



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.813>

Artículo

## Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México

### Potential of restoration of coniferous forests from germplasm transfer zones in Mexico

Andrés Flores<sup>1\*</sup>, Martín Enrique Romero-Sánchez<sup>1</sup>, Ramiro Pérez-Miranda<sup>1</sup>,  
Tomás Pineda-Ojeda<sup>2</sup> y Francisco Moreno-Sánchez<sup>1</sup>

#### Abstract

Forest land restoration requires data related to the number of seedlings produced and the level of soil degradation. Decision makers need to know the efforts of the national reforestation program as a driver of ecosystem restoration in Mexico. To assess the restoration potential of conifer forests and reduce land degradation by Germplasm Movement Zones (GMZ), priority zones for restoration were compared with areas that possess most effective restoration efforts: survival rate of planted seedlings, number of nurseries (N), Germplasm Production Units (GPU) and Germplasm Banks (GB) with data from Conafor corresponding to the 2016-2018 period. It was found that 27 GMZ had 7 418 975.30 ha of low-production forest land as priority areas and 9 389 577.70 ha of forest land with medium and low degradation. According to the variables used in the comparative analysis, eight GMZ (XII.4, XII.5, X.3, X.2, XII.1, V.3, XII.2, and XV.1) were identified as restoration potential zones because their priority areas could be totally reforested by using *Pinus* and *Abies* species.

**Key words:** *Abies*, *Callitropsis*, Conafor, soil degradation, *Pinus*, *Taxodium*.

#### Resumen

La restauración de tierras forestales requiere datos relacionados con el número de plántulas producidas y el nivel de degradación del suelo. Los tomadores de decisiones necesitan saber cuáles son los esfuerzos del programa nacional de reforestación como impulsor de la restauración de ecosistemas en México. Para evaluar el potencial de restauración de los bosques de coníferas y reducir la degradación de tierra en Zonas de Movimiento de Germoplasma (ZMG), se compararon zonas prioritarias para la restauración con los esfuerzos de reforestación más efectivos: porcentaje de sobrevivencia de plántulas plantadas, número de viveros (N), unidades de producción de germoplasma (UPG) y bancos de germoplasma (BG); para ello, se usó la base de datos de la Conafor correspondiente al periodo de 2016 a 2018. Se determinó que 27 ZMG tenían tierras forestales como áreas prioritarias: 7 418 975.30 ha de baja producción y 9 389 577.70 ha de degradación media y baja. De acuerdo con las variables utilizadas en el análisis comparativo, se identificaron ocho ZMG (XII.4, XII.5, X.3, X.2, XII.1, V.3, XII.2 y XV.1) como zonas de mayor potencial para la restauración, debido a que sus áreas prioritarias podrían ser reforestadas totalmente con especies de *Pinus* y *Abies*.

**Palabras clave:** *Abies*, *Callitropsis*, Conafor, degradación del suelo, *Pinus*, *Taxodium*.

Fecha de recepción/Reception date: 6 de diciembre de 2019  
Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de octubre de 2020

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. México.

<sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México, CIR-Centro. INIFAP. México.

\*Autor por correspondencia; correo-e: flores.andres@inifap.gob.mx

## Introducción

Los ecosistemas terrestres proporcionan una gran cantidad de servicios ecosistémicos a la humanidad, como alimentos, forraje, fibra, combustible y productos forestales maderables. La demanda de productos y servicios de la tierra está degradando los ecosistemas. Alrededor de un tercio de la tierra cultivable del mundo es afectada por la degradación, que tiene como consecuencia el aumento del número de personas en situación de pobreza en los países en vías de desarrollo (Boer *et al.*, 2017).

La degradación de los suelos es un grave problema a nivel mundial para muchas comunidades y se relaciona con la inseguridad alimentaria, la vulnerabilidad al cambio climático y la pobreza (Barbier y Hochard, 2016). Esta degradación se presenta en varias formas, incluidos el agotamiento de los nutrientes del suelo, la salinización, la contaminación agroquímica, la erosión del suelo, la degradación vegetativa (p. ej., deforestación) como resultado del sobrepastoreo y la tala de bosques para su empleo como tierras de cultivo (Scherr y Yadav, 2001).

La deforestación es un gran problema para los países en desarrollo ya que causa pérdida de la biodiversidad y favorece el aumento del efecto invernadero (Hein *et al.*, 2018). La mayoría de las áreas deforestadas ocurren en las zonas templadas y subtropicales (Angelsen *et al.*, 1999).

En todo el mundo, hay varias causas identificadas como los principales impulsores de la deforestación: expansión de tierras agrícolas, tala y obtención de leña, sobrepastoreo, incendios, minería, urbanización, conflictos bélicos y turismo (Chakravarty *et al.*, 2012). Todas estas deben atenderse por cada país para disminuir sus impactos. La deforestación conlleva algunos problemas que afectan globalmente a los recursos naturales y a la población (Chakravarty *et al.*, 2012): cambio climático, pérdida del suelo y de los recursos hídricos, inundaciones, disminución de la biodiversidad, pérdidas de hábitat económicas, además de consecuencias sociales. Existen algunas estrategias esenciales para reducir la deforestación, varían según la región y el tiempo (Hein *et al.*, 2018).

En México, los bosques templados se extienden en un área de alrededor de 323 305 km<sup>2</sup> (aproximadamente 17 % del país), proporcionan recursos maderables y no maderables, además albergan especies esenciales para su biodiversidad (Galicia *et al.*, 2015). Sin embargo, estos ecosistemas se han reducido en casi 45 % del país, debido al aumento de la degradación de la tierra (Semarnat-Colegio de Postgraduados, 2002). Las proyecciones nacionales para las tasas de deforestación han variado de 260 000 a 1 600 000 ha año<sup>-1</sup> en las últimas tres décadas, según el registro de estudios académicos e informes oficiales (Couturier *et al.*, 2012).

Las principales causas de la deforestación en México son el cambio en el uso de la tierra para la agricultura (82 %), la tala ilegal (8 %), así como los incendios forestales y las enfermedades (6 %) (Goldstein *et al.*, 2011). La respuesta del gobierno ha sido legislar y establecer programas de políticas públicas (Goldstein *et al.*, 2011; Cotler *et al.*, 2013), como las de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa), programas de certificación forestal, esfuerzos de forestación y reforestación, la creación de áreas naturales protegidas y programas de pago por servicios ambientales. Sin embargo, algunos otros programas han favorecido o incentivado la deforestación, entre ellos: Procampo y Alianza para el Campo, ya que promueven las actividades agrícolas a costa de disminuir las áreas forestales (Schmook y Vance, 2009).

La Comisión Nacional Forestal de México (Conafor) estableció las Zonas de Movimiento de Germoplasma (ZMG), equivalentes a las zonas de semillas, definidas como áreas con características ecológicas y climáticas similares que albergan poblaciones con genotipos o fenotipos relativamente uniformes (Flores *et al.*, 2014), para reducir el movimiento de germoplasma fuera de su distribución natural. Esta zonificación ayuda a incrementar el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas establecidas en el campo, el cual es afectado cuando las especies se plantan fuera de su distribución local; por lo que presentan altas tasas de mortalidad, y una mala adaptación a diferentes condiciones de crecimiento (Rehfeldt *et al.*, 2014). A pesar de que se han definido estas zonas, todavía hay un movimiento de germoplasma entre las ZMG que incide en el crecimiento de las plantas y su diversidad.

El programa de reforestación en México es una estrategia permanente para recuperar y aumentar las áreas forestales y reducir la degradación de las tierras forestales; por ejemplo, en 2020 se reforestaron 100 000 ha (FAO, 2020). Sin embargo, el principal problema es el bajo porcentaje de sobrevivencia de las plántulas (Burney *et al.*, 2015) que está asociada a una mala calidad de las plántulas (Escobar-Alonso y Rodríguez, 2019). Los bajos porcentajes de sobrevivencia ocasionan que no se cumplan las metas de los trabajos de reforestación, los cuales buscan restaurar y conservar los bosques del país.

A pesar de los esfuerzos para restaurar los bosques, en ninguno se han considerado las zonas degradadas actuales; es decir, el nivel de degradación, ni el número de plántulas producidas en viveros por zona ecológica o ZMG. La primera es un área con formaciones amplias de vegetación natural, pero relativamente homogéneas, similares en fisonomía aunque no necesariamente idénticas (FAO, 2001). Para proponer una estrategia nacional de restauración, es necesario evaluar y utilizar esa información. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial de restauración de los bosques de coníferas para reducir la degradación de la tierra por ZMG, mediante la comparación de áreas prioritarias para la restauración, con los esfuerzos de reforestación más efectivos.

Al respecto, se plantearon las siguientes preguntas: 1) ¿La cantidad de plántulas varía entre las especies de coníferas producidas en los viveros?; 2) ¿El deterioro de la tierra que alberga a las coníferas es diferente en las distintas zonas de producción y zonas de restauración por ZMG?; 3) ¿El porcentaje de sobrevivencia de las plántulas varía para las coníferas por ZMG?; y 4) ¿El potencial de restauración de las coníferas es diferente dentro de cada ZMG?

Esta información es esencial para planificar las acciones de reforestación que se deben iniciar para la restauración de áreas con problemas de degradación del suelo, mediante el uso de coníferas.



## **Materiales y Métodos**

Se analizó el potencial de la restauración para reducir la degradación del suelo en las Zonas de Movimiento de Germoplasma (ZMG) de México (Conafor, 2016), con base en comparaciones entre áreas prioritarias (zonas de producción y zonas de restauración) con esfuerzos efectivos de reforestación (porcentaje de sobrevivencia de plántulas plantadas, número de viveros, unidades de producción de germoplasma y bancos de germoplasma).

Las zonas de producción son terrenos forestales que de acuerdo a la estructura y composición de la vegetación son objeto de aprovechamiento forestal (Semarnat, 2015); mientras que las zonas de restauración corresponden a las áreas forestales que presentan evidencias de degradación, con diferente grado de avance y que constituyen un riesgo debido a la pérdida del recurso forestal que pueden representar (Semarnat, 2015). Las unidades productoras de germoplasma son áreas establecidas en rodales naturales, plantaciones o viveros, con individuos pertenecientes a una especie forestal y seleccionados por su genotipo o fenotipo, que poseen bien identificada su procedencia; las cuales se usan para la producción de frutos, semillas o material vegetativo (Conafor, 2016).

A partir de los datos de la Conafor (2019a), se definieron los géneros y especies de coníferas más producidos, y sus valores medios de plántulas totales plantadas de 2016 a 2018. Esta base de datos tiene información de programas de reforestación y conservación a nivel nacional, que se utiliza anualmente para escribir los informes gubernamentales. Se eligieron los taxones de coníferas porque cubren la mayor parte de las ZMG y producen diferentes servicios para la población; por ejemplo, servicios ambientales, producción de madera (Díaz-Núñez *et al.*, 2016) y almacenamiento de carbono orgánico (INECC, 2015).

Con base en la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, correspondiente al período 2004 a 2007 (Conafor, 2017). Se estimaron las superficies de las zonas de producción y de restauración con los mapas de producción y restauración de la Conafor (2020). Esta institución clasificó seis tipos de productividad de tierras forestales: Terrenos forestales de alta producción (II.A); Terrenos forestales de mediana producción (II.B); Terrenos forestales de

baja producción (II.C); Terrenos en zonas áridas (II.D); Terrenos para reforestación (II.E); y Terrenos para actividades forestales (II.F). Además de, cinco tipos de degradación del suelo: Tierras forestales con alta degradación del suelo (III.A); Tierras forestales con erosión severa (III.B); Tierras forestales con degradación media (III.C); Tierras forestales con baja degradación (III.D); y Tierras forestales degradadas con gestión para restauración (III.E). De ellas, se eligieron: II.C, y III.C y III.D como áreas prioritarias, porque podrían restaurarse en poco tiempo (Flores *et al.*, 2019b).

Para evaluar los esfuerzos efectivos de reforestación en cada ZMG, se utilizó el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas definido por la Conafor (2010); así como el número de viveros establecidos (N), Unidades de Producción de Germoplasma (UPG) definidas y los bancos de germoplasma (BG) instalados, según los registros de la Conafor. Se utilizó esta información porque en ella se apoya, directamente, la producción de plántulas de coníferas en el país. En cada ZMG, se estimó el área susceptible de reforestarse con 1 100 plantas ha<sup>-1</sup>, y el porcentaje medio de sobrevivencia a partir de sus porcentajes registrados (Conafor, 2010). Las ZMG con un alto porcentaje de sobrevivencia de plántulas plantadas y la mayor cantidad de N, UPG y BG se consideraron como las zonas con los esfuerzos de reforestación más efectivos.

Finalmente, se compararon las áreas prioritarias para la restauración con las zonas que poseían los esfuerzos de reforestación más efectivos, para definir las zonas con potencial de la restauración.

## **Resultados**

### **Especies de coníferas y áreas prioritarias**

Se determinó que *Pinus*, *Abies Callitropsis*, *Cupressus* y *Taxodium* fueron los principales géneros producidos en viveros del 2016 al 2018, particularmente *Pinus* con 21 especies; *Abies*, una, *Callitropsis*, una; *Cupressus*, una; y *Taxodium*, una. El género *Pinus* fue el más importante, porque tuvo 99.37 % (112 722 060

plántulas) de la producción total; seguido de *Abies* con 0.61 % (697 533 plántulas); *Callitropsis*, 0.01 % (11 667 plántulas); *Taxodium*, 0.01 % (8 000 plántulas); y *Cupressus* menos de 0.01 % (313 plántulas). Para los pinos, siete especies (*Pinus cembroides* Zucc., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. oocarpa* Schiede ex Schltld., *P. devoniana* Lindl., *P. engelmannii* Carrière, *P. montezumae* Lamb. y *P. greggii* Engelm.) sumaron 76.36 % de la producción total (Cuadro 1), y fueron los más utilizados en la reforestación de diversas áreas.

**Cuadro 1.** Plántulas de coníferas producidas en México en el periodo 2016 - 2018.

Especies	Producción de plántulas por año			
	2016	2017	2018	Media
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	21 255 465	22 517 497	18 855 651	20 876 203
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	16 591 232	20 101 970	14 321 405	17 004 869
<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltld.	12 685 000	14 827 111	12 796 008	13 436 040
<i>P. devoniana</i> Lindl.	12 267 395	13 270 311	9 004 483	11 514 063
<i>P. engelmannii</i> Carrière	9 354 850	10 037 175	9 269 549	9 553 858
<i>P. montezumae</i> Lamb.	10 325 600	10 455 847	6 982 449	9 254 632
<i>P. greggii</i> Engelm.	8 677 500	8 863 885	7 600 432	8 380 605
<i>P. hartwegii</i> Lindl.	3 954 287	4 543 802	3 071 176	3 856 422
<i>P. patula</i> Schiede ex Schltld. et Cham.	4 645 153	4 005 461	2 709 233	3 786 616
<i>P. arizonica</i> (Engelm.) Shaw	3 513 900	3 531 166	3 122 813	3 389 293
<i>P. douglasiana</i> Martínez	3 441 500	2 966 698	1 515 512	2 641 236
<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltld. et Cham.	2 529 590	2 148 060	1 741 061	2 139 571
<i>P. ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.	2 124 447	2 253 893	1 961 985	2 113 442
<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltld. et Cham.	2 534 000	1 659 745	1 714 405	1 969 384
<i>P. durangensis</i> Martínez	1 543 750	1 789 974	1 286 617	1 540 114
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltld. et Cham.	797 315	957 200	338 085	697 533
<i>P. lawsonii</i> Roehl ex Gordon	600 000	500 000	514 000	538 000
<i>P. chiapensis</i> (Martínez) Andresen	950 000	340 000	252 140	514 046
<i>P. maximinoi</i> H. E. Moore	300 000	0	150 000	150 000
<i>P. jeffreyi</i> Balf.	55 000	75 000	40 000	56 667
<i>Callitropsis arizonica</i> (Greene) D. P. Little	0	2 000	33 000	11 667
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	10 000	10 000	4 000	8 000
<i>P. maximartinezii</i> Rzed.	0	0	15 000	5 000
<i>P. quadrifolia</i> Parl. ex Sudw.	6 000	0	0	2 000
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	500	0	440	313
Total	118 172 484	124 856 795	97 299 444	113 442 908

Fuente: Conafor (2019a).

Se determinó que 27 zonas ZMG albergaban las especies producidas en viveros, además tenían menos áreas prioritarias II.C que III.C y III.D; específicamente, cuatro ZMG presentaban de 16 a 20 taxones, ocho de 11 a 15, cinco de seis a 10 y diez de uno a cinco (Cuadro 2). Seis zonas (III.1, III.2, III.4, III.3, XII.3, V.1) registraron 75.26 % de las áreas de Tierra Forestal con la producción más baja (5 583 604.98 ha); mientras que 21 zonas tenían apenas 24.74 % (1 835 370.32 ha). También, se obtuvieron cinco ZMG (III.1, III.2, IV.1, III.3, V.1) con 74.60 % de Tierras Forestales con degradación media y baja (7 004 954.96 ha), pero 22 zonas tenían solo 25.40 % (2 384 622.74 ha). Asimismo, dos zonas representaron 42.54 % del área total con II.C, III.C y III.D.

**Cuadro 2.** Especies y áreas prioritarias en México por ZMG.

ZMG	Especies <sup>1</sup>	Áreas prioritarias (ha) <sup>+</sup>	
		(II.C)	(III.C y III.D)
I.1	Pce, Pje, Pqu	116 107.41	86 110.66
I.2	Pce	196 881.36	43 588.40
III.1	Pce, Are, Car, Pay, Par, Pdo, Pdu, Pen, Ple, Poo, Pps, Pte	1 768 847.03	2 327 879.91
III.2	Pce, Are, Car, Pay, Par, Pch, Pde, Pdo, Pdu, Pen, Ple, Pma, Poo, Pps, Pte	1 388 616.84	1 665 144.76
III.3	Pce, Pay, Par, Pch, Pde, Pdo, Pdu, Pen, Ple, Pma, Poo, Pps, Pqu, Pte	765 137.93	1 022 176.48
III.4	Pce, Pay, Par, Pde, Pdo, Pdu, Pen, Ple, Pma, Pmm, Poo, Pps, Pte	837 030.14	301 375.50
IV.1	Pce, Pde	77 513.00	1 252 324.67
V.1	Pce, Car, Par, Pen, Ple, Pqu, Pte	222 136.23	737 429.14
V.2	Pce, Car, Par	113 026.44	390 801.00
V.3	Pce, Car, Pay, Par, Pch, Pde, Pen, Pgr, Pha, Pmo, Poo, Ppa, Pps, Pqu, Pte, Tmu	205 329.70	463 612.09
VIII.1	Pps, Tmu	133 563.38	288 376.53
VIII.3	Pps	9 713.93	111 754.80
VIII.4	Pte	977.06	8 735.48
IX.2	Pce, Pay, Pde, Pdu, Pte	95 816.63	71 800.57

X.1	Pce, Are, Pde, Pdo, Pdu, Pen, Pha, Ple, Pma, Poo, Pps, Pte	145 822.67	203 923.04
X.2	Are, Pde, Pha, Pla, Ple, Pmo, Poo, Ppa, Pps, Pte	133 071.64	13 881.94
X.3	Pce, Are, Pay, Pch, Pde, Pdo, Pdu, Pgr, Pha, Pla, Ple, Pma, Pmo, Poo, Ppa, Pps, Pte, Tmu	163 041.67	114 867.96
XII.1	Are, Pay, Pde, Pdo, Pen, Pha, Pla, Ple, Pma, Pmo, Poo, Ppa, Pps	18 300.56	4 778.01
XII.2	Pay, Pch, Pde, Pdo, Pha, Pla, Pma, Pmm, Poo, Pps, Pte	52 711.91	13 317.33
XII.3	Pce, Are, Cse, Pay, Pch, Pde, Pdo, Pdu, Pgr, Pha, Pla, Ple, Pma, Pmm, Pmo, Poo, Ppa, Pps, Pte, Tmu	601 836.81	134 822.56
XII.4	Are, Pay, Pde, Pdo, Pen, Pha, Pla, Ple, Pma, Pmm, Pmo, Poo, Ppa, Pps, Pte	92 642.28	26 388.95
XII.5	Pce, Are, Pay, Pch, Pde, Pdo, Pha, Pla, Ple, Pma, Pmm, Pmo, Poo, Ppa, Pps, Pte	127 157.04	20 193.11
XIII.1	Poo, Pps	39 905.21	21 037.32
XIV.1	Pce, Pay, Pde, Pma, Pmo, Poo, Pps, Pte	86 038.32	41 522.77
XIV.2	Pde, Pma, Pmm, Pmo, Poo, Pps, Pte	8 724.39	10 468.94
XIV.3	Poo	2 100.00	138.17
XV.1	Pde, Pdo, Pma, Pmm, Poo, Pps, Pte, Tmu	16 925.72	13 127.61
Total		7 418 975.30	9 389 577.70

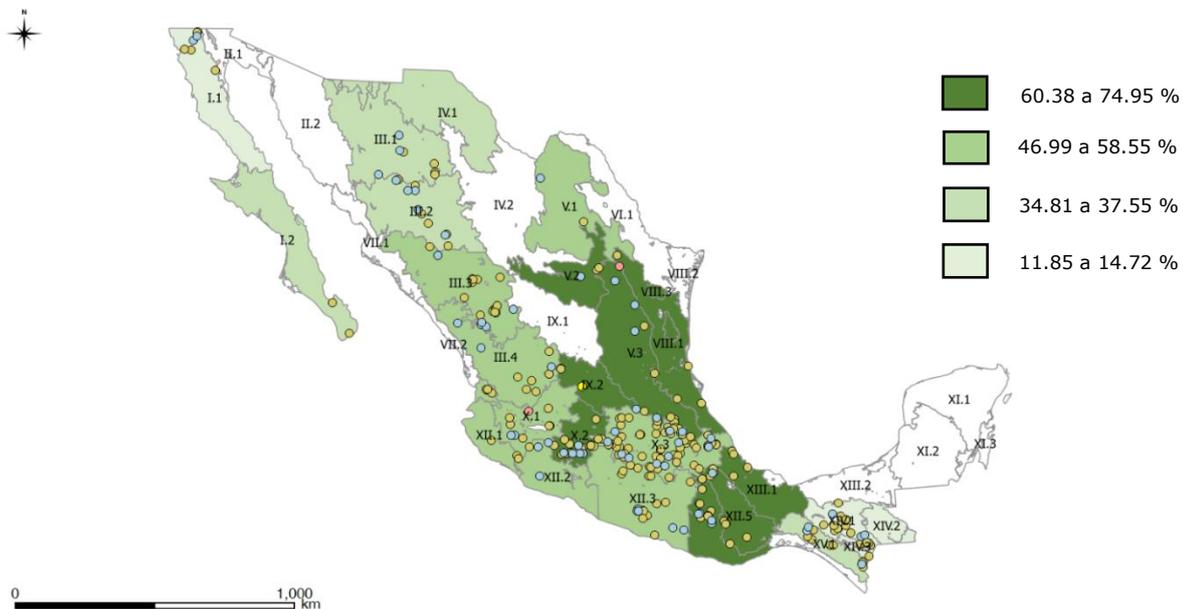
Fuente: Conafor (2020).

¶: Are = *Abies religiosa*, Car = *Callitropsis arizonica*, Cse = *Cupressus sempervirens*, Pay = *Pinus ayacahuite*, Par = *P. arizonica*, Pce = *P. cembroides*, Pch = *P. chiapensis*, Pde = *P. devoniana*, Pdo = *P. douglasiana*, Pdu = *P. durangensis*, Pen = *P. engelmannii*, Pgr = *P. greggii*, Pha = *P. hartwegii*, Pje = *P. jeffreyi*, Pla = *P. lawsonii*, Ple = *P. leiophylla*, Pma = *P. maximinoi*, Pmm = *P. maximartinezii*, Pmo = *P. montezumae*, Poo = *P. oocarpa*, Ppa = *P. patula*, Pps = *P. pseudostrobus*, Pqu = *P. quadrifolia*, Pte = *P. teocote*, Tmu = *Taxodium mucronatum*;

‡ II.C = Terrenos forestales de baja producción, III.C y III ;D = Tierras forestales con media y baja degradación.

## Esfuerzos efectivos de reforestación

Para los porcentajes de sobrevivencia de plántulas por ZMG, se identificaron 10 zonas con valores de 60.38 a 74.95 %; ocho de 46.99 a 58.55 %; cinco de 34.81 a 37.55 %; y cuatro de 11.85 a 14.72 % (Figura 1).



**Figura 1.** Porcentajes de sobrevivencia (colores verdes) y viveros (círculos amarillos), unidades de producción de germoplasma (círculos azules) y bancos de germoplasma (círculos rosados) en las ZMG.

*Pinus oocarpa* varió en todos los porcentajes de sobrevivencia, mientras que *P. pseudostrobus* y *P. teocote* fueron los pinos de mayor frecuencia con porcentajes de sobrevivencia más altos, medios y bajos; *P. devoniana* se presentó con mayor frecuencia en porcentajes altos y medios; en cambio, *P. ayacahuite*, *P. cembroides*, *P. devoniana*, *P. douglasiana*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. maximinoi* tuvieron porcentajes medios; y *P. cembroides*, *P. douglasiana* registraron valores bajos.

Con respecto al número de viveros, una zona tuvo la mayoría de ellos (72), cinco presentaron una cantidad considerable (13 a 19), en 17 zonas tuvieron pocos (1 a 8) y en cuatro zonas no hubo (Cuadro 3). Para las UPG, a una zona le correspondió

la mayoría de las unidades establecidas (14); mientras que, en 17 zonas se consignaron de una a seis; y nueve zonas sin UPG. Por otro lado, siete zonas tuvieron muy pocos BG (1 a 5) y 20 zonas carecieron de bancos de germoplasma (Figura 1, Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Número de viveros, unidades productoras de germoplasma y bancos de germoplasma por ZMG.

<b>ZMG</b>	<b>Viveros</b>	<b>UPG</b>	<b>BG</b>
I.1	5	2	-
I.2	2	-	-
III.1	5	3	-
III.2	5	6	-
III.3	15	6	1
III.4	7	3	-
IV.1	-	-	-
V.1	1	1	-
V.2	2	1	-
V.3	8	5	1
VIII.1	4	-	-
VIII.3	-	-	-
VIII.4	-	-	-
IX.2	2	1	-
X.1	17	3	2
X.2	16	5	1
X.3	72	14	5
XII.1	1	-	-
XII.2	1	2	-
XII.3	13	5	-
XII.4	7	4	-
XII.5	7	1	1
XIII.1	4	-	-
XIV.1	19	3	-
XIV.2	-	-	-
XIV.3	2	-	-
XV.1	8	3	-

UPG = Unidad Productora de Germoplasma; BG = Banco de Germoplasma.

## Zonas con potencial de restauración

Ocho ZMG (XII.4, XII.5, X.3, X.2, XII.1, V.3, XII.2 y XV.1) se detectaron como zonas con potencial de restauración debido a que podrían ser totalmente reforestadas; de ellas la zona X.3 tuvo mayor número de viveros, UPG y BG. Además, una zona presentó áreas de baja producción (X.1) y otra con áreas de degradación media y baja (XII.3) que son susceptibles de restaurarse por completo. Cuatro zonas se consideraron con la capacidad de restaurar entre 18.14 y 29.15 % de sus áreas (XIV.2, XIV.1, III.3 y III.4), y en ellas existe un número significativo de viveros y UPG. En las zonas III.2, III.1 y IX.2 es factible restaurarse de 3.44 a 8.58 % por ciento de su área, debido a que en ellas se registraron los porcentajes de sobrevivencia más bajos, así como pocos viveros y BG. En las últimas 10 zonas, solo es posible restaurar menos de 3 % del área, ya que, desafortunadamente, tienen pocos viveros y UPG, sin BG.

## Discusión

En la presente investigación se evaluó el potencial de algunas coníferas mexicanas para reducir la degradación de las tierras forestales en las ZMG, a través del programa de reforestación; con el fin de ser una base para la implementación de una estrategia de restauración para los bosques templados. Los resultados de este estudio mostraron que la cantidad de plántulas producidas en viveros, la degradación de la tierra y el porcentaje de sobrevivencia fueron diferentes para las coníferas seleccionadas, y su potencial de restauración varía entre las ZMG. En consecuencia, durante el proceso de reforestación en las ZMG, las especies estudiadas podrían restaurar muchas tierras forestales con degradación media (III.C) y baja (III.D).

*Pinus*, *Abies*, *Callitropsis*, *Cupressus* y *Taxodium* fueron los principales géneros utilizados en viveros y en programas de reforestación. *Pinus* fue el más producido durante el periodo de 2016 a 2018; mientras que las cifras más bajas le correspondieron a *Taxodium*; *Abies*, *Cupressus* y *Callitropsis* se produjeron poco.

La cantidad de plántulas en viveros depende de la semilla disponible y recolectada en rodales de los estados (Conafor, 2019b).

Las especies de *Pinus* son las más distribuidas en el país, comparadas con otras coníferas (Farjon y Filer, 2013); por lo tanto, han sido las más usadas por los viveristas. Por ejemplo *P. cembroides*, *P. oocarpa* y *P. pseudostrobus* se distribuyen a lo largo de diferentes cadenas montañosas templadas como bosques puros de coníferas y mixtos (Rzedowski, 1979; Flores *et al.*, 2011; Farjon y Filer, 2013; Flores *et al.*, 2019a) y son los más utilizados para la producción de plántulas. Por otro lado, algunos pinos son muy importantes para la obtención de madera (Sánchez-González, 2008), la industria del aserradero y la producción de resina (Fuentes *et al.*, 2006), así como para el establecimiento de plantaciones comerciales (López-Upton *et al.*, 2005); por lo tanto, se cultivan bastante en viveros cada año.

La degradación de la tierra (II.C, y III.C y III.D) varió entre las ZMG y presentó diferentes especies de coníferas; es decir, la productividad de las tierras forestales en II.C registró menos área de degradación, con 24 especies (excepto *P. jeffreyi*), que los tipos de degradación del suelo III.C y III.D con 16 especies (*Cupressus sempervirens*, *P. greggii*, *P. hartwegii*, *P. jeffreyi*, *P. lawsonii*, *P. maximartinezii*, *P. montezumae*, *P. patula*, *T. mucronatum* estuvieron ausentes). Esto demostró que las áreas de II.C pueden restaurarse en poco tiempo, pero necesitan una gran inversión; por ejemplo, entre el período 2002 a 2007, casi 157 653 ha año<sup>-1</sup> (27.85 % del área forestal nacional) fueron deforestadas en Chihuahua, Durango, Coahuila, Guerrero, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas y Tamaulipas (Masek *et al.*, 2011), y se ha requerido de grandes inversiones para su restauración.

Los esfuerzos realizados para la implementación del programa de reforestación han sido significativos en las áreas de restauración, pero aún son insuficientes para algunos estados, a pesar de que se han desarrollado desde 1999 actividades de reforestación y mejora del suelo (Ceccon *et al.*, 2015).

La tasa de reforestación en el país no es suficiente, se estima que para recuperar 43.5 millones de hectáreas de suelos degradados se deben reforestar 400 000 hectáreas por año e invertir alrededor de 68 millones de dólares estadounidenses,

pero el gobierno mexicano reforesta solo alrededor de 193 000 hectáreas por año (Ceccon *et al.*, 2015) e invierte 32 millones de dólares estadounidenses (Sánchez-Velásquez, 2009).

Los porcentajes de sobrevivencia de las coníferas evaluadas variaron entre las ZMG. La mayoría de las especies tuvieron diferentes valores de sobrevivencia; *P. pseudostrobus* y *P. teocote* fueron los de mayor frecuencia, con porcentajes de sobrevivencia más altos, medios y bajos. Esto muestra que las especies con altos porcentajes de sobrevivencia en el campo; por ejemplo, *P. cembroides* con 81 % (Gómez-Romero *et al.*, 2012); *P. pseudostrobus* con 86 a 62 % (Gómez-Romero *et al.*, 2013); *P. devoniana* con 71 % (Blanco-García *et al.*, 2008) presentan una alta producción de plántulas en viveros, y podrían usarse durante los trabajos de restauración. Las especies con producción media o baja también tienen un porcentaje de sobrevivencia importante, como lo indican Gómez-Romero *et al.* (2012) para *P. hartwegii* (89 a 82 %) y *P. devoniana* (80 %).

En la selección de especies para la producción en vivero, se debe considerar que sean tolerantes al déficit hídrico o incluso a la sequía, como es el caso de *P. cembroides*, la cual es resistente a las condiciones adversas de precipitación, suelo, heladas, sequías y altas temperaturas as Flores *et al.*, 2018; Gutiérrez-García *et al.*, 2015); ya que debido al cambio climático, probablemente, experimenten condiciones más secas y estrés hídrico durante su crecimiento en campo. Además, los taxones elegidos deben tener la capacidad de crecer en sustratos que limiten su establecimiento, como ocurre con *P. leiophylla*; taxón, cuyas plántulas alcanzan una altura significativa cuando se producen sobre sustrato de botín de mina; mientras que, *P. devoniana* tiene un crecimiento apreciable (Osuna-Vallejo *et al.*, 2017). Para las zonas erosionadas, la formación del suelo a través del uso de taxa de coníferas es otro aspecto que debe tenerse en cuenta para la selección de especies.

El potencial de restauración de las coníferas fue diferente dentro de las ZMG. Los resultados sugieren, claramente, que en un número relevante de zonas (ocho) podrían reforestarse sus áreas prioritarias, ya que tanto la producción de plántulas, como sus diferentes porcentajes de sobrevivencia, así lo indican. Al respecto, la cantidad de plántulas plantadas (1 100 plantas ha<sup>-1</sup>) con sus porcentajes de

sobrevivencia en el campo son suficientes para cubrir esas zonas; aunque, apenas representan 8.80 % del total de las áreas II.C, III.C y III. D.

*Pinus devoniana*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *P. halepensis*, *P. teocote*, *P. ayacahuite*, *P. douglasiana*, *P. lawsonii*, *P. maximinoi*, *P. montezumae*, *P. patula* y *A. religiosa* fueron los taxones con mayor presencia en las ZMG.

La propuesta de un programa de restauración para áreas degradadas requiere de la definición de diferentes densidades y especies que lo apoyen; por ejemplo: *P. pseudostrobus*, *P. engelmannii*, *P. montezumae*, *P. greggii*, *P. arizonica* y *P. durangensis* se pueden utilizar en conjunto para restaurar las áreas III.C y III.D (Flores *et al.*, 2019b).

La sobrevivencia de las plántulas es un factor importante por considerar cuando se realiza una reforestación. Para México, se estima que las áreas reforestadas alcanzan un promedio bajo (36 %) de sobrevivencia de plántulas (Wallace *et al.*, 2015) o medio (50 %) (Burney *et al.*, 2015), después de su primer año debido a la mala calidad de las plántulas y a la sequía. Por lo que, se sugiere utilizar plántulas de origen local en los proyectos de reforestación para aumentar el potencial de aclimatación (Sáenz-Romero y Guries, 2002) y reducir el riesgo de muerte por sequía.

La zona X.3 fue la más importante para el potencial de restauración, porque en ella existen muchos viveros, UPG y BG; esto muestra que X.3 tiene un buen esfuerzo del programa de reforestación (Flores *et al.*, 2019b).

Para los propietarios de los bosques, las coníferas son árboles interesantes para utilizarlos en las áreas de reforestación; así, en la región que rodea la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, su potencial de restauración ha sido un factor importante en la decisión de usarlas para reforestar parcelas agrícolas y bosques degradados (Honey-Rosés *et al.*, 2018). Con el propósito de promover las prácticas de conservación del suelo con taxones de coníferas, el gobierno ha implementado el Programa de Restauración y Conservación de Suelos Forestales, con el cual se paga un subsidio a los propietarios de las tierras. Esta acción pretende reducir 45 % de la degradación de la tierra estimada para el país (Semarnat-Colegio de Postgraduados, 2002).

En las áreas de restauración es necesario aumentar los esfuerzos del programa de reforestación (viveros, UPG y BG), además es obligatorio evitar las fallas de restauración; es decir, la alta mortalidad inicial, crecimiento deficiente y susceptibilidad a estresores bióticos y abióticos, debido al mal uso de la fuente y la calidad genética del material de reproducción forestal (Godefroid *et al.*, 2011). La atención adecuada a la calidad genética del germoplasma es importante para la restauración forestal que busca adaptar las especies arbóreas a las condiciones cambiantes (White *et al.*, 2007).

## Conclusiones

En las últimas décadas, la extensión de los bosques templados mexicanos se ha reducido debido al aumento de la degradación del suelo. El programa de reforestación es una estrategia constante para aumentar las áreas forestales y reducir la degradación de las tierras forestales con *Pinus*, *Abies*, *Callitropsis*, *Cupressus* y *Taxodium*. *Pinus cembroides*, *P. pseudostrobus*, *P. oocarpa*, *P. devoniana*, *P. engelmannii*, *P. montezumae* y *P. greggii* suman 76.36 % de la producción total en viveros durante el periodo analizado. Además, estos taxones se distribuyen en 27 ZMG, que tienen 7 418 975.30 ha de tierras forestales con baja producción (II.C) y 9 389 577.70 ha de tierras forestales con degradación media y baja (III.C y III.D).

En las ZMG, se identifican 10 zonas con valores más altos de porcentaje de sobrevivencia: ocho con valores medios, cinco con valores bajos y cuatro con valores más bajos. Con respecto al número de viveros, en una zona se presenta la mayoría de los viveros, en cinco hay una cantidad considerable, en 17 pocos y cuatro zonas sin este tipo de infraestructura.

Una zona tiene la mayor parte de las UPG establecidas, mientras que 17 zonas tienen pocas unidades y nueve zonas carecen de ellas. En siete zonas hay muy pocos BG y en 20 no existen. Ocho ZMG tienen potencial de restauración, ya que pueden reforestarse en su totalidad, pero solo en la zona X.3 existen más viveros, UPG y BG, en comparación con las otras.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Conafor por proporcionar los datos e información citada en el documento.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## **Contribución por autor**

Andrés Flores: planteamiento de la investigación, análisis de datos y redacción del manuscrito; Ramiro Pérez-Miranda: análisis de información geográfica; Martín Enrique Romero-Sánchez y Francisco Moreno-Sánchez: revisión y edición del documento; Tomás Pineda-Ojeda: supervisión de la investigación.

## **Referencias**

- Angelsen, A., E. F. K. Shitindi and J. Aarrestad. 1999. Why do farmers expand their land into forests? Theories and evidence from Tanzania. *Environment and Development Economics* 4(3): 313–331.  
<https://www.cambridge.org/core/article/why-do-farmers-expand-their-land-into-forests-theories-and-evidence-from-tanzania/2D8FE1A22B8090D5716ADE9119D9E174> (30 de junio de 2020).
- Barbier, E. B. and J. P. Hochard. 2016. Does land degradation increase poverty in developing countries? *PLoS ONE* 11(5): 13–15. Doi: 10.1371/journal.pone.0152973.
- Blanco-García, A., C. Sáenz-Romero, P. Alvarado-Sosa and R. Lindig-Cisneros. 2008. Native pine species performance in response to age at planting and mulching in a site affected by volcanic ash deposition. *New Forests* 36(3): 299–305. Doi: 10.1007/s11056-008-9101-z.

Boer, B. W., H. Ginzky and I. L. Heuser. 2017. International soil protection law: History, concepts and latest developments. *In*: Ginzky, H., I. L. Heuser, T. Qin, O. C. Ruppel and P. Wegerdt (eds.). *International Yearbook of Soil Law and Policy 2016*. Springer International Publishing. Cham, Switzerland. pp. 49–72.

Burney, O., A. Aldrete, R. Alvarez R., J. A. Prieto R., J. R. Sánchez V. and J. G. Mexal. 2015. Mexico-addressing challenges to reforestation. *Journal of Forestry*, 113(4): 404–413. Doi: 10.5849/jof.14-007.

Ceccon, E., J. I. Barrera-Cataño, J. Aronson and C. Martínez-Garza. 2015. The socioecological complexity of ecological restoration in Mexico. *Restoration Ecology* 23(4): 331–336. Doi: 10.1111/rec.12228.

Chakravarty, S., S. K. Ghosh, C. P. Suresh, A. N. Dey and G. Shukla. 2012. Deforestation: causes, effects and control strategies. *In*: Okia, C. A. (ed.). *Global perspectives on sustainable forest management*. InTech. London, UK. pp. 3–28.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2010. Informe de evaluación externa de los apoyos de reforestación. Ejercicio Fiscal 2009. <https://www.cnf.gob.mx:8443/snif/portal/component/phocadownload/category/41-reforestacion-sanidad-suelos?download=217:resumen-ejecutivo-reforestacion> (16 de agosto de 2019).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2016. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. CONAFOR. Zapopan, Jalisco, México. 71 p.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2017. Información estadística y vectorial del inventario nacional forestal y de suelos. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/informacion-estadistica-y-vectorial-del-inventario-nacional-forestal-y-de-suelos> (13 de febrero de 2019).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2019a. Estadísticas del Programa Nacional de Reforestación. <https://datos.gob.mx/busca/organization/conafor> (8 de agosto de 2019).

- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2019b. Semilla adquirida como germoplasma forestal. [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/mce\\_index.html](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html) (24 de marzo de 2020).
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2020. Zonificación forestal. <https://snigf.cnf.gob.mx/zonificacion-forestal/> (29 de junio de 2020).
- Cotler, H., S. Cram, S. Martinez-Trinidad and E. Quintanar. 2013. Forest soil conservation in central Mexico: An interdisciplinary assessment. *Catena* 104: 280–287. Doi: 10.1016/j.catena.2012.12.005.
- Couturier, S., J. Manuel J. and M. Kolb. 2012. Measuring tropical deforestation with error margins: A method for REDD monitoring in South-Eastern Mexico. *In*: Sudarshana, P., M. Nageswara-Rao and J. R. Soneji (eds.). *Tropical Forests*. InTech. London, UK. pp. 269–296.
- Díaz-Núñez, V., J. Sosa-Ramírez and D. R. Pérez-Salicrup. 2016. Vegetation patch dynamics and tree diversity in a diverse conifer and oak forest in central Mexico. *Botanical Sciences* 94(2): 229–240. Doi: 10.17129/botsci.284.
- Escobar-Alonso, S. y D. A. Rodríguez T. 2019. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(55): 4–38. Doi: 10.29298/rmcf.v10i55.558.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. FRA 2000: Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment 2000. Final Report. <http://www.fao.org/docrep/006/ad652e/ad652e00.htm> (6 de septiembre de 2020).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. FAO. Rome, Italy. 164 p.
- Farjon, A. and D. Filer. 2013. An atlas of the world's conifers: an analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status. Brill. Leiden, The Netherlands. 512 p.

Flores, A., J. López-Upton, C. D. Rullán-Silva, A. E. Olthoff, R. Alía, C. Sáenz-Romero and J. M. Garcia del Barrio. 2019a. Priorities for conservation and sustainable use of forest genetic resources in four mexican pines. *Forests* 10(8): 675. Doi: 10.3390/f10080675.

Flores, A., T. Pineda O. y E. Flores A. 2019b. Potencial de reforestación de seis especies de pino para la restauración de zonas degradadas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(55): 171–179. Doi: 10.29298/rmcf.v10i55.604.

Flores, A., T. Pineda O., J. Á. Prieto R., M. A. Velásquez V., J. A. Muñoz V., H. Macías R. y J. Á. Cueto W. 2011. Producción de planta en vivero para el estado de Tlaxcala. Folleto Técnico Núm. 6. Cenid-Comef, INIFAP. México, D.F., México. 64 p.

Flores F., C., J. López-Upton y S. Valencia M. 2014. Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies. Conafor. Zapopan, Jal., México. 152 p.

Flores, A., M. V. Velasco-García, L. Muñoz-Gutiérrez, T. Martínez-Trinidad, M. Gómez-Cárdenas y C. R. Castillo M. 2018. Especies arbóreas para conservar la biodiversidad en zonas urbanas. *Mitigación Del Daño Ambiental Agroalimentario y Forestal de México* 4(5): 136–151.

[https://www.researchgate.net/publication/329859297\\_TREE\\_SPECIES\\_FOR\\_BIODIVERSITY\\_CONSERVATION\\_IN\\_URBAN\\_ZONES](https://www.researchgate.net/publication/329859297_TREE_SPECIES_FOR_BIODIVERSITY_CONSERVATION_IN_URBAN_ZONES) (29 de junio de 2020).

Fuentes L., M. E., J. A. García S. y J. Hernández M. 2006. Factores que afectan el mercado de madera aserrada de pino en México. *Madera y Bosques* 12(2): 17–28. Doi: 10.21829/myb.2006.1221240.

Galicia, L., L. Gómez-Mendoza and V. Magaña. 2015. Climate change impacts and adaptation strategies in temperate forests in Central Mexico: a participatory approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 20(1): 21–42. Doi:10.1007/s11027-013-9477-8.

- Godefroid, S., C. Piazza, G. Rossi, S. Buord, A.-D. Stevens, R. Agurauja, C. Cowell, C. W. Weekley, G. Vogg, J. M. Iriando, I. Johnson, B. Dixon, D. Gordon, S. Magnanon, B. Valentin, K. Bjureke, R. Koopman, M. Vicens, M. Virevaire and T. Vanderborght. 2011. How successful are plant species reintroductions? *Biological Conservation* 144(2): 672–682. Doi: 10.1016/j.biocon.2010.10.003.
- Goldstein, A., H. Erickson, N. Gephart and S. Stevenson. 2011. Evaluation of land use policy and financial Mechanism that affect deforestation in Mexico. <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/388205ed5a67d798d8ce85b6dc4a0cb8.pdf> (29 de mayo de 219).
- Gómez-Romero, M., J. C. Soto-Correa, J. A. Blanco-García, C. Sáenz-Romero, J. Villegas and R. Lindig-Cisneros. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46(8): 795–807. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000800005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000800005) (30 de junio de 2020).
- Gómez-Romero, M., J. Villegas, C. Sáenz-Romero y R. Lindig-Cisneros. 2013. Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y Bosques* 19(3): 51–63. Doi: 10.21829/myb.2013.193327.
- Gutiérrez-García, J. V., D. A. Rodríguez-Trejo, A. Villanueva-Morales, S. García-Díaz y J. L. Romo-Lozano. 2015. Calidad del agua en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero. *Agrociencia* 49: 205–219. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script\\_arttext&pid=S1405-31952015000200008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script_arttext&pid=S1405-31952015000200008) (29 de junio de 2020).
- Hein, J. A. Guarin, E. Frommé and P. Pauw. 2018. Deforestation and the Paris climate agreement: An assessment of REDD + in the national climate action plans. *Forest Policy and Economics* 90: 7–11. Doi: 10.1016/j.forpol.2018.01.005.
- Honey-Rosés, J., M. Maurer, M. I. Ramírez and E. Corbera. 2018. Quantifying active and passive restoration in Central Mexico from 1986–2012: assessing the evidence of a forest transition. *Restoration Ecology* 26(6): 1180–1189. Doi: 10.1111/rec.12703.

- Instituto Nacional de Ecología de Cambio Climático (INECC). 2015. Conceptualización de las metodologías de valoración económica y de la evaluación de los apoyos otorgados por servicios ambientales en materia de bosques y selvas. Primer reporte.  
<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/604/1682> (31 de mayo de 2020).
- López-Upton, J., J. K. Donahue, F. O. Plascencia-Escalante and C. Ramírez-Herrera. 2005. Provenance variation in growth characters of four subtropical pine species planted in Mexico. *New Forests* 29: 1–13. Doi: 10.1007/s11056-004-0243-3.
- Masek, J. G., W. B. Cohen, D. Leckie, M. A. Wulder, R. Vargas, B. de Jong, S. Healey, B. Law, R. Birdsey, R. A. Houghton, D. Mildrexler, S. Goward and W. B. Smith. 2011. Recent rates of forest harvest and conversion in North America. *Journal of Geophysical Research* 116(2): 1–22. Doi: 10.1029/2010JG001471.
- Osuna-Vallejo, V., C. Sáenz-Romero, J. Villegas and R. Lindig-Cisneros. 2017. Species and provenance trial conducted for selection of conifers to be used in the restoration of mine dumps. *Ecological Engineering* 105: 15–20.  
Doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.065.
- Rehfeldt, G. E., B. C. Jaquish, J. López-Upton, C. Sáenz-Romero, J. B. St Clair, L. P. Leites and D. G. Joyce. 2014. Comparative genetic responses to climate for the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: Realized climate niches. *Forest Ecology and Management* 324: 126–137.  
Doi: 10.1016/j.foreco.2014.02.035.
- Rzedowski, J. 1979. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México, D. F., México. 432 p.
- Sáenz-Romero, C. and R. P. Guries. 2002. Landscape genetic structure of *Pinus banksiana*: Seedling traits. *Silvae Genetica* 51(1): 26–35.  
[https://www.researchgate.net/publication/285796569\\_Landscape\\_genetic\\_structure\\_of\\_Pinus\\_banksiana\\_Seedling\\_traits](https://www.researchgate.net/publication/285796569_Landscape_genetic_structure_of_Pinus_banksiana_Seedling_traits) (30 de junio de 2020).

Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1): 107–120.

Doi: 10.21829/myb.2008.1411222.

Sánchez-Velásquez, L. R., M. del R. Pineda-López, J. Galindo-González, F. Díaz-Fleischer and J. L. Z. González. 2009. Opportunity for the study of critical successional processes for the restoration and conservation of mountain forest: The case of mexican pine plantations. *Interciencia* 34(7): 518–522.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911406013> (29 de junio de 2020).

Scherr, S. J. and S. Yadav. 2001. Land degradation in the developing world: Issues and options for 2020. *In: The unfinished agenda: perspectives on overcoming hunger, poverty, and environmental degradation*. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Washington, DC, USA. pp. 133–138.

Schmook, B. and C. Vance. 2009. Agricultural policy, market barriers, and deforestation: The case of Mexico's Southern Yucatán. *World Development* 37(5): 1015–1025. Doi: 10.1016/j.worlddev.2008.09.006.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)-Colegio de Postgraduados. 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional.

[https://www.researchgate.net/publication/307967321\\_SEMARNAT-](https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001-2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional)

[CP\\_2003\\_Memoria\\_Nacional\\_2001-](https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001-2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional)

[2002\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Degradacion\\_del\\_Suelo\\_causada\\_por\\_el\\_Hombre\\_en\\_la\\_Republica\\_Mexicana\\_escala\\_1250000\\_Memoria\\_Nacional](https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001-2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional) (29 de junio de 2020).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2015.

Inventario estatal forestal y de suelos - Estado de México 2014. Semarnat, México, D.F., México. 190 p.

Wallace, J., N. Aquilué, C. Archambault, S. Carpentier, X. Francoeur, M.-H. Greffard, I. Laforest, L. Galicia and C. Messier. 2015. Present forest management structures and policies in temperate forests of Mexico: challenges and prospects for unique tree species assemblages. *The Forestry Chronicle* 91(03): 306–317. Doi: 10.5558/tfc2015-052.

White, T., W. Adams and D. Neale. 2007. *Forest genetics*. CABI. Cambridge, MA, USA. 682 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* [Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](#), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.