

ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA DE *Pinus oaxacana* MIROV Y APLICACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO¹

[ECOLOGICAL ZONING OF *Pinus oaxacana* MIROV AND APPLICATION OF SIMULATION MODELS OF THE CLIMATE CHANGE EFFECT]

Eric Javier Picazo Olmedo^{1§}, José Cristóbal Leyva López², Paulina Zamora Moreno³, Judith Martínez de la Cruz²

¹Tesista de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Ex hacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230. ²Profesor, ITVO. ³Técnico CONAFOR-Oaxaca. [§]Autor para correspondencia: (ej_picazo@hotmail.com)

RESUMEN

El conocimiento del cambio climático es fundamental para el análisis de la vulnerabilidad y para determinar estrategias de adaptación. El objetivo fue realizar la zonificación actual y futura para *Pinus oaxacana*, especie prioritaria para la CONAFOR en Oaxaca. Se revisó información bibliográfica y documental, entrevistas con expertos en la especie y se tomaron datos de los huertos semilleros establecidos en San Juan Bautista Atlatlahuaca, Etna y Santa Catarina Ixtepeji, Ixtlán, para conocer sus requerimientos ecológicos. Se utilizó el software ArcGis 10 y se obtuvieron los modelos de elevación digital y se interceptaron con las cartas climáticas (Isoyetas e Isotermas), edáfica y de uso del suelo y vegetación. Con los datos de los requerimientos ecológicos, se calificó en niveles de aptitud actual en alto, moderado y poco potencial. Para la zonificación futura de los años 2030, 2060 y 2090, se tomó como referencia la zonificación actual y aplicándose los modelos de simulación de cambio climático principalmente el modelo canadiense y con una emisión pesimista. En el modelo de zonificación actual se observa que *Pinus oaxacana* ocupa actualmente el 10.5% de la superficie total del estado de Oaxaca, encontrándose en la Mixteca, Sierra Norte y Sur, y Valles Centrales, pero al aumentar la temperatura habrá cambios graduales al 2030 o drásticos al 2090 en la distribución de la especie, por lo que desaparecerá de algunas áreas o migrará a otras.

Palabras clave: *Pinus oaxacana* Mirov, nivel de aptitud, requerimiento ecológico.

ABSTRACT

Knowledge of climate change is essential for the analysis of vulnerability and to identify adaptation strategies. The objective was to carry out current and future zoning for *Pinus oaxacana*, priority species for the CONAFOR in Oaxaca. We reviewed bibliographic and documentary information, interviews with experts on the species and data of the seed orchards established in San Juan Bautista Atlatlahuaca, Etna and Santa Catarina Ixtepeji, Ixtlan, were taken in order to learn their ecological requirements. Digital elevation models were obtained using ArcGis 10 software and intercepted with weather charts (Isohyets e isotherms), soil and soil and vegetation use. Using data of the ecological requirements, the current aptitude was ranked in high, moderate and low potential levels. For the future zoning of the 2030, 2060 and 2090 years, the current zoning was taken as a reference applying simulation of climate change models, mainly the Canadian with a

¹ Recibido: 15 de noviembre de 2014.
Aceptado: 20 de marzo de 2015.

pessimistic broadcast model. Current zoning model shows that *Pinus oaxacana* is currently 10.5% of the total area of the Oaxaca State, found it in the Mixteca, Sierra Norte and Sur, and Valles Centrales, but increasing the temperature will change gradually to 2030 or drastic manner to 2090 in the distribution of the species, so it will be removed from some areas or migrate to others.

Index words: *Pinus oaxacana* Mirov, aptitude level, ecological requirement.

INTRODUCCIÓN

Hasta hace poco se consideraba al cambio climático (el calentamiento global) como algo poco probable, pero hoy en día se reconoce cada vez más como algo real y peligroso. El cambio climático es en parte el resultado del efecto de invernadero, el cual a su vez es el resultado de la acumulación de gases con efecto invernadero en la atmósfera (Bishop y Landell-Mills, 2007). El “cambio climático global”, “efecto invernadero”, y “calentamiento global” son términos que expresan la preocupación del público, de la comunidad científica y de los gobiernos a escala internacional (Krupa, 1999).

Como consecuencia del incremento de gases de invernadero en la atmósfera, durante el último siglo se observó un aumento en la temperatura promedio de la tierra (entre 0.4 y 0.8 °C) claramente mayor que cualquier otro experimentado en los últimos mil años. Las dos décadas recientes fueron las más calientes (SEMARNAT-Hombre Naturaleza, 2004).

Los problemas más importantes que se han generado, como resultado de la contaminación antropogénica, son: la lluvia ácida, el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono, el smog fotoquímico y el invierno nuclear, todos ellos producto de la contaminación atmosférica (Voguel y Alba, 1997).

El calentamiento mundial provocado por el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero no es, de ninguna manera, el único agente importante del cambio climático. Factores como el cambio en el uso del suelo también pueden ser importantes a nivel local. En el caso particular de América Latina, este constituye una de las principales fuentes de emisión de Gases de efecto Invernadero.

El hombre, a través de sus actividades, ha cambiado la atmósfera, afectándose a sí mismo y a todos los organismos vivientes. Esto adquiere bases sólidas, al considerar que a través de millones de años fueron surgiendo, a partir de un principio generador de vida, las diferentes formas vivas, las cuales se adaptaron al modo de vida actual, en un proceso fino y extraordinariamente bien calculado; esta trayectoria gradual y equilibrada fue sumamente exitosa. En la actualidad, esa pléyade de organismos, y el hombre mismo, se enfrentan a cambios súbitos, a alteraciones atmosféricas difíciles de superar en el corto plazo como las que han ocurrido en menos de un siglo, ya que su adaptación esta precisamente acoplada a una atmósfera con una composición definida (De la Isla, 2002).

Como parte esencial del trabajo de la Gerencia de Reforestación de la CONAFOR, se seleccionan las especies más adecuadas antes de plantear esquemas de reforestación. Para ello, es indispensable realizar una zonificación ecológica de especies forestales a nivel regional, estatal y nacional. A su vez, es muy necesario incluir en esta zonificación, una proyección del movimiento altitudinal y latitudinal para el desarrollo de las especies prioritarias definidas, ante los efectos del

cambio climático que se han venido presentando. De esta manera, los programas de conservación y restauración pueden planearse de mejor manera y se favorecerá la elaboración de proyectos de migración asistida de las especies forestales prioritarias para su conservación e incluso para su mejoramiento genético (García y Sierra, 2010).

Ante lo cual es necesario considerar escenarios de cambio climático. Los escenarios de cambio climático son un ingrediente indispensable para el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático (Conde y Gay, 2008).

El clima se define como las estadísticas meteorológicas; la variabilidad a pequeña escala, de algunas décadas o menos, suele denominarse variabilidad climática, en tanto que la variabilidad a una escala cronológica mayor que la de unas pocas décadas suele denominarse cambio climático. Puesto que no podemos realizar experimentos de laboratorio, se necesitan modelos climáticos para poder formular predicciones del cambio climático futuro, especialmente como consecuencia del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque los modelos climáticos mundiales simulan adecuadamente el clima de hoy en día, su resolución horizontal es demasiado rudimentaria para realizar estudios de impacto a escala regional. Para realizar dichos estudios se requieren modelos climáticos regionales, sobre todo en los casos en que existen grandes o muchos controles topográficos sobre el clima.

Los especialistas han desarrollado para México modelos de simulación, como el realizado por Cuauhtémoc Sáenz Romero, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, UMSNH, Morelia, Michoacán, México, en coordinación con Gerald E. Rehfeldt, Nicholas L. Crookston, Bryce A. Richardson, de Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, Moscow, Idaho, USA y Pierre Duval, Rémi St-Amant, Jean Beaulieu, del Service canadien des forêts, Ressources naturelles Quebec Canadá. De aquí se desprende la investigación “Spline models of contemporary, 2030, 2060 y 2090 para los climas de México y su uso en la comprensión de los impactos del cambio climático sobre la vegetación”, en el cual se modelaron varios escenarios de clima de México para los años 2030, 2060 y 2090. Cada escenario climático es la combinación de suponer cierto nivel de emisión de gases con efecto invernadero, llamados “escenarios de emisiones” y utilizar resultados de predicciones de modelos de simulación del clima a nivel mundial, llamados “Modelos de Circulación Global” (García y Sierra, 2010).

El objetivo de este trabajo fue realizar una zonificación actual y futura de *Pinus oaxacana* Mirov especie con potencial para reforestación en el estado de Oaxaca simulando los efectos del cambio climático para los años 2030, 2060 y 2090.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estado Libre y Soberano de Oaxaca fue creado por decreto del H. Congreso de la Unión el 3 de febrero de 1824. Políticamente está dividido en 30 distritos, 570 municipios (24% de los municipios del país) y cuenta con más de 10 000 localidades. Su nombre proviene del náhuatl *huaxyacac*, que significa “en la nariz de los guajes”. Ubicada en la porción meridional de la República Mexicana, limita al norte con Veracruz y Puebla, al este con Chiapas, al sur con el

Océano Pacífico y al oeste con Guerrero. Las coordenadas extremas de Oaxaca son: al norte 18° 39' y al sur 15° 39' de latitud norte; al este 93° 52' y al oeste 98° 32' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 95 364 km², lo que representa 4.8 % del territorio nacional. Cuenta con una regionalización económica que reconoce ocho regiones: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Papaloapan, Sierra Norte, Sierra Sur y Valles Centrales. Oaxaca está habitada por 16 grupos culturales: amuzgos, chatinos, chinantecos, chochos, chontales, cuicatecos, huaves, ixcatecos, mazatecos, mixes, mixtecos, nahuas, triquis, zapotecos, zoques y popolocas (García-Mendoza *et al.*, 2004).

En el estado de Oaxaca se tienen identificadas doce subprovincias fisiográficas: Depresión del Balsas, Montañas y Valles del Occidente de Oaxaca, Fosa de Tehuacán, Sierra Madre de Oaxaca, Planicie Costera del Golfo (Papaloapan y Coatzacoalcos), Valles Centrales de Oaxaca, Montañas y Valles del Centro, Depresión Istmica de Tehuantepec, Sierra Madre del Sur de Oaxaca y Chiapas (Región de los Chimalapas), Sierra Madre del Sur, Planicie Costera del Pacífico y Planicie Costera de Tehuantepec. En la Subprovincia fisiográfica Sierra Madre del Sur se encuentra la cúspide más alta del estado, el Cerro Quiexoba, con una altitud de 3750 m (Ortíz-Pérez *et al.*, 2004).

Dada la complejidad orográfica de Oaxaca, el resultado es una gran complejidad climática, producto de la presencia de distintas zonas térmicas, combinadas con una distribución desigual de la lluvia y el efecto espacial diferencial de los sistemas meteorológicos que afectan al estado. Debido a esto, en el territorio oaxaqueño es posible encontrar climas cálidos, desde húmedos y subhúmedos hasta áridos y muy áridos, así como templados con un alto grado de humedad, hasta aquellos en donde la aridez es un factor importante, y climas semifríos de húmedos de húmedos a subhúmedos (Trejo, 2004).

Torres-Colín (2004) reconoce 26 tipos de vegetación para el estado de Oaxaca agrupados bajo un criterio fisonómico-florístico en formaciones: bosques, matorrales, selvas, vegetación acuática y otros.

Metodología

La especie objeto de este estudio fue *Pinus oaxacana* Mirov (= *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*) (Farjon y Styles, 1997). Esta se distribuye en La Cañada, Mixteca, Sierra Norte, Sierra Sur y Valles Centrales (Del Castillo *et al.*, 2004). Se realizó la zonificación de la especie a nivel estatal por las condiciones favorables para la especie que puede haber en otras regiones.

Para la realización del presente trabajo se llevaron a cabo las siguientes actividades: 1) Revisión de información bibliográfica y documental (Martínez, 1948; Maldonado, 1984; Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997; Zamora, 2009; López, 2011; Ramírez *et al.*, 2011) así como entrevistas con ingenieros y técnicos forestales para saber dónde se encuentra *Pinus oaxacana* Mirov.

2) Georreferenciación de puntos donde se localizan ejemplares de la especie de interés, obtener la Latitud N, Longitud W y Altitud, utilizando el DATUM WGS84. 3) De los huertos semilleros ubicados en San Juan Bautista Atatlahuaca, distrito de ETLA y Santa Catarina Ixtepeji, distrito de Ixtlán, se obtuvieron datos como: tipo de vegetación en la que se encuentra la especie, con qué tipos de vegetación se asocia, exposición en donde se desarrolla mejor, datos edáficos como la

profundidad, contenido de materia orgánica y salinidad, pendiente del terreno, pedregosidad y geoformas (como valle, cañada y lomerío).

4) Se realizó una clasificación de los sitios con base en las características fenotípicas de los individuos de *Pinus oaxacana* Mirov en altamente potencial (individuos con características fenotípicas excelentes), moderadamente potencial (características fenotípicas sobresalientes) y poco potencial (individuos suprimidos, mal conformados o débiles). 5) Se consultó cartografía de mapas del INEGI y USDA para definir los tipos de suelos y datos climáticos donde se desarrolla la especie, generando un cuadro de requerimientos ecológicos y realizar su zonificación.

6) Se validó la zonificación actual siguiendo la metodología sugerida por García y Sierra (2010). 7) Se utilizó el software ArcGIS 10 para la elaboración de los MDE, la cartografía básica necesaria que se aplicó para la zonificación ecológica de la especie de *Pinus oaxacana* Mirov fue la siguiente: Modelos digitales de elevación (con el cual se realizaron los mapas de altitud, exposición y pendiente); Cartas climáticas (Isotermas e Isoyetas); Cartas edáficas y Cartas de uso de suelo y vegetación

8) Las cartas y MDE se utilizaron para realizar la zonificación actual, en donde se adjuntó para formar un SIG mediante lo antes mencionando, quedando así un mapa base, para calificar en tres aptitudes (alta, moderada y poco potencial). 9) Para el modelo de simulación se utilizó el modelo canadiense y con un escenario pesimista (Sáenz-Romero *et al.*, 2010), con la información obtenida de la página de internet de la USDA, se realizó un SIG para cada año con las cartas y los shapes files obtenidos del MDE y la nueva información que consistía en la simulación en la de precipitación y temperatura para los años 2030, 2060 y 2090.

RESULTADOS

Requerimientos ecológicos y zonificación actual de *Pinus oaxacana* Mirov

La especie se desarrolla mejor y se adapta con los diferentes niveles de altitud, vegetación, temperatura, precipitación, entre otros; se presenta en forma jerárquico los requerimientos esenciales para dicha especie (Cuadro 1).

Una vez obtenido los requerimientos para la especie y los niveles de aptitud, se trabajó en la zonificación de acuerdo al potencial: alto, moderado y poco potencial, obteniendo así la zonificación actual del *Pinus oaxacana* Mirov (Figura 1), resultando con las siguientes superficies: altamente potencial 471,565.83 ha, moderadamente potencial 425,644.96 ha y poco potencial 2099.15 ha, sumando un total de 987,801.96 ha, que representa el 10.5 % de la superficie total del estado de Oaxaca y se encuentra en la regiones de la Mixteca, Sierra Norte y Sur, y una parte de los Valles Centrales.

Modelos de simulación del cambio climático para *Pinus oaxacana* Mirov

Con los modelos de simulación para la especie del *Pinus oaxacana* Mirov se obtuvieron cambios en la distribución de la especie, esto significa que se perderá un gran porcentaje de hectáreas de esta especie, considerando que una parte se tiene que adaptar a esas condiciones o se tendría que buscar nuevas áreas en donde se desarrolle mejor con los mismos requerimientos.

Cuadro 1. Requerimientos y características ecológicas para la especie *Pinus oaxacana* Mirov.

Requerimientos	Nivel de aptitud		
	Altamente potencial	Moderadamente potencial	Poco potencial
Altitud (m)	2101-2600	2601- 2900 y 1801-2100	2901-3200 y 1500-1800
Vegetación	Bosque de pino	Bosque de pino-encino	Bosque de encino-pino
Temperatura (°C)	14-20	10-14 y 20-22	22-24 y 8-10
Precipitación (mm)	1000-1500	750 a 999 y 1501 a 1750	550 a 749 y 1751 a 2000
Suelo	Cambisol, Leptosol y Regosol	Luvisol y Feozem	Acrisol, Vertisol y Umbrisol
Exposición	Norte y noreste	Este, noroeste y oeste	Sur, suroeste, sureste
Pendiente (grados)	0-45	0-45	> 45

Para la simulación para el 2030 se obtuvo un área total de 898,308.93 ha (Figura 2) tomando en cuenta los tres potenciales, comparándolo con la zonificación actual (2013). Se pierden 89,493.0 ha que representa el 9.05% del total de 2013, debido a que la temperatura aumentará 1.5 °C por lo tanto se compensó ajustando la altitud para los tres niveles: Alto; 2201 – 2800, Moderado; 1901 - 2200 y 2801 – 3100 y Poco; 1601 - 1900 y 3101 – 3400.

La simulación para el año 2060 se obtuvo un área total de 781,930.82 ha (Figura 3) del resultado de las tres aptitudes se comparó con la zonificación actual (2013), en este caso, se pierden 205,871.13 ha de la especie, esto representa el 20.08% del total del 2013. La temperatura para ese año (2060) se calcula que aumentará a 2.3°C por lo que se ajustó a los tres niveles aptitud: Alto; 2301 – 2900, Moderado; 2001 – 2300 y 2901 – 3200 y Poco; 1701 – 2000 y 3201 – 3500.

La simulación para el año 2090 se obtuvo un total de 687,601.04 hectáreas de *Pinus oaxacana* (Figura 4) del resultado de los tres niveles de aptitud. Se comparó con la zonificación actual (2013) se pierden 300,200.92 hectáreas que representa el 30.4 % del total. La temperatura para ese año (2090) se calcula que aumentará un 3.7° C por lo que se ajustó la altitud para los tres niveles de aptitud: Alta; 2401 – 3000, Moderada; 2101 – 2400 y 3001 – 3300 y Poca; 1801 – 2200.

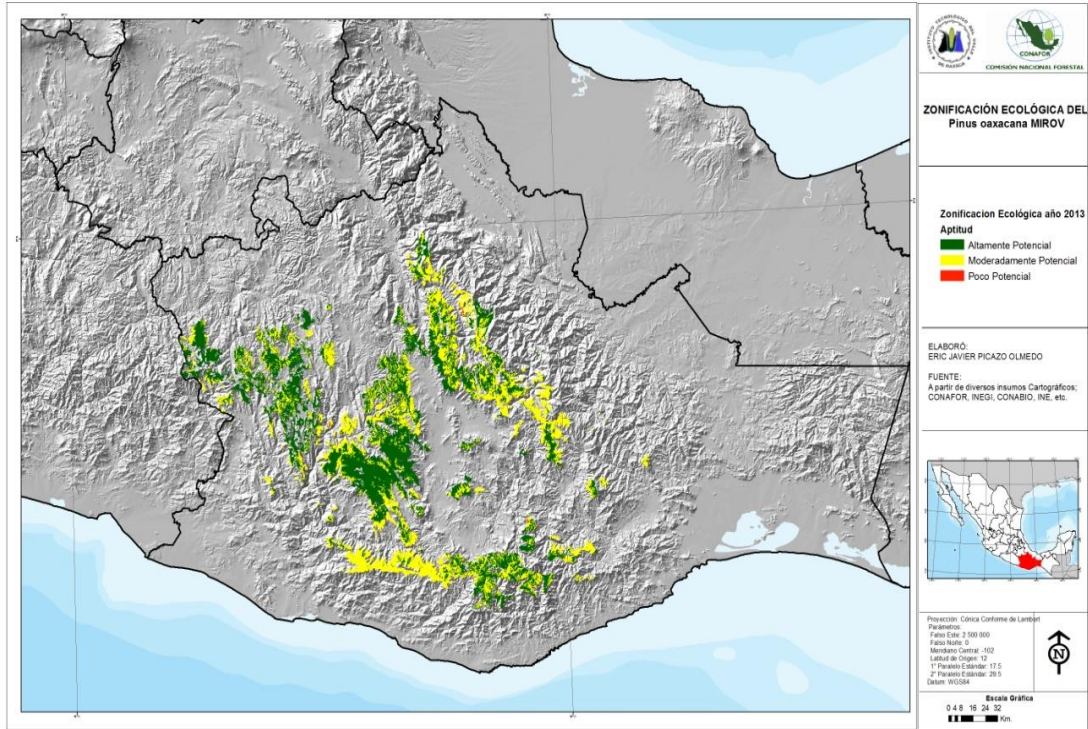


Figura 1. Zonificación actual de *Pinus oxacana* Mirov en el estado de Oaxaca.

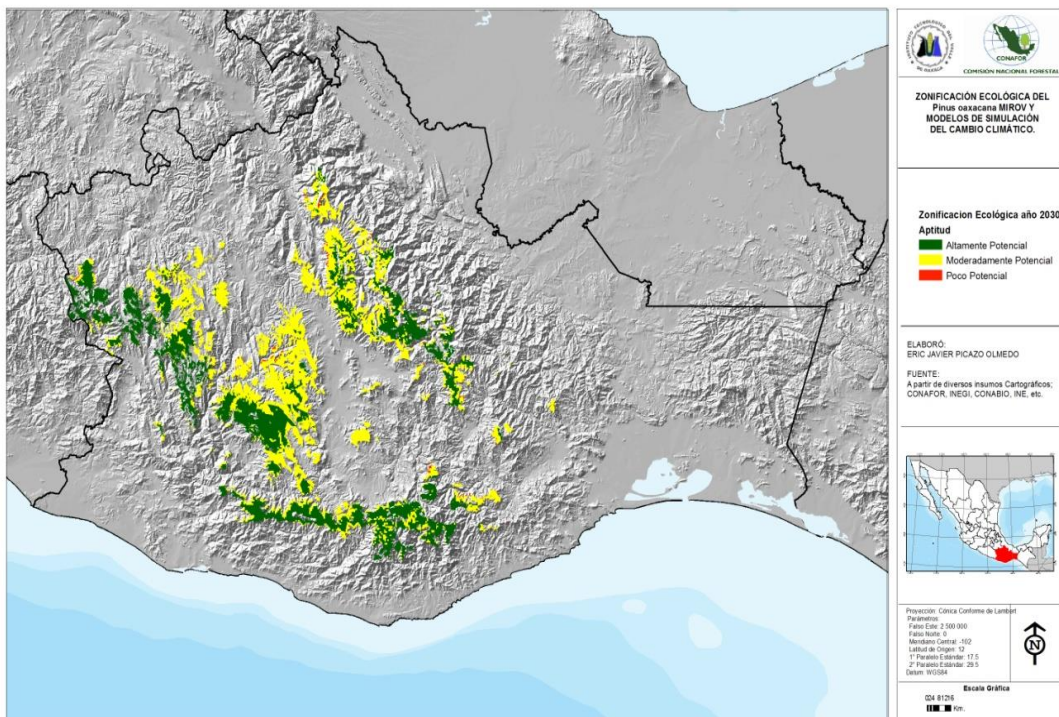


Figura 2. Simulación de la zonificación de *Pinus oxacana* Mirov, año 2030.

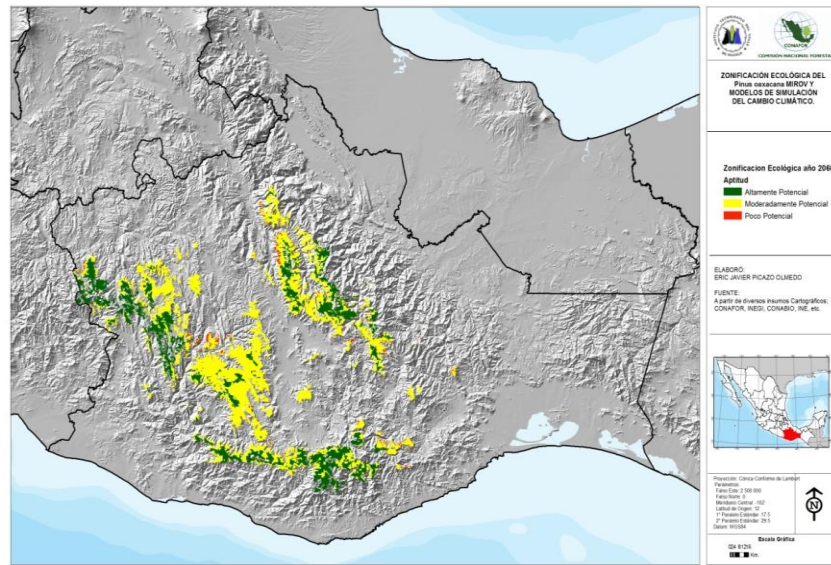


Figura 3. Simulación de la zonificación de *Pinus oxacana* Mirov, año 2060.

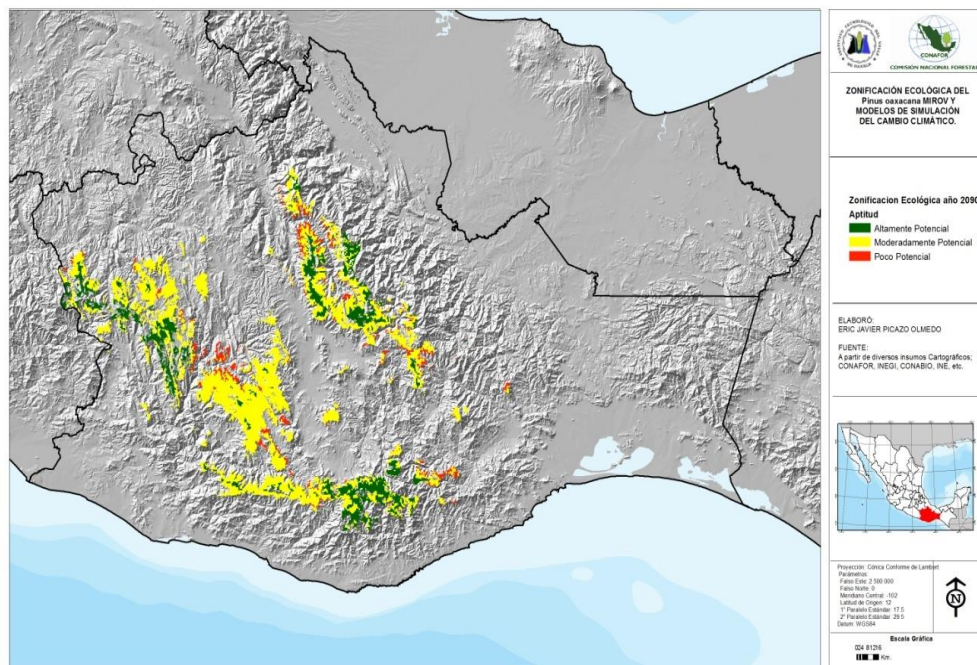


Figura 4. Simulación de la zonificación de *Pinus oxacana* Mirov, año 2090.

DISCUSIÓN

Debido al aumento de temperatura y disminución de la precipitación para los próximos años se reducirá el área natural del *Pinus oaxacana* Mirov. En Términos generales, el clima que ocurre actualmente en un sitio montañoso acontecerá a mayor altitud y el cambio climático en México significará aumento de la temperatura y disminución de la precipitación (Sáenz-Romero *et al.*, 2010).

De acuerdo con la simulación de los años 2030 (pérdida de 89,493.0 ha, 9.05 % del total), 2060 (pérdida de 205,871.13 ha. 20.08 % del total) y 2090 (pérdida de 300,200.92 ha, 30.4 % del total), por lo que a la especie se le va a poder encontrar en lugares más altos debido a que migrará a lugares con mayor altitud en donde existan los requerimientos ecológicos para su desarrollo, reduciéndose el área de altamente potencial a moderadamente y poco potencial. Sáenz-Romero *et al.* (2012) encontraron que en el caso de *Abies religiosa*, se espera una pérdida del hábitat climático propicio de 69.2 % en la década centrada en 2030, de 87.6 % en 2060 y 96.5 % en 2090.

Lo anterior es de vital importancia ya que el *Pinus oaxacana* es una especie prioritaria por ser de importancia económica y por estar cercana o dentro de un área prioritaria o potencial, lo cual obliga a plantear de manera urgente muchas investigaciones sobre Ensayos de Procedencias y Progenies, con el fin de fomentar la migración asistida y mecanismos de conservación de recursos genéticos forestales tanto *in situ* como *ex situ*, por lo que es más que indispensable realizar simulaciones del efecto del cambio climático en la Zonificación Ecológica de las Especies Forestales Prioritarias (García y Sierra, 2014).

CONCLUSIONES

La especie *Pinus oaxacana* Mirov en la zonificación actual (2013) ocupa una área que representa el 10.5% de la superficie total del estado de Oaxaca, ubicándose el área en las serranías del estado. Pero debido al aumento de la temperatura y disminución de la precipitación en los años venideros habrá sin duda cambios significativos de la especie así como en su hábitat donde posiblemente llegue a desaparecer o migrar a nuevas áreas en donde se pueda desarrollar mejor. La superficie ocupada por la especie en 2013, irá disminuyendo 9.05 % en 2030, 20.8% en 2060 y 30.4 % 2090.

LITERATURA CITADA

- Bishop J. y N. Landell-Mills. 2007. Los servicios ambientales de los bosques. *In:* La venta de servicios ambientales forestales. Pagiola S., J. Bishop y N. Landell-Mill (compiladores). SEMARNAT-INE. pp. 47-74.
- Conde A., A.C. y G. C. Gay. 2008. Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. 104 p.
- De la Isla de B., M. de L. 2002. Deterioro/Preservación ambiental y agricultura. Colegio de Postgraduados-Instituto de Recursos Naturales. México. 140 p.
- Del Castillo, R. F., J.A. Pérez-de la Rosa, G. Vargas-Amado y R. Rivera-García. 2004. Coníferas. En: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca.

- Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-Word Wildlife Fund, México. pp. 141-158.
- Farjon, A., Pérez de la Rosa J.A. y B. Styles T. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew-Universidad de Oxford. London. 151 p.
- Farjon, A. y B. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotrópica. Monograph 75. The New York Botanical Garden. Bronx, New York, USA. 291 p.
- García, C. Y. y A.E. Sierra V. 2010. Manual de zonificación ecológica de especies forestales y aplicación de modelos de simulación del efecto de cambio climático. CONAFOR. 104 p.
- García, C. Y. y A.E. Sierra V. 2014. Manual de zonificación ecológica de especies forestales y aplicación de modelos de simulación del efecto de cambio climático 2014-2018. CONAFOR. 135 p.
- García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas. 2004. Introducción. En: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-Word Wildlife Fund, México, pp. 43-54.
- Krupa, S.V. 1999. Polución, población y plantas. Versión en español Maria de Lourdes de la Isla de Bauer. Colegio de Postgraduados. México. 184 p.
- López, L. D. 2011. Evaluación de plantaciones de *Pinus oaxacana* Mirov establecidas en la Mixteca oaxaqueña. Residencia Profesional. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Nazareno, Oaxaca. 80 p.
- Maldonado, R. F. 1984. Índice de sitio y modelos de crecimiento para *Pinus oaxacana* Mirov de la región “Los Coatlán”, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 65 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Editorial Botas. México, D.F. 361 p.
- Ortíz-Pérez, M.A., J.R. Hernández Santana y J.M. Figueroa Mah-Eng. 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. En: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-Word Wildlife Fund, México, pp. 43-54.
- Perry, J.P. 1991. The pines of México and Central América. Timber Press, Inc. Portland, Oregon, USA. 231 p.
- Ramírez L., A., H. Navarro G., A. Pérez O. y V.M. Cetina Á. 2011. Experiencia organizativa para la deforestación con *Pinus oaxacana* Mirov en suelos degradados de la Mixteca Oaxaqueña. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2(112): 57-69.
- Sáenz-Romero, C., G.E. Rehfeltd, N.L. Crookston, P. Duval, R. St-Amant, J. Beaulieu and Richardson, B.A. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102:595-623.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeltd, P. Duval and R.A. Lindig-Cisneros. 2012. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management* 275: 98–106.
- SEMARNAT-Hombre Naturaleza. 2004. Saber para proteger. Introducción a los servicios ambientales. México. 71 p.
- Torres-Colín, R. 2004. Tipos de vegetación. En: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-Word Wildlife Fund, México, pp. 105-117.

- Trejo, I. 2004. Clima. En: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-Word Wildlife Fund, México, pp. 67-85.
- Voguel M., E. y R. de Alba U. Contaminación atmosférica. *In: Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. Enkerlin E.C., G. Cano, R. A. Garza y E. Voguel (Eds.). International Thomson Editores. México. pp. 385-399.
- Zamora, M. P. 2009. Zonificación ecológica de especies forestales y establecimiento de UPGF'S en el estado de Oaxaca, Región V: Pacifico Sur Oaxaca- Guerrero. Comisión Nacional Forestal. 33 p.