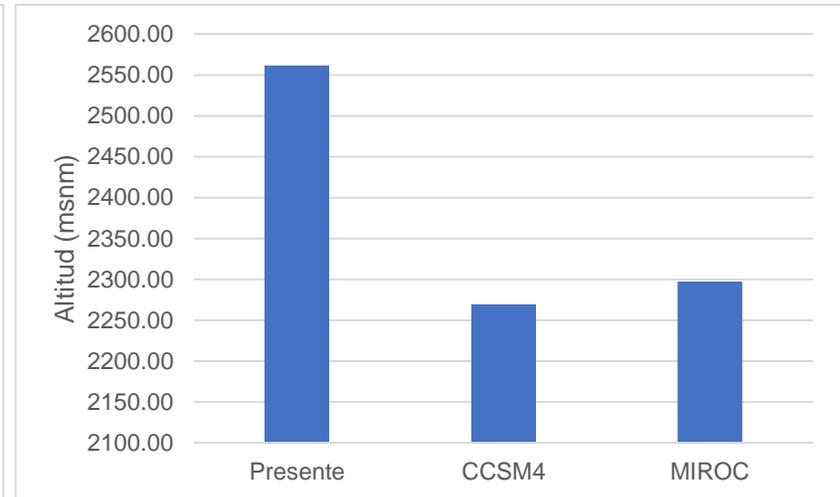
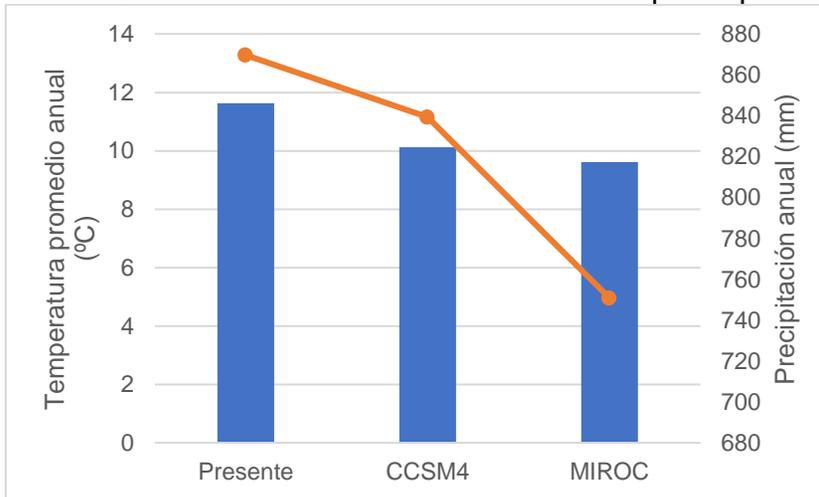


Distribución potencial actual y localidades de *J. standleyi*.

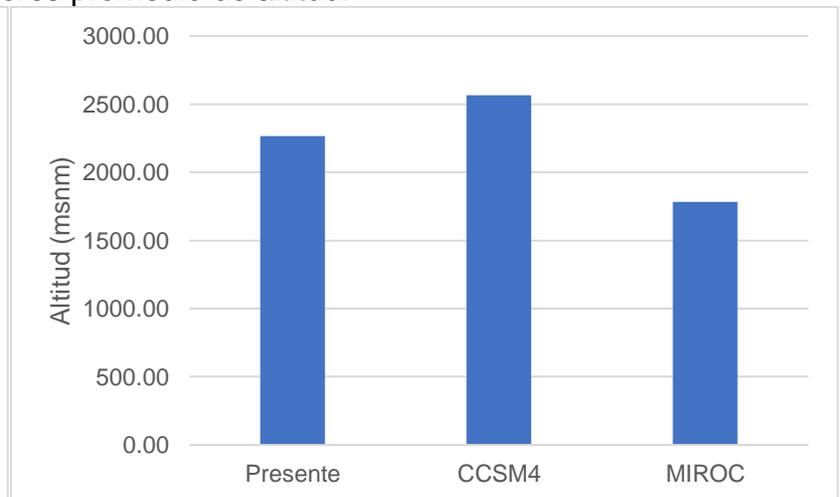
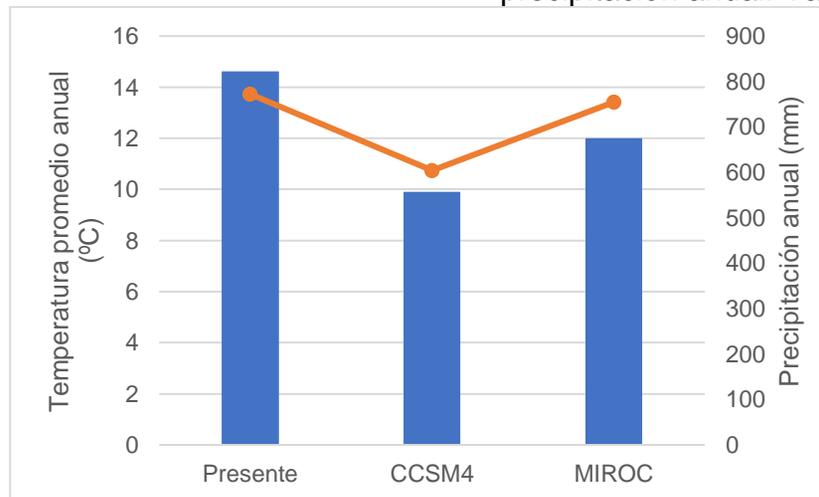


Distribución potencial actual y localidades de *J. zanonii*.

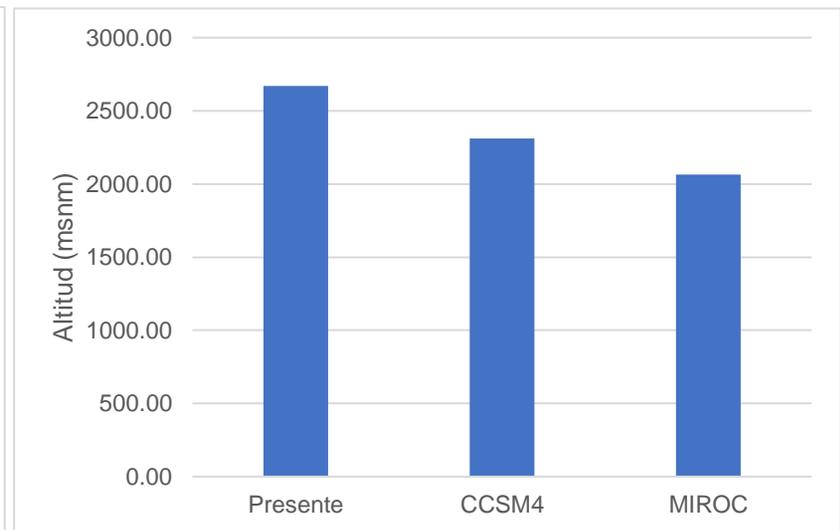
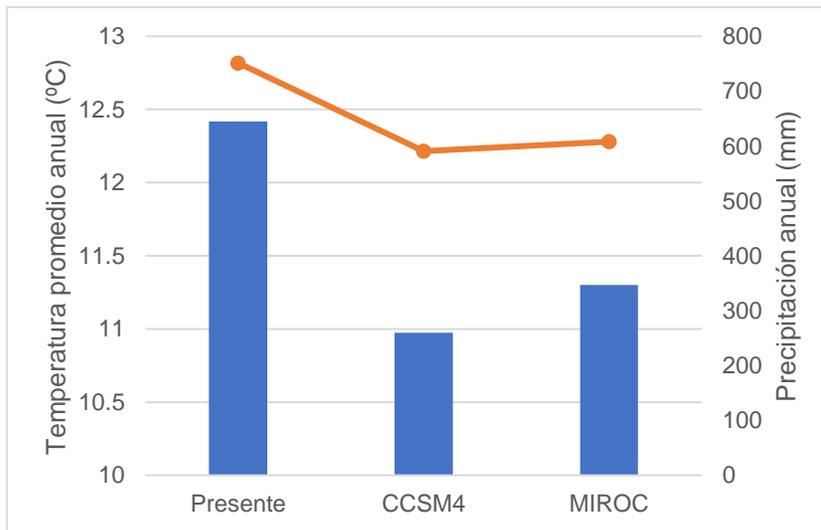
**Anexo V.** Condiciones ambientales de los MDE por especie.



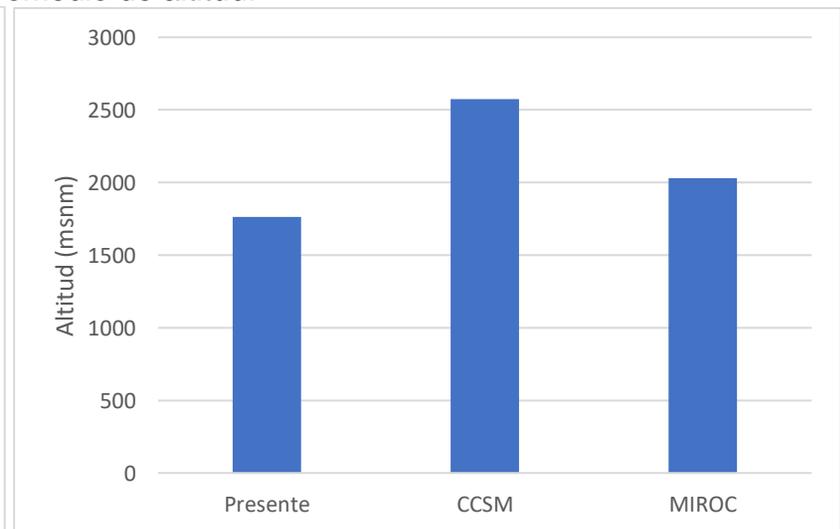
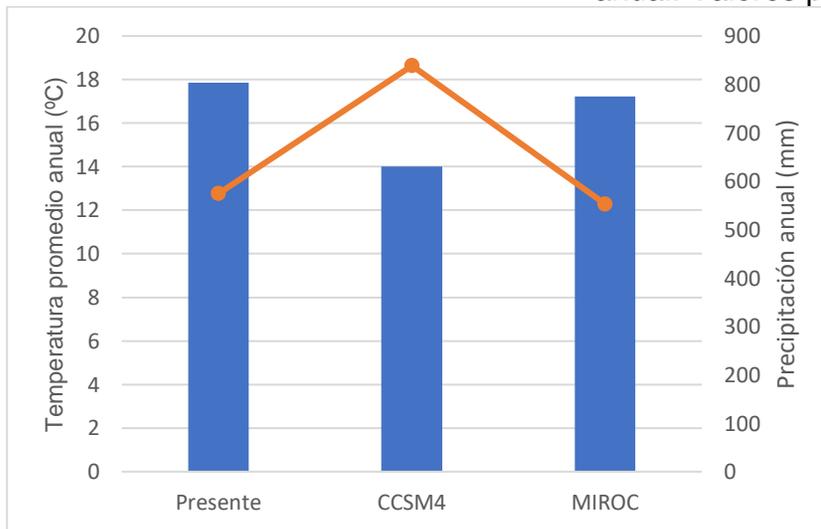
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *P. chihuahuana*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



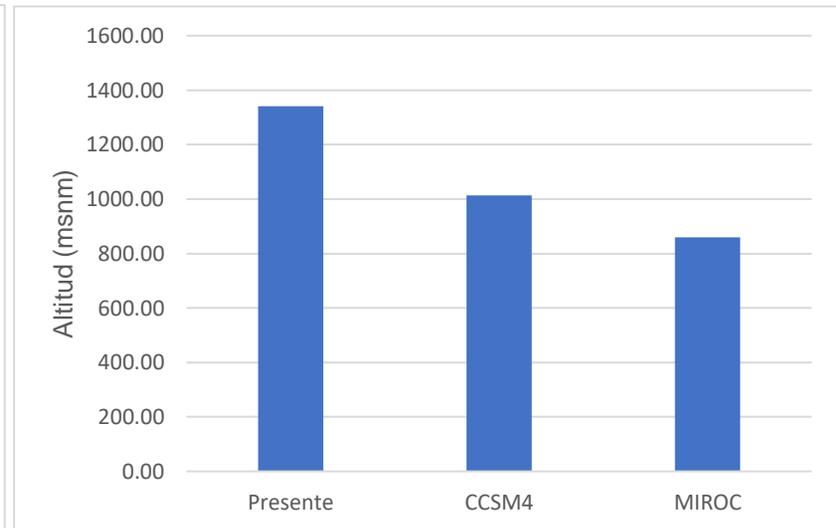
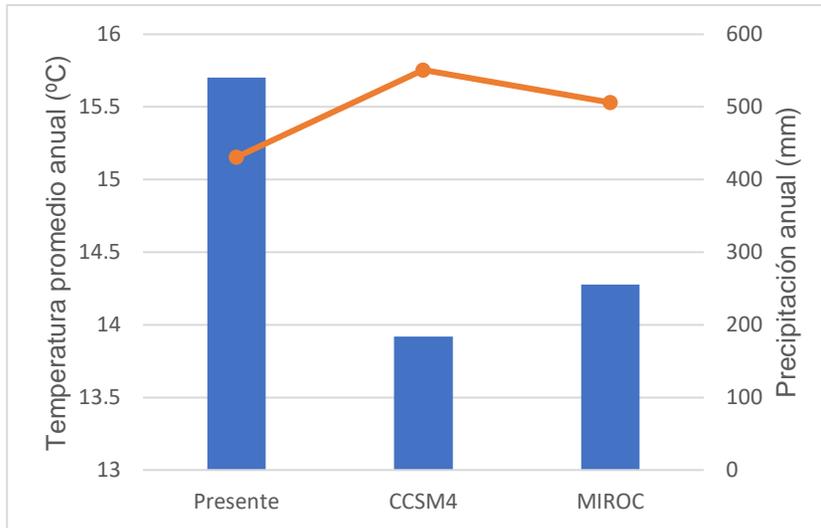
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *P. martinezii*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



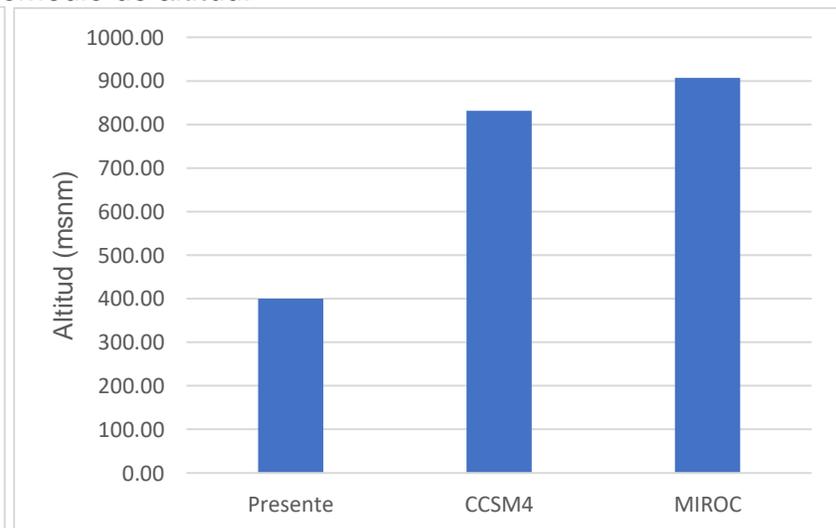
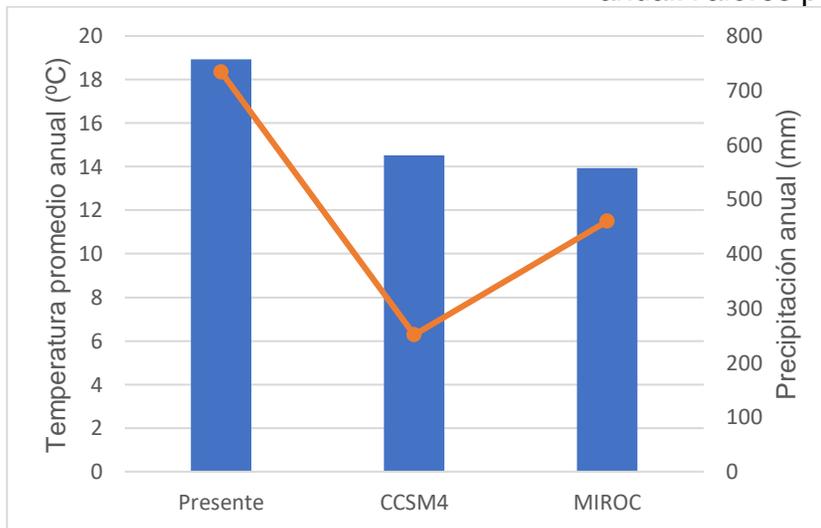
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *P. mexicana*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



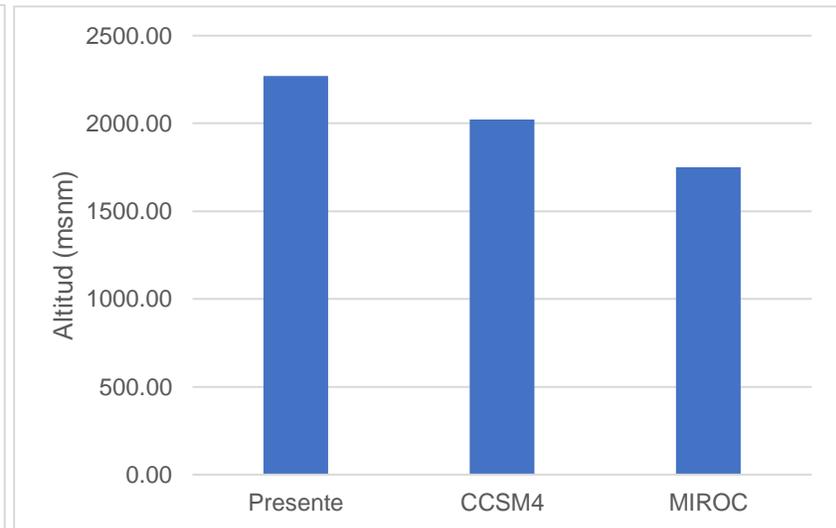
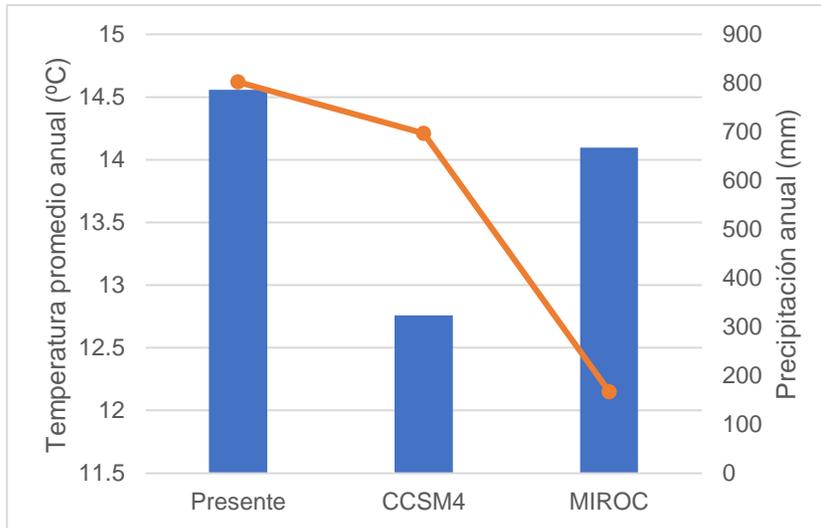
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. angosturana*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



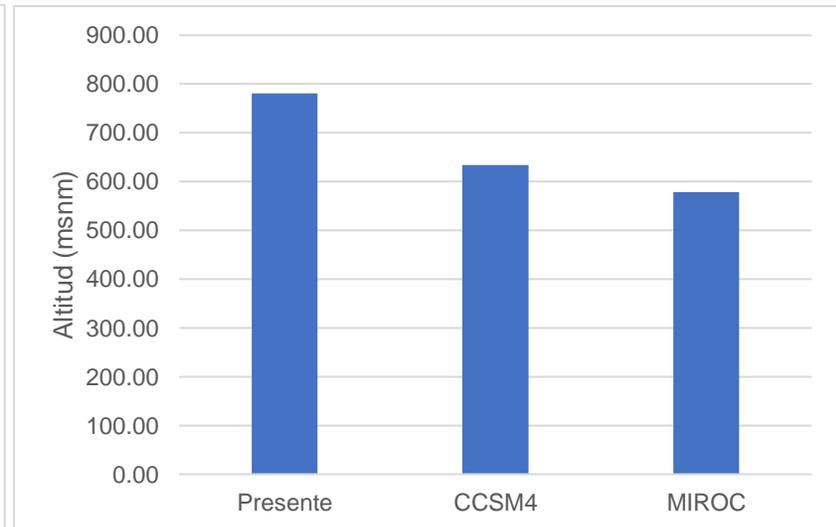
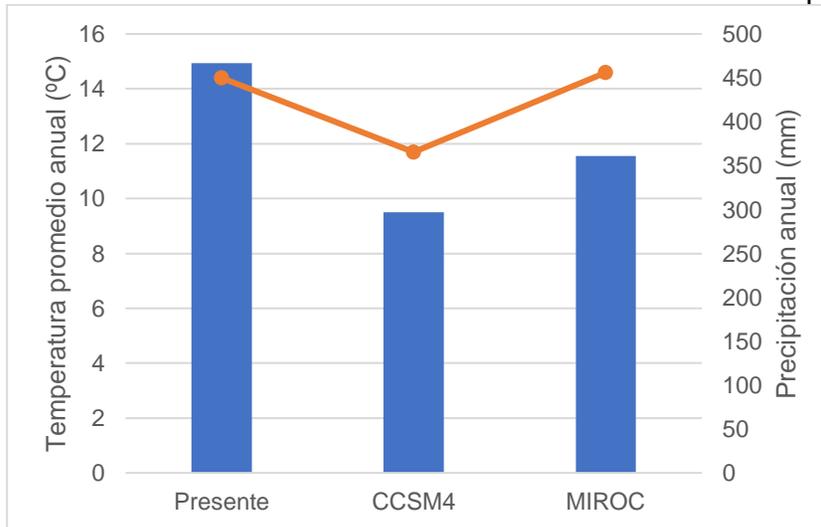
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. arizonica*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



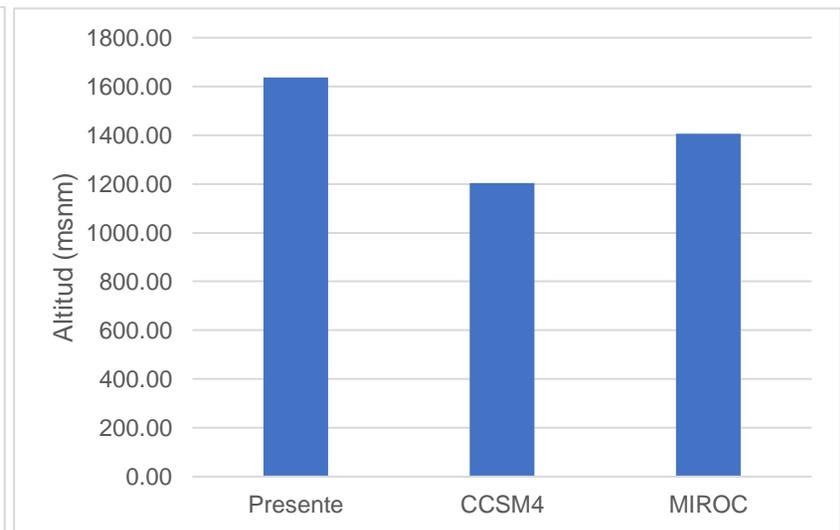
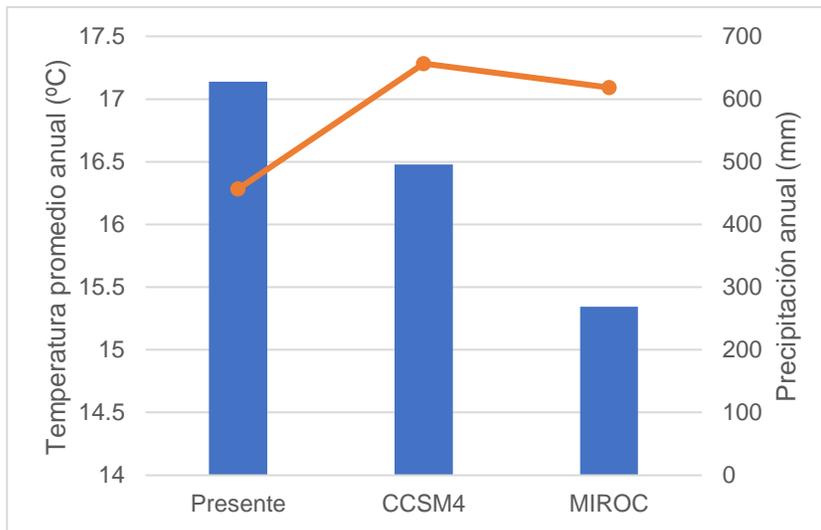
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. ashei*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



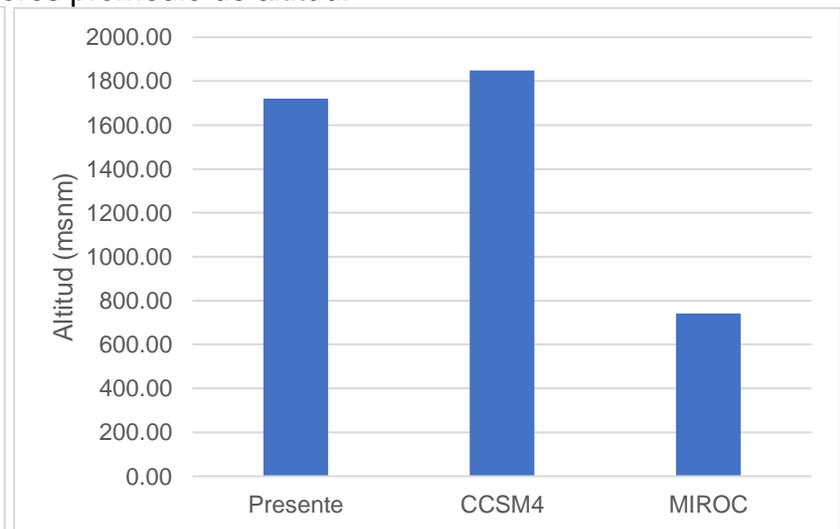
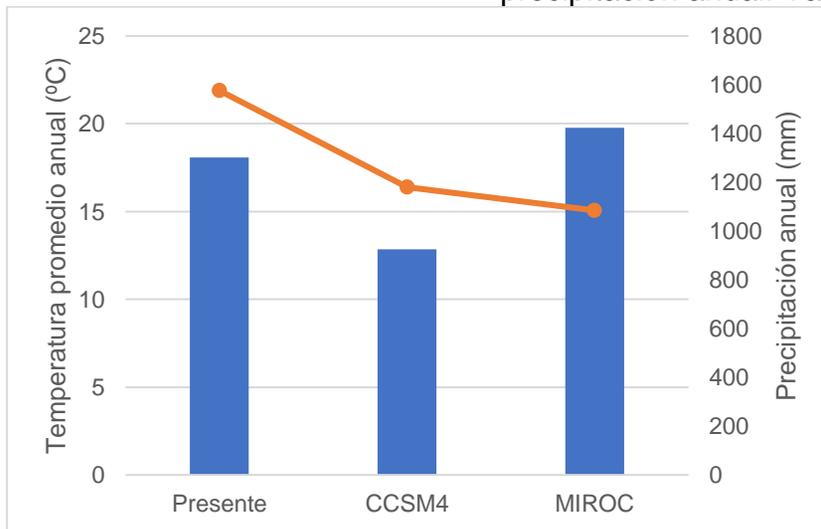
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. blancoi*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



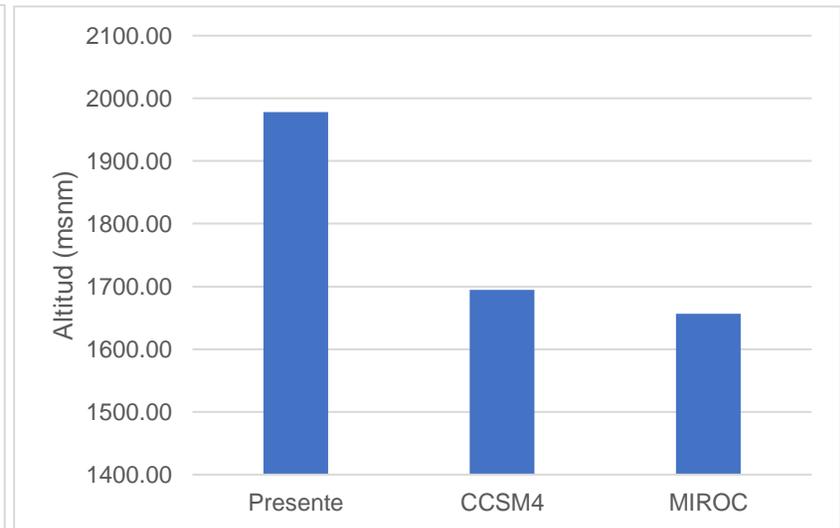
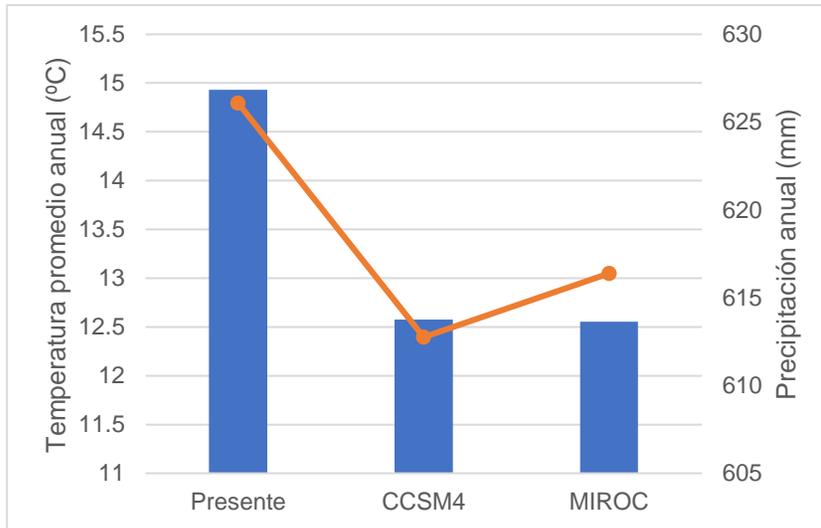
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. californica*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



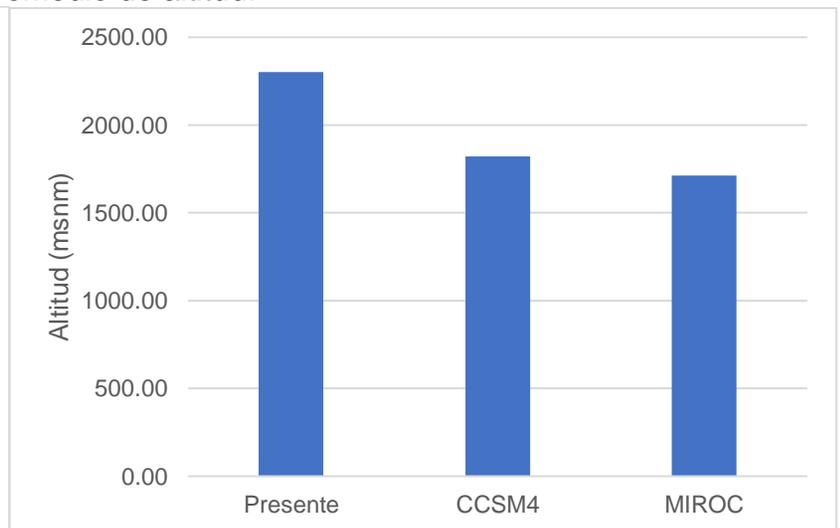
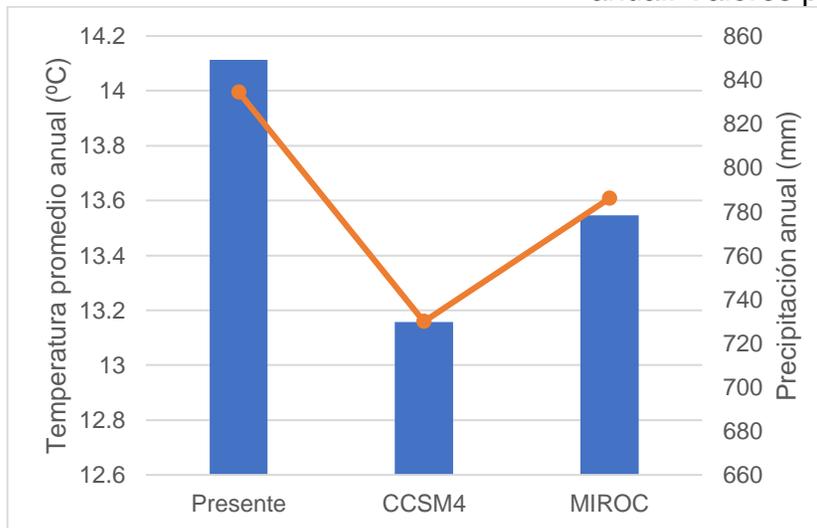
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. coahuilensis*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



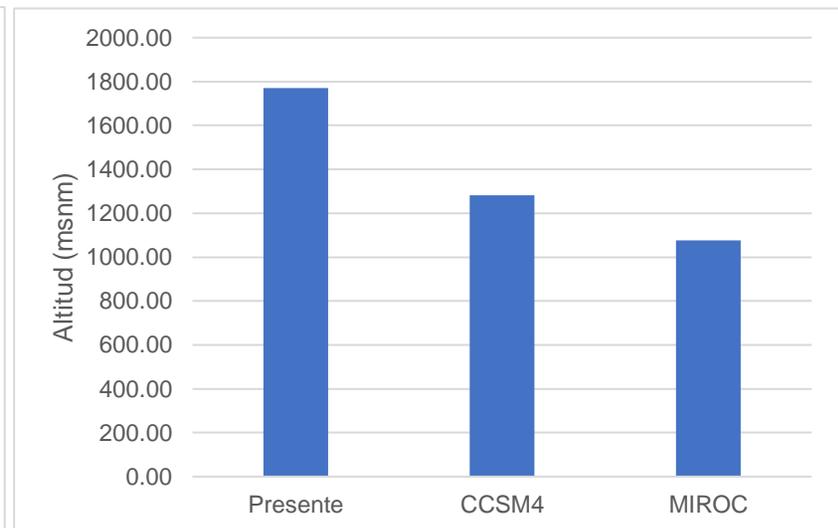
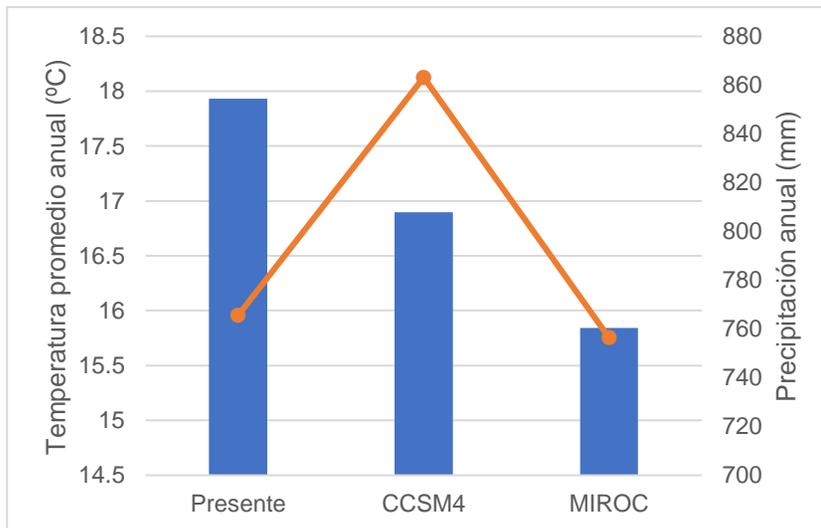
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. comitana*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



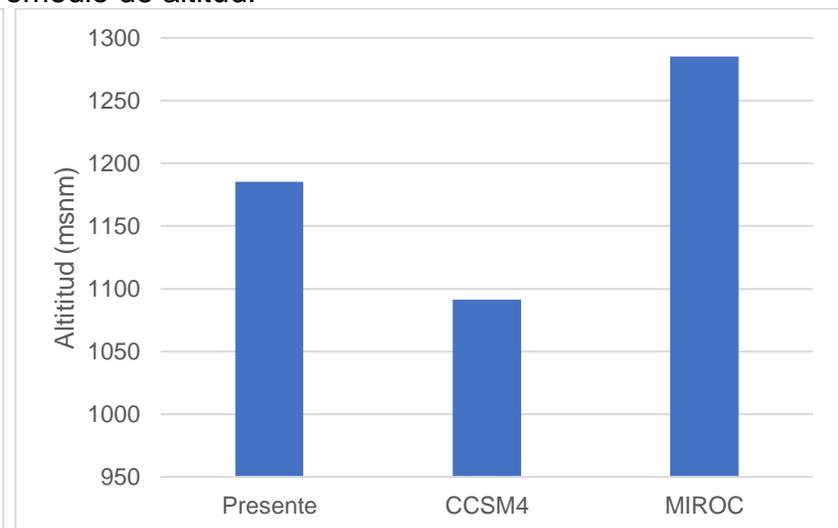
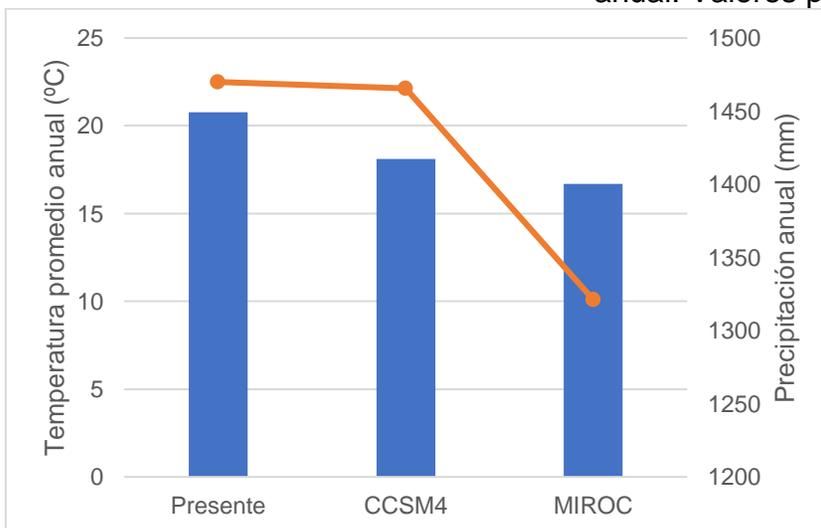
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. deppeana*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



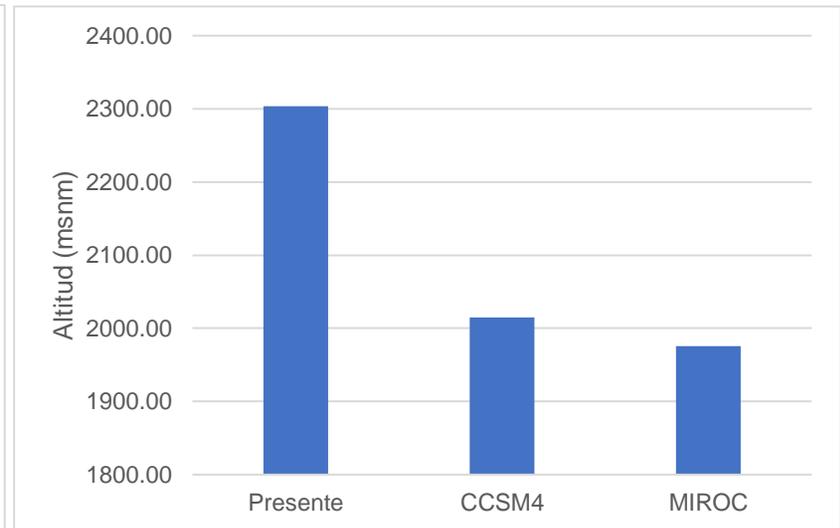
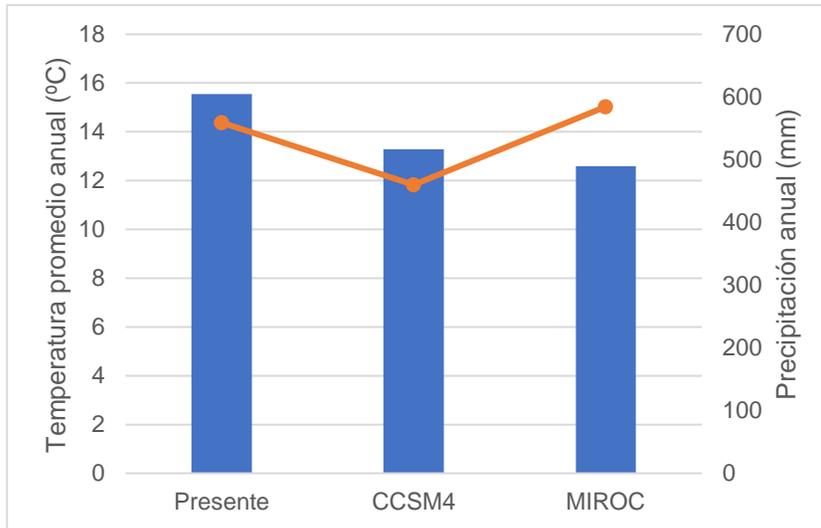
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. durangensis*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



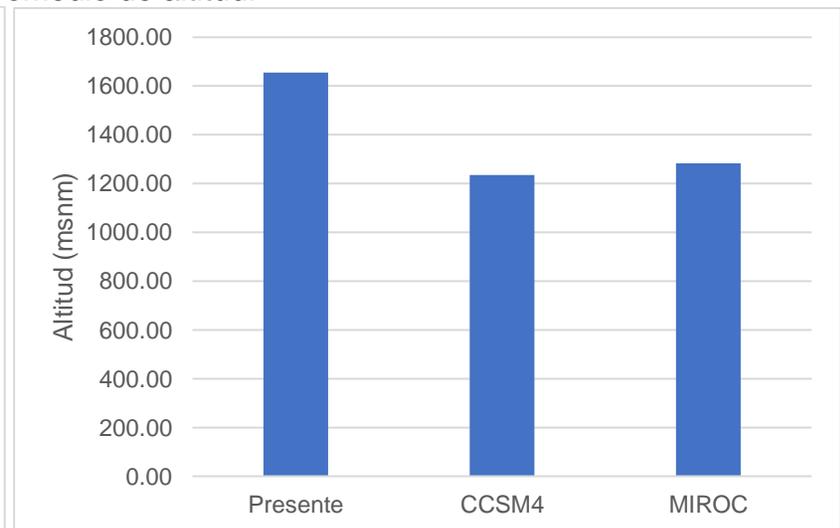
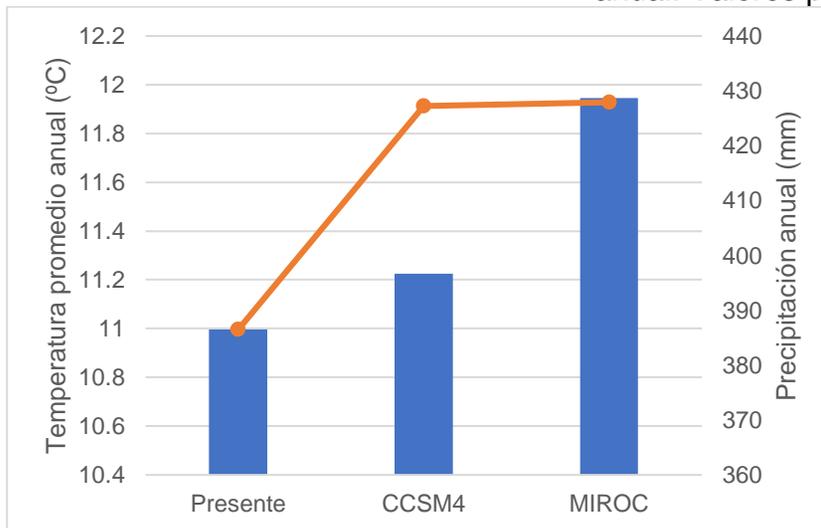
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. flaccida*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



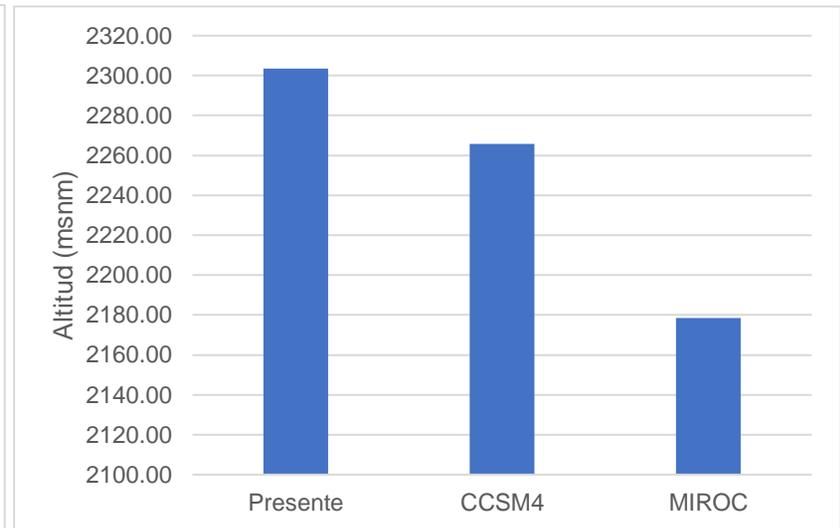
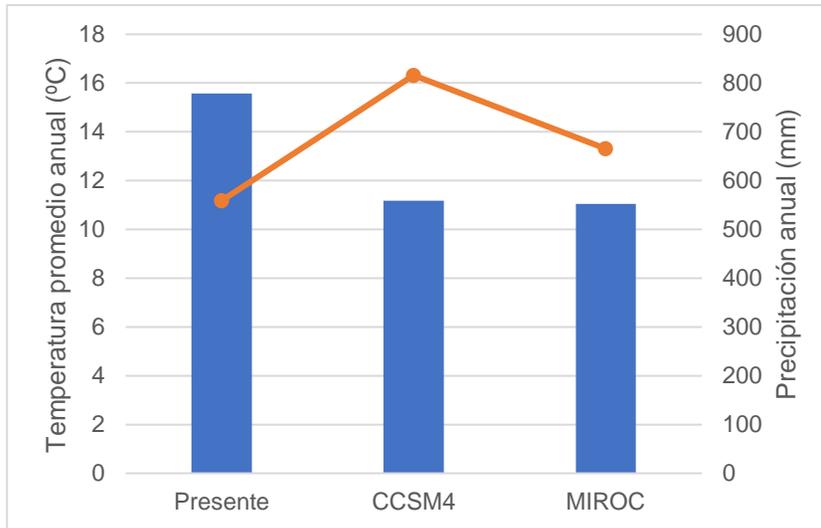
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. jaliscana*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



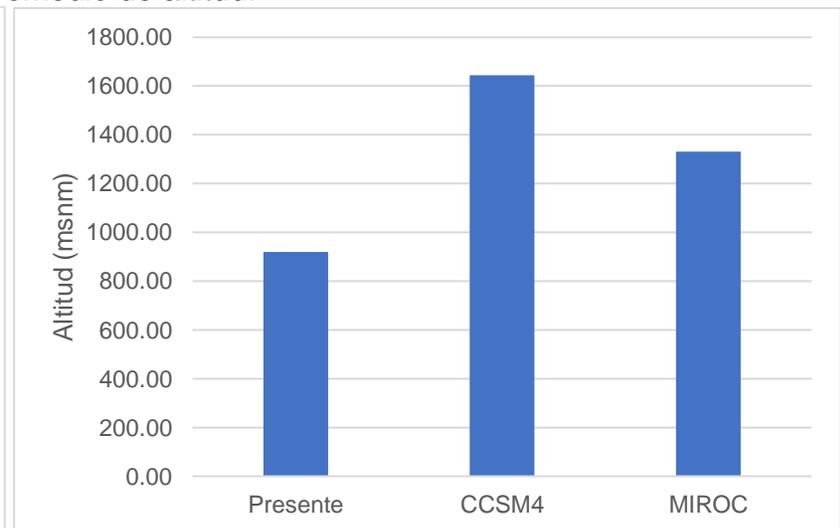
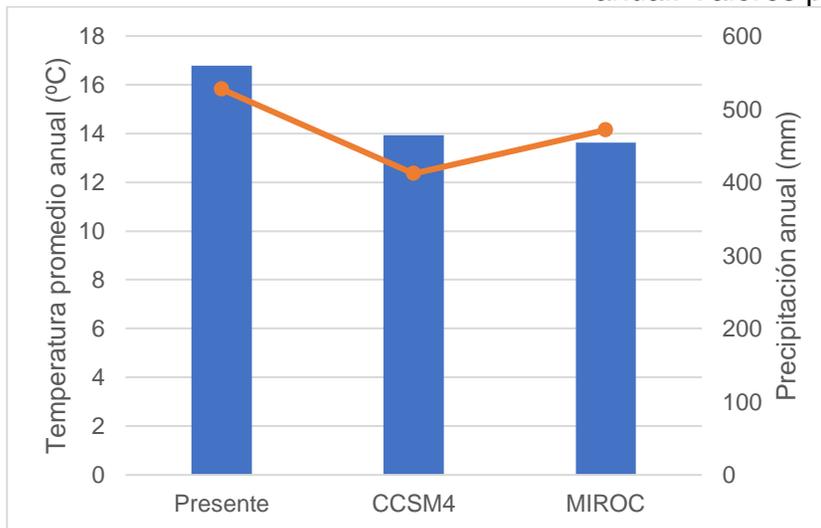
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. martinezii*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



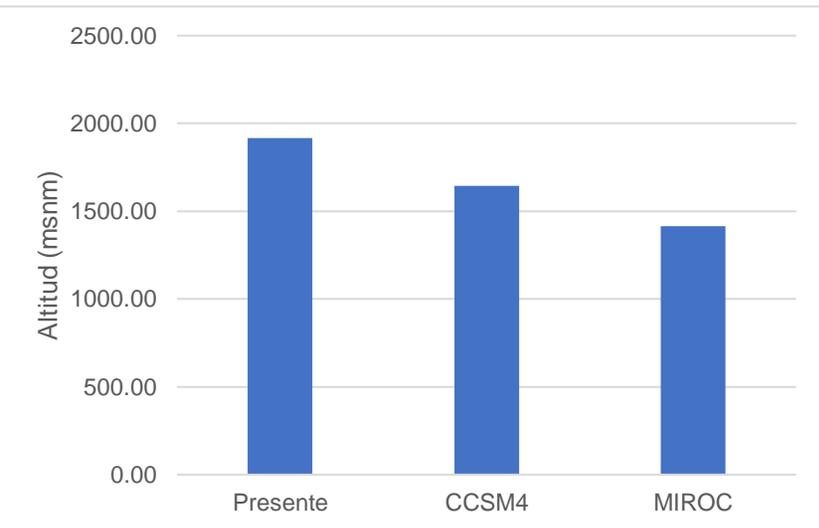
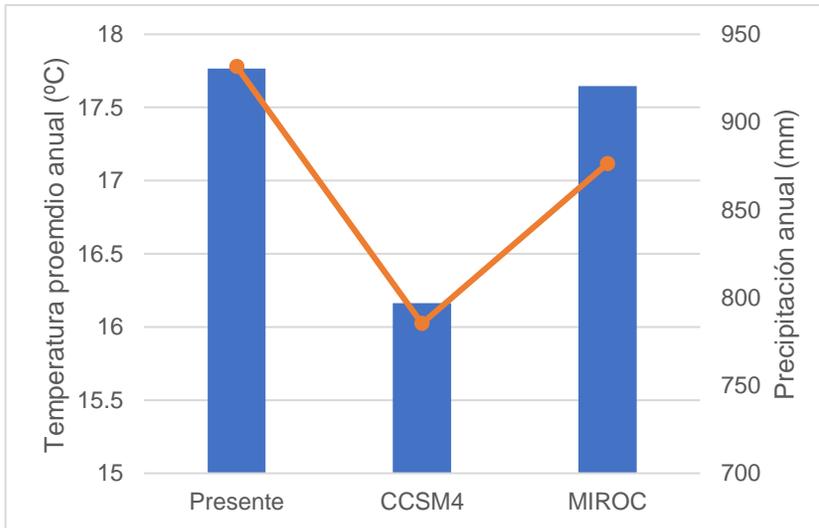
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. monosperma*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



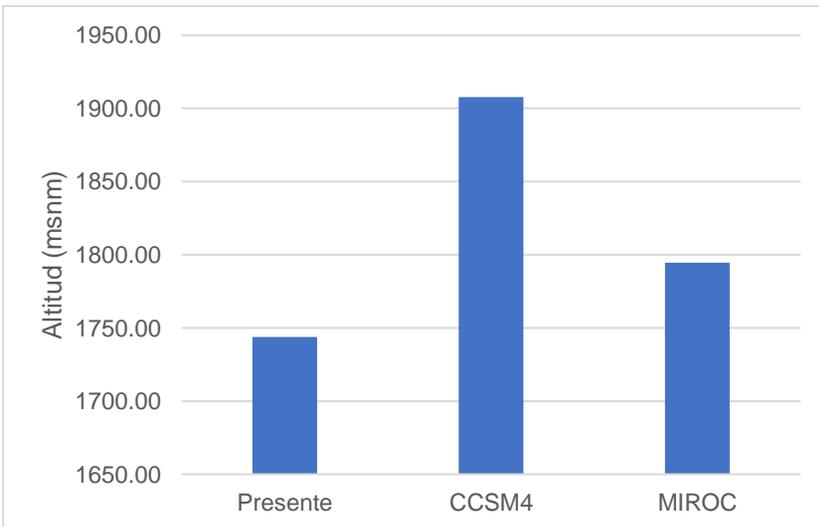
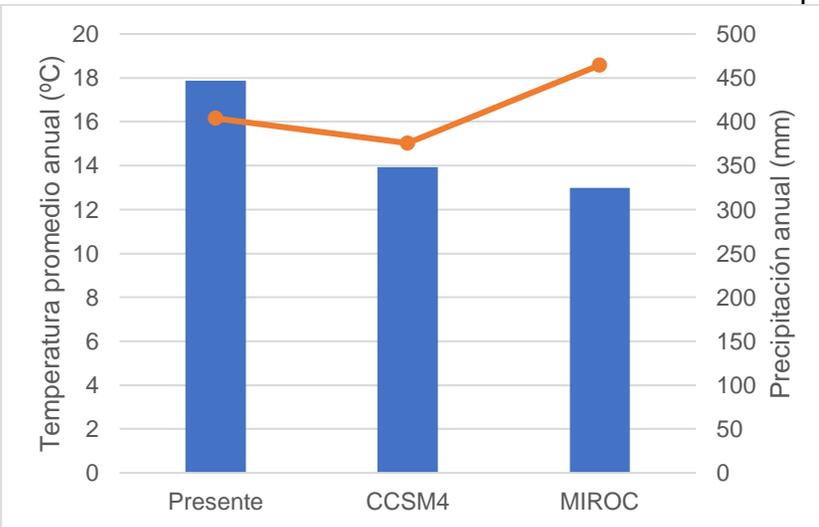
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. monticola*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



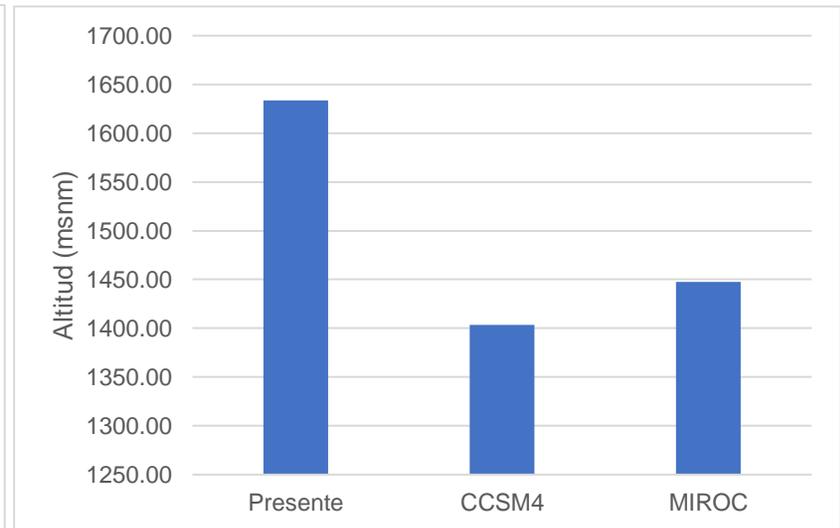
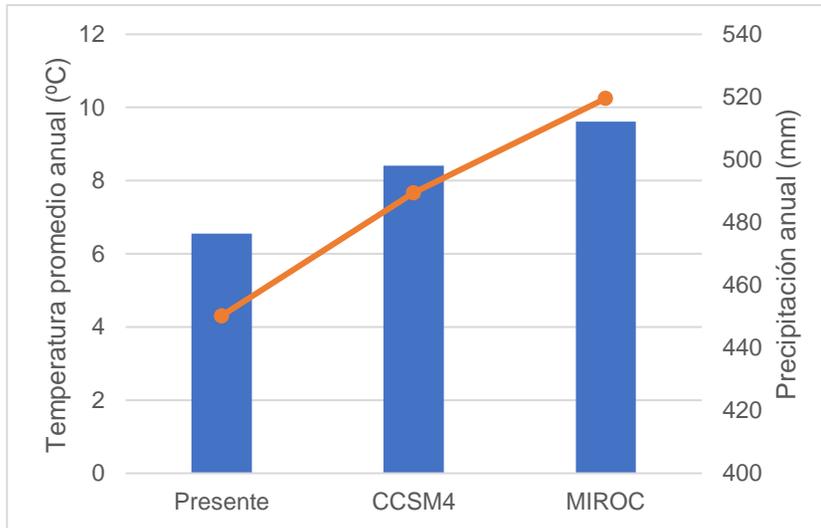
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. pinchotii*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



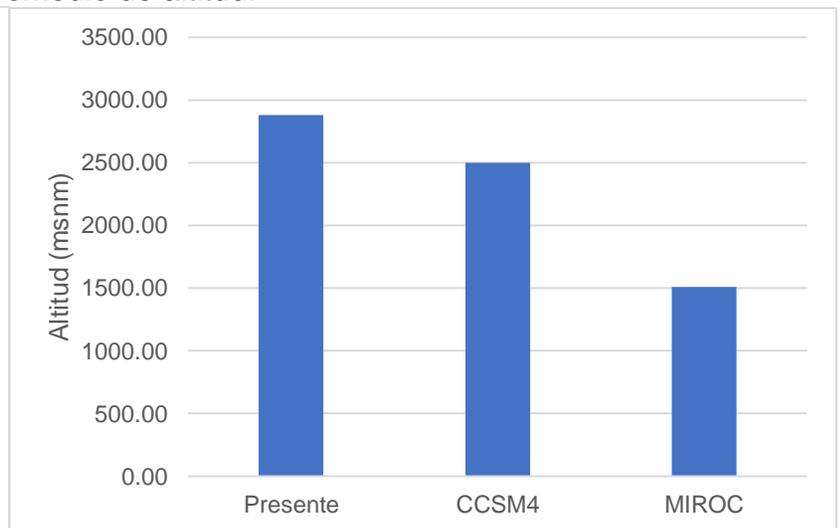
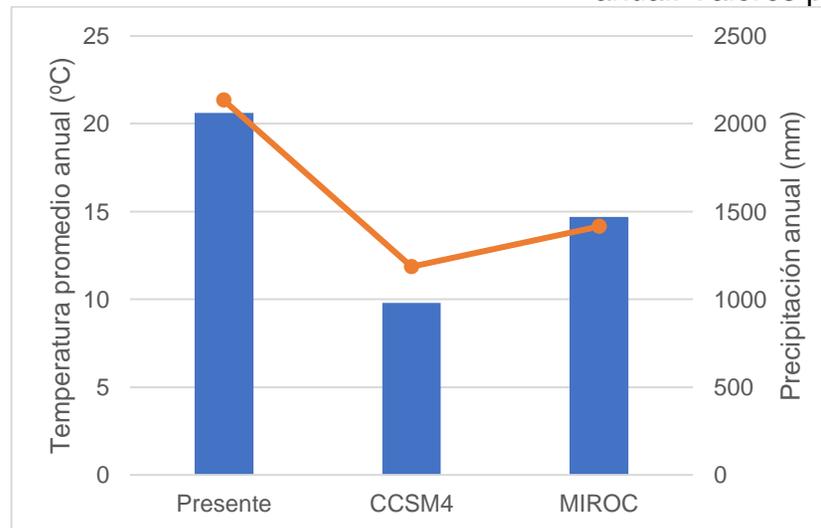
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. poblana*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



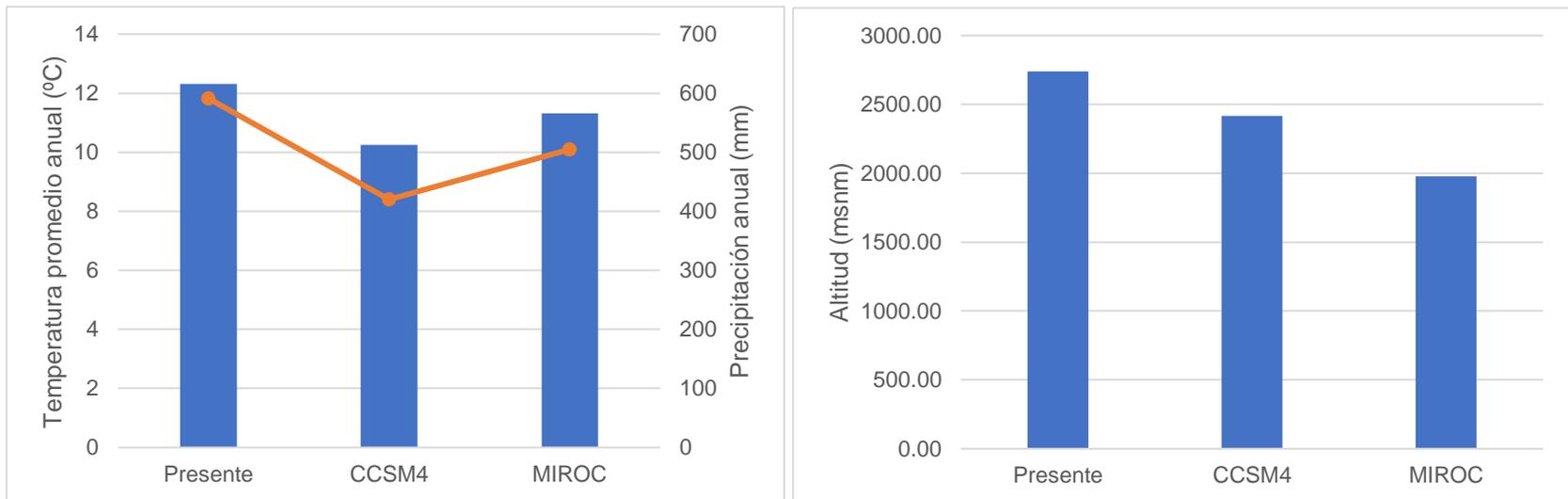
Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. saltillensis*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.



Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. scopulorum*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.

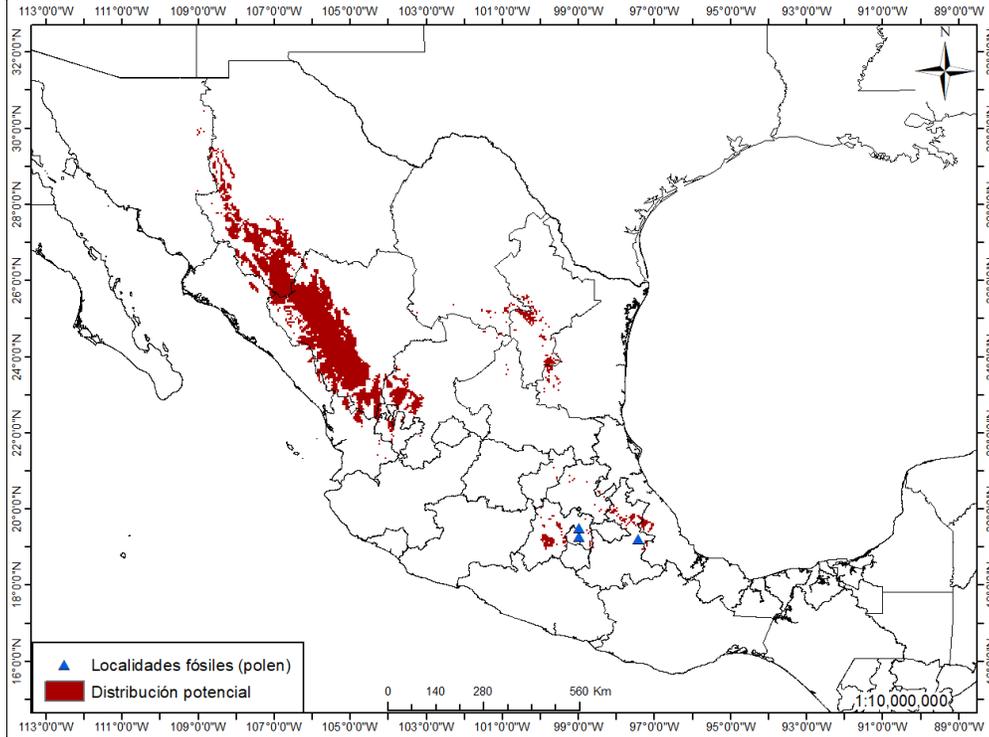


Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. standleyi*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.

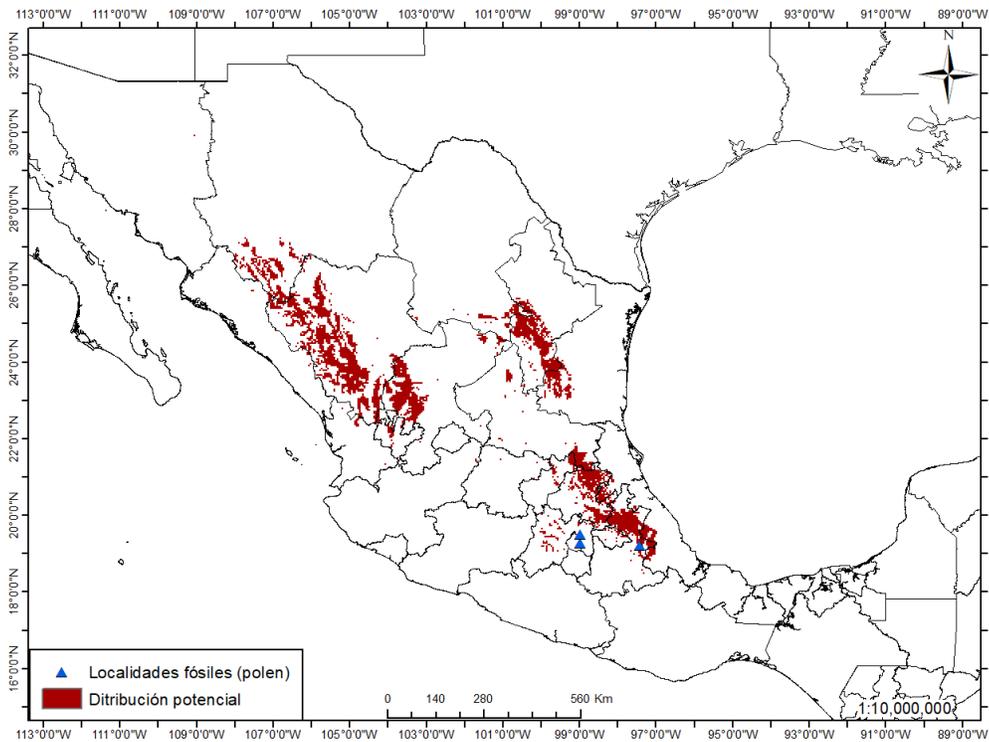


Condiciones ambientales obtenidos en los MDE de *J. zanonii*. Valores de temperatura promedio anual y precipitación anual. Valores promedio de altitud.

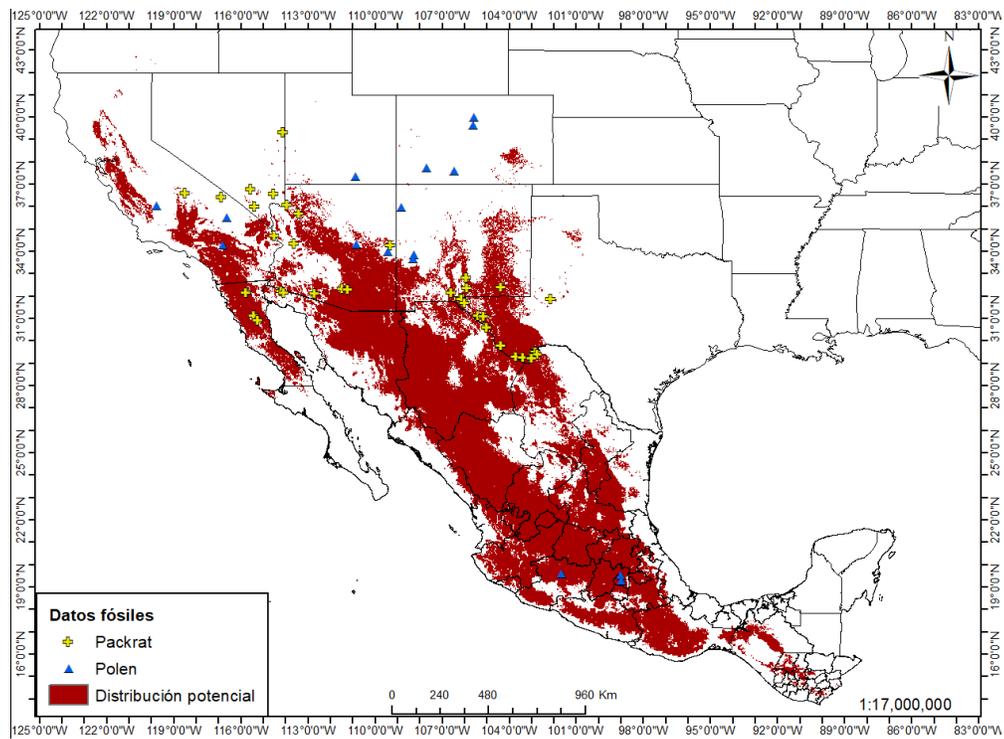
## Anexo VI. Distribución potencial por género durante el UMG.



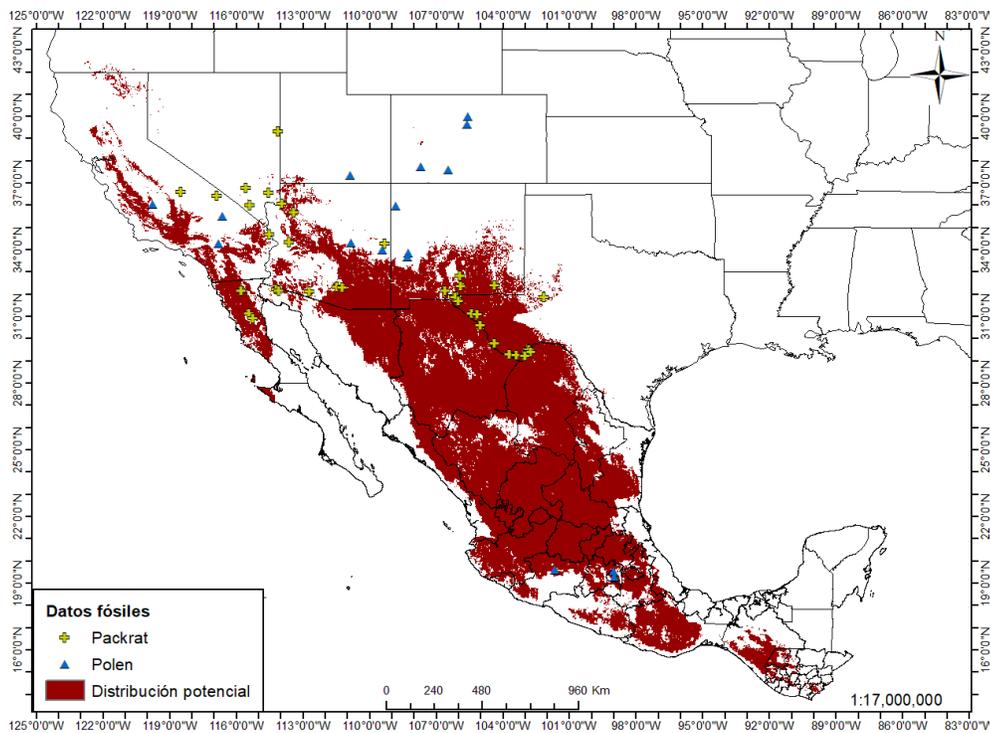
Distribución potencial durante el UMG del género *Picea*, bajo el escenario CCSM4.



Distribución potencial durante el UMG del género *Picea*, bajo el escenario MIROC.



Distribución potencial durante el UMG del género *Juniperus*, bajo el escenario CCSM4.



Distribución potencial durante el UMG del género *Juniperus*, bajo el escenario MIROC.

Distribución potencial de los géneros *Picea* y *Juniperus* en México durante el Último Máximo Glacial.

  
  
*Castro Lopez Luis R.*  
**LUIS ALONSO CASTRO LOPEZ**  
 ALUMNO

REVISO  
  
**MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ**  
 DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

Con base en la Legislación de la Universidad Autónoma Metropolitana, en la Ciudad de México se presentaron a las 15:00 horas del día 5 del mes de octubre del año 2020 POR VÍA REMOTA ELECTRÓNICA, los suscritos miembros del jurado designado por la comisión del Posgrado:

DR. CONSTANTINO GONZALEZ SALAZAR  
 DRA. MARIA DEL ROCIO ZARATE HERNANDEZ  
 DR. JORGE ALBERTO PEREZ DE LA ROSA  
 M. EN C. ANGELICA MARTINEZ BERNAL

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

**MAESTRO EN BIOLOGIA**

DE: **LUIS ALONSO CASTRO LOPEZ**

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTORA DE LA DIVISION DE CBS  
  
**DRA. SARA LUCIA CAMARGO RICALDE**

PRESIDENTE  
  
**DR. CONSTANTINO GONZALEZ SALAZAR**

VOCAL  
  
**DRA. MARIA DEL ROCIO ZARATE HERNANDEZ**

VOCAL  
  
**DR. JORGE ALBERTO PEREZ DE LA ROSA**

SECRETARIA  
  
**M. EN C. ANGELICA MARTINEZ BERNAL**

El presente documento cuenta con la firma –autógrafa, escaneada o digital, según corresponda- del funcionario universitario competente, que certifica que las firmas que aparecen en esta acta – Temporal, digital o dictamen- son auténticas y las mismas que usan los c.c. profesores mencionados en ella