
LLUVIA Y BANCO DE SEMILLAS COMO FACILITADORES DE LA REGENERACIÓN NATURAL EN UN BOSQUE TEMPLADO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

YURIANA MARTÍNEZ OREA, SILVIA CASTILLO-ARGÜERO,
JAVIER ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, MARGARITA COLLAZO-ORTEGA
y ALEJANDRO ZAVALA-HURTADO

RESUMEN

Los bosques templados mexicanos tienen una alta diversidad de especies y endemismos, por lo que merecen atención prioritaria en materia de conservación. El estudio de su regeneración natural es determinante para entender los procesos de remplazo de especies y para su restauración. Se analizó la composición y abundancia de la lluvia y del banco de semillas en la dos épocas del año (seca y lluviosa), con el propósito de evaluar su contribución a la regeneración natural en bosques templados (*bosque de Quercus spp.*, de *Abies religiosa* y de *Pinus hartwegii*) de la cuenca del río Magdalena (CRM). Particularmente se cuantificaron la riqueza y cantidad de diásporas en la lluvia de semillas, la riqueza y cantidad de plántulas del banco de semillas, ambos se compararon entre sí y con la

composición de la vegetación en pie. La riqueza fue mayor en la lluvia de semillas y se registró un aporte importante de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas características de bosque templado. En el banco de semillas destacó la ausencia de dos de las tres especies arbóreas más importantes en la zona y abundaron las especies herbáceas de estadios sucesionales tempranos. La menor similitud de especies se encontró entre el banco de semillas y la vegetación en pie. Conocer el potencial de regeneración natural en lluvia y banco de semillas permite considerar ciertas especies para prescribir planes de manejo, con el fin de producir condiciones de vegetación parecidas a las originales del bosque templado.

La regeneración natural es determinante en la conservación de un sistema y su estudio es básico para entender el remplazo de especies en una comunidad (Vieira y Scariot, 2006). Existen tres fuentes esenciales para la regeneración natural: las semillas incorporadas y almacenadas en el banco del suelo o en la planta madre (serotinia), la entrada de propágulos a través de la lluvia de semillas y el rebrote de estructuras perennes aéreas o subterráneas (Young *et al.*, 1987).

La lluvia de semillas es el flujo de diásporas (frutos y/o semillas) desde la planta progenitora hasta un sitio de arribo por medio de agentes y síndromes de dispersión; une el fin del ciclo reproductivo de los individuos con el establecimiento de su progenie y es la fuente principal de propágulos para formar un banco de semillas en el suelo, que es un almacén o agregado de semillas viables que potencialmente son capaces de germinar y establecerse en la vegetación en pie (Cano-Salgado *et al.*, 2012). Ambos pueden tener efectos

importantes en la estructura de la vegetación y en la sucesión, por lo que su evaluación es relevante.

La regeneración natural está conformada por la lluvia y el banco de semillas, los cuales son muy dinámicos en una comunidad y presentan alta heterogeneidad en composición y abundancia, tanto espacial como temporal (Young *et al.*, 1987; Paluch, 2011), ya que están influenciados por la abundancia de las especies en un sitio, sus periodos y tasas de producción de semillas, sus síndromes de dispersión, la

PALABRAS CLAVE / *Abies religiosa* / Bosque / *Pinus hartwegii* / Potencial de Regeneración / *Quercus spp.* / Variación Estacional /

Recibido: 21/07/2012. Modificado: 06/07/2013. Aceptado: 09/07/2013.

Yuriana Martínez Orea. Maestra en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. Técnica Académica, UNAM, México. Dirección: Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM, México 04510, D.F., México. e-mail: yurimar29@yahoo.com.mx

Silvia Castillo-Argüero. Doctora en Ciencias, UNAM, México. Profesora, UNAM, México.

Javier Álvarez-Sánchez. Doctor en Ciencias, UNAM, México. Profesor, UNAM, México.

Margarita Collazo-Ortega. Doctora en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. Profesor Asociada C, UNAM, México.

Alejandro Zavala-Hurtado. Doctor en Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Iztapalapa), México. Profesor-Investigador, UAM-Iztapalapa, México.

disponibilidad de los vectores de dispersión, los requerimientos para su germinación, depredación, así como por la frecuencia e intensidad de los disturbios (Murray, 1988; Álvarez-Buylla y Martínez-Ramos, 1990; Baskin y Baskin, 1998; Wilby y Shachak, 2000).

Conocer la dinámica espacial y temporal de la lluvia y banco de semillas y su relación con la vegetación, proporciona información sobre el estado de conservación del bosque y sobre la dinámica respecto a la regeneración natural. La mayoría de los estudios relacionan al banco o a la lluvia de semillas con la vegetación (Hopfensperger, 2007), pero integrar en un análisis las tres fuentes de regeneración natural ('entidades' en lo sucesivo), ha sido poco documentado en la literatura sobre bosques templados. Esta información puede generar aproximaciones para conocer la resiliencia de la comunidad ante un disturbio, las posibles direcciones de la sucesión y las herramientas para su restauración. Lo anterior es de particular importancia para los bosques templados de la cuenca de México, ya que poseen elementos florísticos con afinidades biogeográficas distintas (ausentes en aquellos ubicados en latitudes mayores), lo que contribuye a su alta diversidad florística (Rzedowski, 1978; Villers y Trejo, 1998; Rzedowski y Rzedowski, 2005), la que es vulnerable de perderse dada su cercanía a la Ciudad de México. El objetivo del presente trabajo es evaluar la contribución de la lluvia y del banco de semillas a la regeneración natural y su relación con la vegetación circundante.

Sitio de Estudio

La Cuenca del río Magdalena (CRM), el último río vivo de la Ciudad de México, abarca un 4% del suelo de conservación del Distrito Federal (Figura 1). Cuenta con 2925ha y alberga un bosque templado que se distingue por su riqueza de especies tanto de flora como de fauna. Sus bosques se distribuyen en un gradiente altitudinal de 2750 a 3500msnm. A la menor altitud se ubica el bosque de *Quercus* spp., el bosque de *Abies religiosa* en la parte media (2900msnm) y el de *Pinus hartwegii* en la parte más alta (Ávila-Akerberg, 2002, 2004). Existe una gran he-

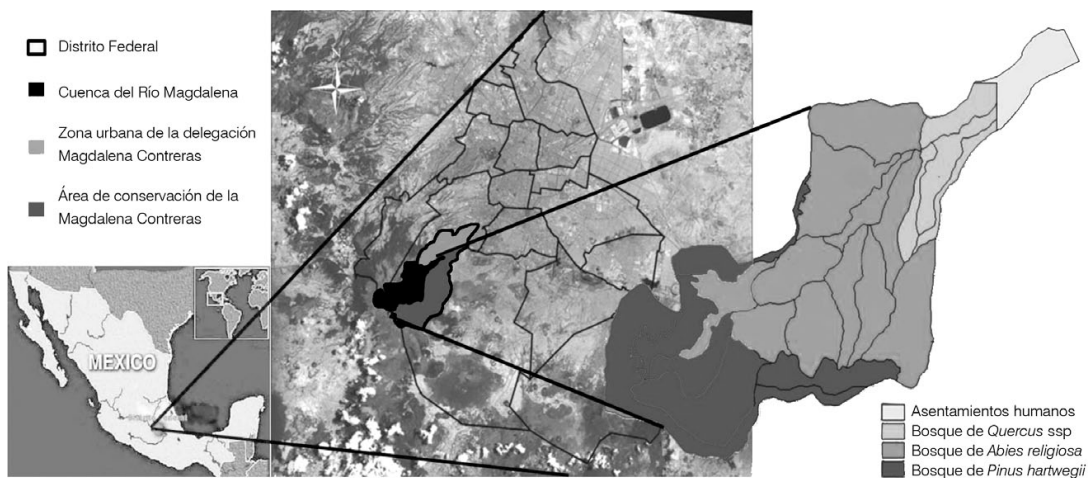


Figura 1. Localización de la Cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. 19°13'53" y 19°18'12"N; 99°14'50" y 99°20'30"O. Modificado de Santibáñez-Andrade (2009).

terogeneidad espacial y temporal, distinguiéndose una época seca de noviembre a mayo y una lluviosa de junio a octubre (Álvarez, 2000).

Muestreo

En cada tipo de vegetación (bosque de *Quercus* spp., de *Abies religiosa* y de *Pinus hartwegii*) se esta-

bleció una parcela de 100×100m. En cada parcela se colocaron al azar y a nivel del suelo 30 trampas circulares colectoras de semillas (de metal con tela de organza cerrada y 50cm de diámetro). Bimestralmente, durante 15 meses, se colectó la lluvia de semillas. Las diásporas fueron contadas e identificadas por medio de la comparación con ejemplares de herbario y con claves de identifica-

TABLA I
RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ANOVA PARA EL NÚMERO DE DIÁSPORAS, PLÁNTULAS Y DE ESPECIES EN LA LLUVIA DE SEMILLAS (LLS) Y BANCO DE SEMILLAS (BS), EN TRES TIPOS DE VEGETACIÓN

Número de individuos en LLS y BS				
Lluvia de semillas	F	gl	p	Tukey
tv	20,14	2, 720	<0,001	Q>A>P
época	371,51	1, 720	<0,001	S>L
tv × época	15,85	2, 720	<0,001	QS>AS>PS>QL>AL>PL
Banco de semillas				
tv	10,76	2, 174	<0,001	Q>A>P
época	17,42	1, 174	<0,001	L>S
tv × época	0,9866	2, 174	=0,37 ns	
Interacción				
tv	28,39	2, 174	<0,001	Q=A>P
entidad	628,76	1, 174	<0,001	LLS>BS
tv × entidad	1,8	2, 174	=0,16 ns	
Número de especies en LLS y BS				
Lluvia de semillas	F	gl	p	Tukey
tv	39,6	2, 720	<0,001	Q>A>P
época	262,4	1, 720	<0,001	S>L
tv × época	10,4	2, 720	<0,001	QS>AS>PS>QL>AL>PL
Banco de semillas				
tv	13,19	2, 174	<0,001	A,Q>P
época	14,14	1, 174	<0,001	L>S
tv × época	1,7	2, 174	=0,18 ns	
Interacción				
tv	32,53	2, 174	<0,001	A,Q>P
entidad	285,7	1, 174	<0,001	LLS>BS
tv × entidad	0,84	2, 174	=0,43 ns	

Q: *Quercus* spp, A: *Abies religiosa*, P: *Pinus hartwegii*, L: época lluviosa, S: época seca.

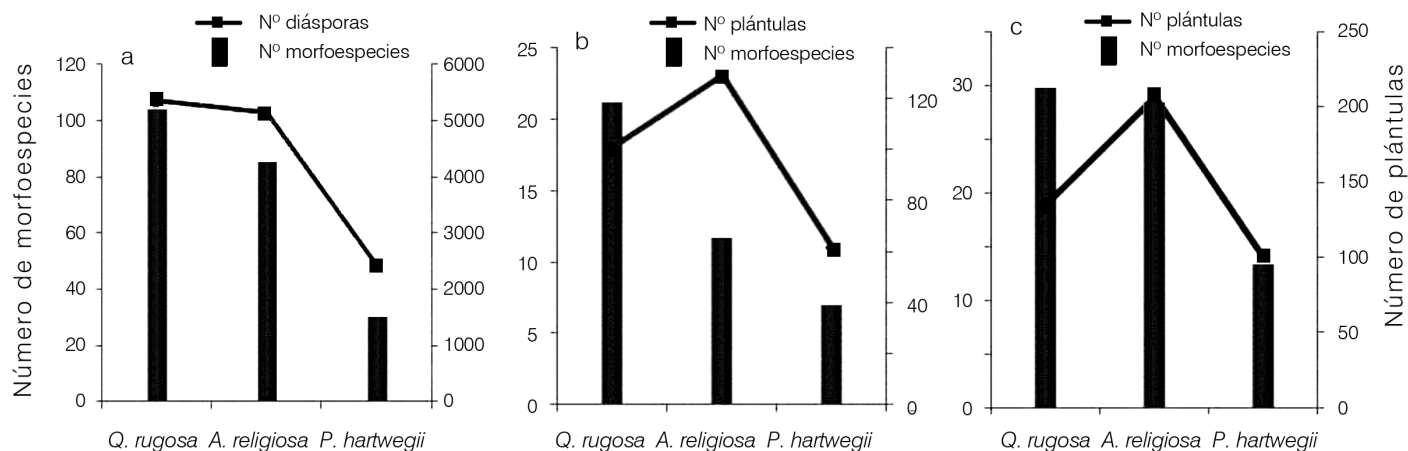


Figura 2. a: Número de diásporas y especies en la lluvia de semillas, b: número de plántulas y especies en el banco de semillas de la época seca, y c: en la época lluviosa en cada tipo de vegetación en la cuenca del río Magdalena: *Q. rugosa*: bosque de *Quercus* spp., *A. religiosa*: bosque de *Abies religiosa*, y *P. hartwegii*: bosque de *Pinus hartwegii*.

ción (Rzedowski y Rzedowski, 2005). Los valores de abundancia y densidad se reportan por época de secas y de lluvias.

Dentro de las parcelas se colectaron 30 muestras de suelo y con un nucleador de 10cm de diámetro se extrajeron los primeros 8cm. Cada muestra fue colocada en una charola de 15×25cm y todas se mantuvieron en condiciones de invernadero con riego a saturación (250ml) cada tercer día. La composición y abundancia del banco de semillas fueron evaluadas a partir de las plántulas que emergieron de estas muestras a lo largo de un año. Se realizaron dos colectas de suelo, en la época seca (febrero 2008) y al final de la lluviosa (octubre 2008).

Análisis de Datos

Con el fin de evaluar las diferencias entre tipos de vegetación y épocas del año representadas en el número de diásporas y de especies en la lluvia de semillas y número de plántulas y especies emergidas del banco de semillas, se aplicó un análisis de varianza factorial usando el paquete Estadística (StatSoft, Inc. 2001. Versión 6.).

Se comparó la composición de especies de la lluvia con la del banco de semillas y con la de la vegetación, definida a partir de observaciones *in situ* y de la consulta de listados florísticos reportados para la zona (Ávila-Akerberg, 2002, 2004), a través del índice de similitud de Sørensen (Magurran, 1998).

Se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener, tanto para la lluvia como para el banco de semillas. Sus valores se compararon por medio de pruebas de t de student. Se

calculó el índice de dominancia de Berger-Parker para la lluvia y el banco de semillas en cada tipo de vegetación (Zar, 1974; Magurran, 1998).

Las especies fueron clasificadas de acuerdo a su forma de crecimiento, síndrome de dispersión (van der Pijl, 1982), ciclo de vida y forma de vida (Raunkiaer, 1934). Se consideraron cinco categorías de forma de vida: camefitas (aquellas cuyas yemas de perennación se encuentran a menos de 30cm por encima del suelo), criptofitas (aquellas que poseen yemas subterráneas), fanerofitas (yemas por arriba de los 30cm, árboles y arbustos en general), hemicriptofitas (yemas ubicadas al ras del suelo) y terofitas (plantas anuales que permanecen en la comunidad a través de su producción de semillas).

Se realizó un análisis de agrupamiento por el método de Ward y un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) con el programa PCOrd (versión 5.0) con los atributos y las abundancias de las especies en la lluvia y el banco de semillas.

Resultados

Se registró un total de 10926 diásporas en la lluvia de semillas; 9078 colectadas en las trampas durante la época seca y 1848 en la lluviosa. El banco de semillas registró 725 plántulas, 503 de ellas emergieron del suelo colectado en la época lluviosa y 222 en la seca.

Variación estacional

Se observó una variación estacional en la lluvia y en el ban-

co de semillas, su riqueza mostró un efecto significativo de la época de muestreo (Tabla I). El mayor número de especies en la lluvia de semillas fue registrado durante la época seca (130 especies) y el mayor número para el banco de semillas en la lluviosa, con 39 especies de plántulas (Figura 2).

Variación espacial

La lluvia y el banco de semillas respondieron al gradiente altitudinal en la CRM, observándose valores significativamente diferentes en el número de diásporas, de plántulas y de especies entre los tres bosques (Tabla I). El bosque de *Quercus* spp. presentó el mayor número de diásporas y especies en la lluvia de semillas. Para el banco de semillas, el bosque de *Quercus* spp. presentó el mayor número de plántulas y el de *A. religiosa* el mayor número de especies (Figura 2).

La lluvia y el banco de semillas de los tres tipos de vegetación presentaron componentes herbáceos y arbustivos importantes en sus proporciones. Para la lluvia de semillas, cabe resaltar que las especies herbáceas tuvieron su mayor proporción en el bosque de *P. hartwegii*, mientras que el bosque de *Quercus* spp. y el de *A. religiosa* presentaron predominantemente diásporas de especies arbustivas. Sin embargo, el banco de semillas estuvo conformado predominantemente por especies herbáceas en los tres tipos de vegetación. Destaca la ausencia del componente arbóreo en el banco de semillas de los bosques de *A. religiosa* y de *P. hartwegii* (Tabla II).

TABLA II
PORCENTAJES DE DIÁSPORAS EN LA LLUVIA DE SEMILLAS (LLS)
Y DE PLÁNTULAS EN EL BANCO DE SEMILLAS (BS) EN LAS CATEGORÍAS
DE SÍNDROME DE DISPERSIÓN (*SENSU* VAN DER PIJL, 1982), FORMA
DE CRECIMIENTO, CICLO DE VIDA, FORMA DE VIDA (*SENSU* RAUNKIAER, 1934)
Y HÁBITAT EN LOS TRES TIPOS DE VEGETACIÓN EN LA CUENCA
DEL RÍO MAGDALENA

Bosque	Lluvia de semillas			Banco de semillas		
	<i>Quercus</i> spp.	<i>A. religiosa</i>	<i>P. hartwegii</i>	<i>Quercus</i> spp.	<i>A. religiosa</i>	<i>P. hartwegii</i>
	Síndrome de dispersión					
Anemocoria	62,4	72,8	94,1	75	82	90
Zoocoria	37,5	27	5,8	25	18	10
	Forma de crecimiento					
Hierba	30	19,5	45	65,3	58,6	71,42
Arbusto	40	52,8	8,6	2,9	41,3	28,57
Árbol	30	27,6	46,3	5,6	0	0
	Ciclo de vida					
Anual	7	2,01	3,2	18	15,7	32,4
Perenne	93	97,9	96,7	82	84,2	67,5
	Forma de vida					
Camefita	8,3	5,04	14,1	7,3	8,26	0
Criptofita	3,8	3,3	15,6	13,6	6,6	18,18
Faneroftita	72	82,5	54,5	34,6	54,9	28,5
Hemicriptofita	9	7,03	12,3	26,3	14,46	20,7
Teroftita	6,8	2,01	3,2	18	15,7	32,6
	Hábitat					
Bosque	55,5	63,7	63	33	35,53	11
Introducidas	2,28	3,7	7	6	7,8	19
Malezas	24	25	17	41	33	40
Vegetación secundaria	18	6,6	11,9	19,6	23,5	29,8

Atributos de las especies

El número de diásporas de especies perennes fue el mayor en la lluvia de semillas de los tres bosques, observándose también en mayor proporción plántulas de especies perennes en el banco de semillas. Sin embargo, las proporciones de especies anuales tendieron a incrementarse en el banco de semillas en comparación con aquellas en la lluvia de semillas. El mayor valor de especies anuales correspondió al banco de semillas del bosque de *P. hartwegii* (Tabla II).

Destacó una mayor proporción de diásporas de especies fanerofitas para el bosque de *A. religiosa* y en proporción similar para el bosque de *Quercus* spp., asimismo, el bosque de *P. hartwegii* presentó un valor cercano al 50% de diásporas de esta forma de vida, en segundo lugar se observaron las especies criptofitas. Las proporciones de las especies fanerofitas fueron las mayores para el banco de semillas de los bosques de *Quercus* spp. y de *A. religiosa*, mientras que para el de *P. hartwegii* las plántulas de especies terofitas representaron el primer lugar en abundancia.

Para la lluvia de semillas, destacó la anemocoria (dispersadas por viento), alcanzando una mayor proporción en el bosque de *P. hartwegii*. La proporción de diásporas zoocoras (dispersadas por animales) fue mayor para el bosque de *Quercus* spp. (Tabla II).

Las diásporas de especies características de bosques templados fueron las de mayor proporción en la lluvia de semillas de los tres bosques. Las proporciones de especies de malezas ocuparon el segundo lugar. El banco de semillas mostró un comportamiento distinto, siendo mayor el número de plántulas de malezas para los bosques de *Quercus* spp. y de *P. hartwegii*. El banco de semillas del bosque de *A. religiosa* presentó predominantemente plántulas de especies típicas de bosque templado y de la vegetación secundaria.

El análisis de correspondencia diferenció cinco grupos para la lluvia y el banco de semillas:

Especies como *Baccharis conferta*, *Acaena elongata*, *Buddleia cordata* y *Montanoa frutescens* (grupo 1), son fa-

nerofitas presentes en la vegetación en pie. Las primeras dos son comunes en sitios de bosque perturbado (Rzedowski y Rzedowski, 2005). *A. elongata* fue la quinta especie más abundante en la lluvia de semillas (517 diásporas) y exclusiva de esta fuente de regeneración en el bosque de *A. religiosa*. También germinó aunque en abundancia baja. En la lluvia de semillas *B. cordata* presentó 261 diásporas (una de las más abundantes de este grupo). Sólo *B. conferta* se encontró entre las especies más abundantes en el banco de semillas de los bosques de *Quercus* spp. y de *A. religiosa* (Figura 3).

El grupo 2 corresponde a las especies arbustivas con dispersión anemócora (Figura 3): *Ageratina enixa*, *A. glabrata*, *A. lucida*, *A. vernicosa*, *Roldana barbojohannis*, *R. albonervius*, *Senecio angulifolius*, *S. tolucanus* y *Eupatorium mairitianum*. Estas especies se encuentran representadas en los tres tipos de vegetación con abundancias altas en la lluvia de semillas siendo *A. enixa* la más abundante (1352 diásporas), presentándose también en abundancias medias y altas en el banco de semillas del bosque de *A. religiosa* y de *P. hartwegii* (20 plántulas) al igual que *E. mairitianum* y *R. barbojohannis* (10 y 9 plántulas, respectivamente).

El grupo 3 está integrado por especies perennes y arbustivas, que representan una fracción importante de las especies zoocoras como *Phytolaca iccosandra*, *Solanum cervantesii*, *Cestrum anagyris* y *Fuchsia thymifolia*, las cuales presentan frutos carnosos. Este grupo incluye tanto malezas como especies características de bosque con abundancias intermedias en lluvia y banco de semillas.

El grupo 4 incluye especies de comportamiento malezoide (*Sambucus nigra*) y aquellas introducidas: *Taraxacum officinale* y *Poa pratensis* (33, 56 y 7 diásporas respectivamente). Las dos primeras se encuentran en la lluvia de semillas del bosque de *Quercus* spp. y de *A. religiosa*, mientras que *P. pratensis* solo se encontró en la lluvia de semillas del bosque de *A. religiosa*. De éstas, sólo *T. officinale* estuvo presente en el banco de semillas de los bosques de *A. religiosa* y de *P. hartwegii*, con 20 plántulas. En este grupo no se observó un patrón de dispersión común sino que se

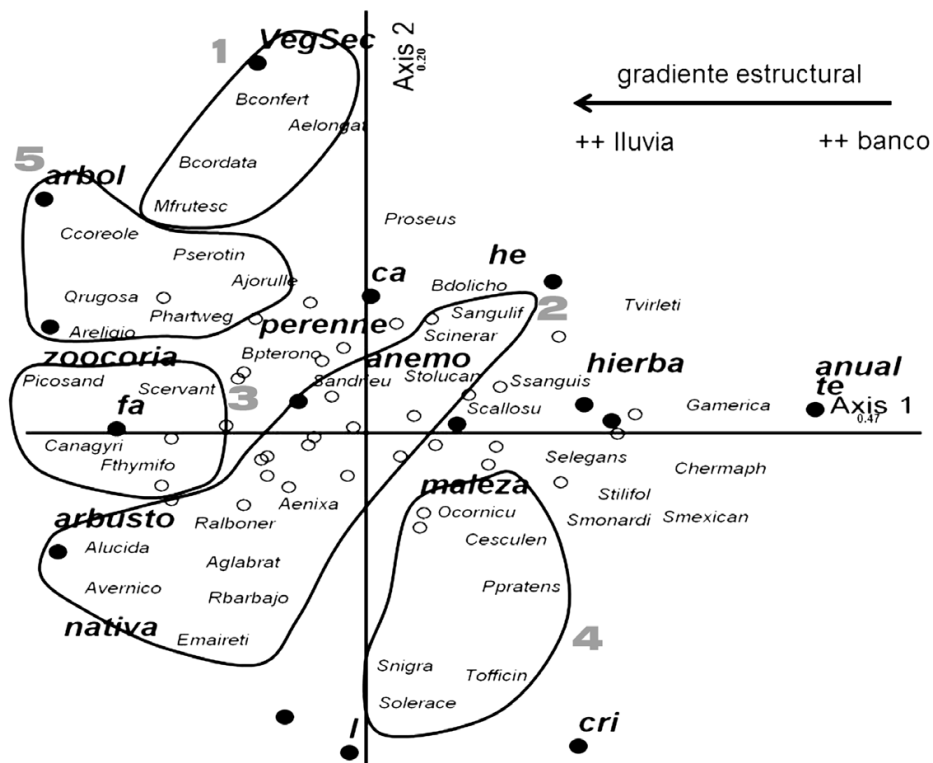


Figura 3. Resultados del análisis de correspondencia (DCA) realizado con los atributos de las especies en lluvia y banco de semillas de la cuenca del río Magdalena, donde VegSec: vegetación secundaria, I: introducidas, he: hemipterofita, fa: fanerofita, ca: camefita, cri: criptofita, te: terofita, y anemo: anemocoria.

agruparon por su estatus migratorio y por el tipo de vegetación que habitan. Otras especies en este grupo son *Oxalis corniculata* y *Cyperus esculentus*; la mayoría son hierbas, mientras que *S. nigra* es un árbol.

El último grupo (5) está conformado por las especies arbóreas *Quercus rugosa* (840 diásporas), *Abies religiosa* (761 diásporas) y *Pinus hartwegii* (619 diásporas), que caracterizan bosques templados maduros. Sus abundancias en la lluvia de semillas corresponden a los mayores valores para cada bosque y dominan el estrato arbóreo. Cabe señalar que sólo *Q. rugosa* estuvo presente en el banco de semillas (17 plántulas). A este grupo también se aso-

cian *Alnus jorullensis*, aunque menos abundante (21 diásporas, anemócora), y también característica de bosque templado maduro y presente en la vegetación en pie. *Q. rugosa*, *Prunus serotina* y *Ceanothus coeruleus* son zoocoras, las dos últimas con frutos carnosos.

Aunque algunas de las especies tienen una amplia distribución tanto en los tres bosques como en las tres fuentes de regeneración natural, los valores de similitud resultaron relativamente bajos de acuerdo con el criterio de Gauch (1982). En este contexto, el 33% de las especies fueron compartidas entre la lluvia y el banco de semillas, entre la lluvia de semillas y la vegetación en pie el 40%, y entre el

banco de semillas y vegetación en pie el 9%.

La diversidad de la lluvia de semillas fue de $H^2 = 2,92$ y para el banco de semillas, $H^2 = 1,28$. Ambos fueron significativamente distintos de acuerdo con la prueba de $t_{0,05(2)11280} = 1,97 < 23,73$. La dominancia de especies fue del 5% para el banco de semillas y de 12% para la lluvia de semillas.

Discusión

Densidad y abundancia de lluvia y banco de semillas

La lluvia de semillas está relacionada estrechamente con la fenología reproductiva de las especies en un sitio dado, lo que genera un patrón particular de mayor producción de frutos y semillas en una época del año y por tanto una época de mayor dispersión (Murray, 1988). En la cuenca del río Magdalena (CRM) la mayor parte (~80%) estuvo confinada a la época seca (marzo-abril). Esto coincide con lo reportado por Du *et al.* (2009) quienes encontraron una mayor cantidad de semillas durante los meses más secos del año. La CRM se caracteriza por presentar marcadas diferencias entre la estación lluviosa y la seca (Ávila-Akerberg, 2002, 2004) y por lo tanto la dispersión mostró marcadas fluctuaciones en el tiempo. Asimismo, Li *et al.* (2012) reportaron periodos de mayor abundancia de diásporas en bosques templados de China. Esta variación estacional en la vegetación influye en la heterogeneidad que caracteriza a los procesos de regeneración, como la lluvia de semillas, y a su vez hace que sean altamente estocásticos (Paluch, 2011).

La floración y la producción de semillas varían entre especies, individuos, así como entre años en una comunidad (Greene y Johnson, 1995). Para algunas especies existen además intervalos de dos años en los que ocurre una producción masiva de semillas (Kelly y Sork 2002). Si además consideramos la variabilidad en los mecanismos de dispersión (Nathan y Muller-Landau, 2000), estos factores explican la heterogeneidad observada en la densidad, abundancia y composición de la lluvia de semillas de los tres bosques bajo estudio (Tabla III).

El banco de semillas también es muy dinámico, pues depende de la lluvia de semillas, de sus latencias y viabilidad en el suelo, así como de los requerimientos para su germinación, por lo que también mostró diferencias en su tamaño y composición

TABLA III
DENSIDADES DE LA LLUVIA DE SEMILLAS DE DISTINTOS ESTUDIOS

Autor	Densidad de la lluvia de semillas	Sitio de estudio
Hofgaard (1993)	4188 diásporas/año	Bosque boreal, Suecia
Castillo y Pérez (2008)	1027 semillas/m ² /año	Bosque templado de neblina, México
Du <i>et al.</i> (2009)	1064 diásporas/m ² /año	Bosque subtropical, China
Li <i>et al.</i> (2012)	92064 diásporas/año	Bosque templado, China
Martínez-Orea (2011)	1855 diásporas/m ² /año	Bosque templado(CRM), México
	10926 diásporas/año	

TABLA IV
DENSIDADES DE BANCOS DE SEMILLAS DE DISTINTOS ESTUDIOS

Autor	Densidad del banco de semillas	Sitio de estudio
Warr <i>et al.</i> (1994)	3600 semillas/m ² /año	Bosque templado. Inglaterra
Granström (1998)	30,083 semillas/m ² /año	Bosque templado. Suecia
Arriaga y Mercado (2004)	362 plántulas/m ² /año	Bosque templado. México
Godefroid <i>et al.</i> (2006)	10,772 semillas/m ² /año	Bosque de encino. Bélgica
Schmidt <i>et al.</i> (2009)	298-3606 plántulas/m ² /año	Bosque templado. Alemania
Martínez-Orea (2011)	214 plántulas/m ² /año	Bosque templado(CRM). México
Abella y Springer (2012a)	71-3814 semillas/m ² /año	Bosque templado. Norteamérica

en el tiempo y el espacio en la CRM. De acuerdo con Abella y Springer (2012) un aspecto importante pero poco estudiado de los bancos de semillas es su variación espacial dentro de un paisaje; sus resultados mostraron que la densidad y composición del banco de semillas pueden variar substancialmente entre sitios en un lugar como respuesta a la presencia de distintos tipos de bosques y a los efectos de un gradiente altitudinal (como el de la densidad de la cobertura arbórea), variables que también son características de la CRM. Las diferencias no fueron exclusivas de la comparación entre los tres bosques de la CRM, sino que también son evidentes al compararlos con otros estudios (Tabla IV). Otra causa de esta diferencia es que en algunos trabajos se reporta el número de semillas. Adicionalmente, el régimen de disturbio de los sitios de estudio en la comparación es distinto, lo que contribuye a las diferencias en tamaño y densidad entre bancos de semillas. Por ejemplo, Archibald (1989) y Olatunde *et al.* (1998) mostraron que la densidad de especies nativas en el banco de semillas se reduce significativamente como resultado del manejo de los bosques y principalmente por actividades antrópicas tales como el pastoreo.

La densidad de plántulas reportada por Arriaga y Mercado (2004) es parecida a la encontrada en la CRM; estos autores encontraron también mayores valores de densidad y riqueza durante la época lluviosa. Schmidt *et al.* (2009) reportaron mayores valores de riqueza y densidad en bancos de semillas de sitios con más de un estrato de la vegetación, y los resultados en la CRM mostraron mayor número de plántulas en el banco de semillas de los bosques de *Q. rugosa* y de *A. religiosa* en comparación con el del bosque de *P. hartwegii*, donde domina el estrato herbáceo (Ávila-Akerberg, 2004). Los gradientes altitudinales y la influencia de la cobertura del dosel han sido considerados por Ashton (1998) y por Abella *et*

al. (2012) como factores importantes en el tamaño y densidad de los bancos de semillas. Arriaga y Mercado (2004) reportaron 19 especies en el banco de semillas del bosque maduro, mientras que encontraron 11 a 21 especies en los sitios perturbados, valores de riqueza menores a los encontrados en la CRM (39) en el presente estudio, probablemente porque éste incluyó tres tipos de vegetación con diferentes grados y naturaleza de disturbio. Carrillo-Anzures *et al.* (2009) reportaron 43 especies, valor similar al del presente estudio. Las familias Asteraceae, Lamiaceae, Rosaceae y Cyperaceae, que están bien representadas en los bancos de semillas de bosques templados mexicanos (Arriaga y Mercado, 2004; Carrillo-Anzures *et al.*, 2009), también fueron comunes en el banco de semillas de la CRM.

Lluvia y banco de semillas son muy variables entre bosques e inclusive entre años en un sitio. Warr *et al.* (2004) mencionan que esto se debe también al tamaño y número de muestras, al área y profundidad del suelo muestreado, al tiempo de captura de las semillas y de observación de la emergencia de plántulas. Aun así, los resultados de diferentes estudios proveen un indicador del intervalo del tamaño, densidad y riqueza de especies de bancos de semillas de distintos bosques.

Similitud de especies entre la lluvia de semillas, el banco y la vegetación en pie

La composición de especies en el banco de semillas no reflejó la composición de la vegetación (9% de similitud). Mientras que Hopfensperger (2007) reportó una similitud de 30% y Leckie *et al.* (2000) una del 76%, estos trabajos pueden ser las excepciones a una generalidad y a lo reportado por otros estudios (Hill y Stevens, 1981; Granström, 1988; Ramírez *et al.*, 1992; Thompson, 2000; Augusto *et al.*, 2001; Olano *et al.*, 2002; Godefroid *et al.*,

2006) que han demostrado una correspondencia pobre entre la vegetación y el banco de semillas, debido a que en este último se encuentran mejor representadas especies herbáceas, intolerantes a la sombra y que germinan ante una mayor incidencia de luz, sobre todo en sitios donde se han abierto claros de bosque, como algunas pioneras y malezas (Warr *et al.*, 2004). Aunado a esto, la mayoría de las especies leñosas presentan bancos de semillas transitorios (Baskin y Baskin, 1998) y en general las especies arbóreas están poco representadas en ellos (Carrillo-Anzures *et al.*, 2009). Frutos y semillas de *Crataegus* spp. y de *Sambucus nigra* (árboles) han sido encontrados en suelo, pero de acuerdo con Warr *et al.* (2004) permanecen viables por poco tiempo. Cabe mencionar que igualmente en la CRM se encontraron solo en la lluvia de semillas. Por otro lado, las semillas de coníferas sobreviven en el suelo por poco tiempo (Pratt *et al.*, 1984), lo que explicaría la ausencia de las plántulas de *P. hartwegii* y de *A. religiosa* en nuestro estudio, a pesar de que fueron abundantes en la lluvia de semillas, aunado al hecho de que el experimento de banco se llevó a cabo en invernadero. Especies herbáceas tales como *Oxalis corniculata*, *Cyperus sesleroides*, *Dahlia pinnata*, *Taraxacum officinale* y *Melampodium repens* fueron abundantes en el banco de semillas de los tres bosques, probablemente porque tienden a formar bancos de semillas permanentes (Warr *et al.*, 2004).

Ramírez *et al.* (1992) no encontraron relación entre la composición del banco de semillas y la vegetación en un bosque templado de Chiapas, ya que la mayor proporción de plántulas correspondió a especies herbáceas, como en el caso de la CRM, mientras que en la vegetación, las especies arbustivas y arbóreas estuvieron bien representadas.

Ortiz *et al.* (2008) sugieren que la presencia de especies arbóreas en los bancos de semillas está limitada a la época de mayor producción de frutos y semillas de cada especie, por lo que su presencia en el banco es estacional, lo que explica la emergencia de plántulas de *Q. rugosa* en el banco de semillas en el área de estudio; además, las bellotas de esta especie son recalcitrantes (Castro-Colina *et al.*, 2012), por lo que no forman bancos de semillas permanentes ya que pierden viabilidad ante reducciones del 50% de humedad y bajas temperaturas (Farrant *et al.*, 1993). Adicionalmente las diferencias en composición y abundancia entre lluvia y banco de semillas pueden

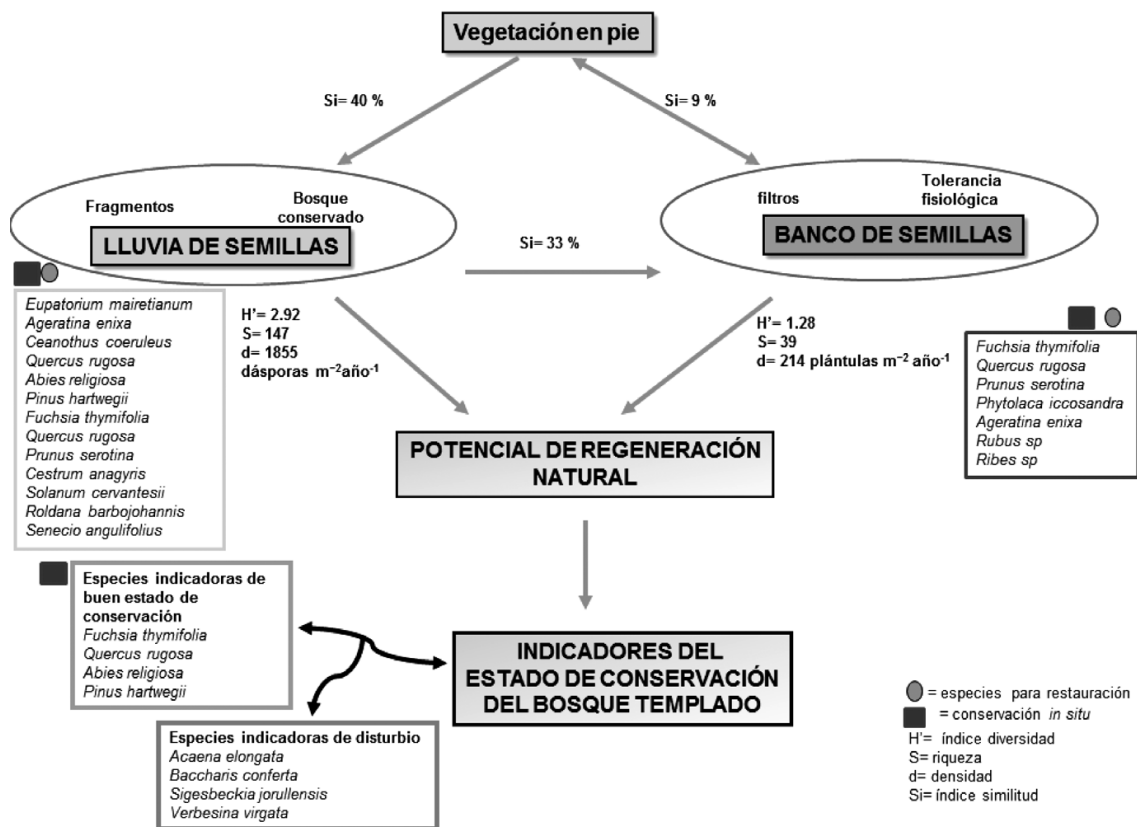


Figura 4. Propuesta de modelo conceptual que ilustra la diversidad, riqueza y abundancia de la lluvia y del banco de semillas, así como la similitud (IS) entre ambas y con la vegetación en pie para el análisis del potencial de regeneración natural del bosque templado de la CRM. Se considera la trilogía lluvia de semillas, banco de semillas y vegetación en pie para elaborar indicadores del estado de conservación del bosque templado y planes de manejo.

deberse a que en este último hay pérdidas por depredación, a que algunas semillas pueden no ser viables o no se expresan germinando en muestras de suelo por tener una latencia secundaria (Baskin y Baskin, 1998).

La vegetación mostró una mayor similitud en composición con la lluvia de semillas porque ésta contiene el aporte reproductivo de las especies y provienen tanto del bosque y sus fragmentos como de otras zonas que pueden actuar como fuentes de propágulos. La contribución de semillas de especies nativas que caracterizan al estrato arbóreo de estos bosques fue importante y destacaron *Q. rugosa*, *A. religiosa*, *P. hartwegii* y *Alnus jorullensis*, así como el arbustivo *Ageratina enixa*, *Roldana albonervius*, *R. barbojohannis* y *Senecio angulifolius*. Las tres primeras y *A. enixa* fueron las especies dominantes en la lluvia de semillas. Estas especies son características de bosque templado en relativo buen estado de conservación, por lo que constituyen una fuente importante de regeneración natural.

Al ponderar la composición de especies en la lluvia y el ban-

co de semillas, sus abundancias, su afinidad (si son de bosque, de la vegetación secundaria, malezas o introducidas), su estatus migratorio y su distribución en la vegetación, se tiene información de las especies que están disponibles para la regeneración natural del sistema (Hopfensperger, 2007), de su capacidad de resiliencia, de la dirección que puede tomar la sucesión después de un disturbio (Henderson *et al.*, 1998) y también da las pautas para generar planes de conservación y manejo (Hopfensperger, 2007), por lo que a partir del análisis de la trilogía lluvia-banco de semillas-vegetación se podría generar un indicador del estado de conservación de un sistema.

Potencial de regeneración

El potencial de regeneración natural del bosque templado de la CRM está integrado por diferentes tipos de especies en lluvia y banco de semillas: un mayor porcentaje de especies comunes a los bosques templados de la cuenca de México, tanto herbáceas como arbustivas y por especies arbóreas características de un bosque ma-

peplus. La mayoría de las malezas nativas, malezas introducidas y algunas especies de la vegetación secundaria en lluvia y banco de semillas, así como en la vegetación en pie, se caracterizan por colonizar sitios perturbados o cercanos a cultivos (claros de bosque) y algunas forman parte de la composición de especies correspondiente a estadios sucesionales tempranos (Rzedowski y Rzedowski, 2005).

Como un primer paso, el análisis de la trilogía lluvia de semillas-banco de semillas-vegetación en pie que aquí proponemos consiste en un modelo conceptual que analiza la riqueza, la abundancia y diversidad de la lluvia y del banco de semillas, la similitud entre estas y con la vegetación, evaluando las fuentes de regeneración natural de este bosque (Figura 4).

Categorías de especies

Algunas de las características de las especies en este estudio permiten hacer un planteamiento sobre su eventual consideración en planes de manejo y para la elaboración de un indicador del estado de conservación de

duro cuya contribución a la lluvia de semillas fue importante, sobre todo para *Q. rugosa*, también presente en el banco de semillas, mientras que *A. religiosa* y *P. hartwegii* estuvieron ausentes en el banco de semillas bajo condiciones de invernadero. Esto se relaciona también con los requerimientos germinativos de temperatura y luz de las especies, que son cubiertos de manera diferente en campo y en invernadero (Baskin y Baskin, 1998). También por especies de la vegetación secundaria y malezas nativas, tanto hierbas como arbustos, y por último especies introducidas algunas de ellas malezas como *Pennisetum villosum*, *Poa pratensis*, *Duchesnea indica*, *Taraxacum officinale*, *Poa annua*, *Erodium cicutarium*, *Sonchus oleraceus* y *Euphorbia*

este bosque. Con los grupos descritos en los resultados y la selección de especies de acuerdo con algunas de sus características se elaboraron las siguientes categorías:

Categoría A. Integra especies que comúnmente habitan los bosques templados de encino y oyamel en sitios con relativo buen estado de conservación (Rzedowski y Rzedowski, 2005) como *Ageratina enixa*, *A. glabrata*, *A. lucida*, *A. vernicosa*, *Roldana barbojohannis*, *R. albonervius*, *Senecio angulifolius* y *Eupatorium mairitianum*, que también son características de fragmentos de bosque que se encuentran en un estadio sucesional. Su distribución se puede favorecer porque su dispersión es por el viento, lo que posibilita su llegada a zonas abiertas, como campos agrícolas abandonados. Algunos autores sugieren utilizar especies anemócoras en la restauración, pues a menudo son de sucesión temprana y, además, se pueden establecer en sitios perturbados (Janzen, 1988). Su dispersión por viento favorece su transporte a larga distancia (Martínez *et al.*, 2009). En esta categoría se incluye *Buddleia cordata*, característica de sitios de bosque templado en condiciones secundarias como terrenos deforestados y aledaños a zonas urbanas, presente en la lluvia y banco de semillas de la CRM y que se ha encontrado también (Martínez-Orea *et al.*, 2012) en otros sistemas aledaños a grandes ciudades como matorrales xerófilos (Figura 4).

Categoría B. Las especies arbustivas y arbóreas de frutos carnosos indican presencia de vertebrados que están asociados a zonas más conservadas y que las dispersan a distintas áreas: Como ejemplos figuran *Phytolaca iccosandra*, *Solanum cervantesii*, *Cestrum anagyris*, *Prunus serotina*, *Sambucus nigra*, *Ceanothus coeruleus* y *Fuchsia thymifolia*, esta última indicadora de un buen estado de conservación pues habita sitios de bosque no perturbado, mientras que *P. iccosandra* y *S. nigra* son malezas nativas que se distribuyen en bosques templados en condiciones de disturbio (Rzedowski y Rzedowski, 2005), por lo que son especies tolerantes. *S. cervantesii* se distribuye en la vegetación secundaria de bosques, matorrales y pastizales. El uso de este tipo de especies podría contribuir al incremento de vertebrados que a su vez funcionan como dispersores de otras especies típicas de la vegetación, como ha sido observado en algunos ambientes (Justiniano y Fredericksen, 2000). A esta categoría se pueden integrar especies de *Rubus* spp.

y *Ribes* spp. (encontradas en la lluvia de semillas y presentes en la vegetación en pie en la CRM), que de acuerdo con Carrillo *et al.* (2009) pueden formar bancos de semillas permanentes (Figura 4). El uso de estas especies en un programa de restauración podría promover, a través de una sucesión, el incremento en la riqueza de especies nativas de bosque templado, propiciando condiciones en la vegetación parecidas a las originales y regenerando cobertura en sitios deforestados.

Categoría C.- Las especies arbóreas *Q. rugosa*, *A. religiosa* y *P. hartwegii* son características de bosque templado maduro, son fuentes importantes de semillas dispersadas por animales (en el primer caso) y por el viento (segundo y tercero), por lo que se deben conservar *in situ* y ser propagadas en vivero.

Categoría D.- Incluye aquellas especies indicadoras de disturbio, entre las que destacan *B. conferta* y *A. elongata*. La segunda es dominante en el sotobosque del bosque de *A. religiosa* (Santibáñez-Andrade, datos no publicados) y clasificada como maleza nativa (CONABIO, 2012), presente en la lluvia y banco de semillas. Su establecimiento se ve favorecido en áreas perturbadas por actividades agrícolas y sus achenios son dispersados comúnmente por ganado (Molinillo y Farji, 1993). Ambas especies indican deterioro ambiental (García, 2002; Rzedowski y Rzedowski, 2005). El grupo de malezas nativas e introducidas presentes en ambas fuentes de regeneración fue caracterizado por *S. nigra*, *T. officinale* y *P. pratensis*. Se encuentran en áreas abiertas de bosques de *A. religiosa* y de *P. hartwegii*. Cabe señalar que la primera es una especie con frutos carnosos, presumiblemente dispersados por aves, pero muy común en claros de bosque de *A. religiosa* (observación personal). Está clasificada como maleza y se requieren estudios que describan el régimen de disturbio que favorece su establecimiento y dominancia. *T. officinale* es típica de campos agrícolas abandonados y formadora de bancos de semillas permanentes (Carrillo-Anzures *et al.*, 2009). Se sugiere utilizar como indicadoras de disturbio o deterioro ambiental a *B. conferta*, *A. elongata*, *V. virgata* y *Sigesbeckia jorullensis*, sobre todo si son muy abundantes o se encuentran muy ampliamente distribuidas, de acuerdo con García (2002), así como estudiar el efecto de disturbios como la deforestación en relación con la abundancia y distribución de estas especies, y monitorear la ger-

minación y establecimiento *in situ* de *A. religiosa* y *P. hartwegii*.

Este estudio representa un primer diagnóstico sobre la contribución de la lluvia y del banco de semillas al potencial de regeneración natural de los bosques de la CRM, el cual es necesario para el diseño de planes para su conservación y restauración. Las especies de la lluvia de semillas indican el estado de conservación del bosque en base a la composición florística, el alto porcentaje de especies arbóreas indica que es una fuente de regeneración con buena representación de las especies de bosque maduro, y su reducción tendrá como causa principal la deforestación. Asimismo la fracción de especies de la vegetación secundaria representa el material a partir del cual los sitios que han perdido cobertura forestal se regeneren. Ambas categorías de especies confieren resiliencia a este bosque. Sin embargo, la presencia de especies de malezas así como de especies introducidas indica que los disturbios antrópicos han permitido por un lado su entrada y establecimiento y por el otro han modificado el bosque de manera tal que el establecimiento de especies de la sucesión secundaria y de bosque maduro necesita de acciones de restauración concretas. El banco de semillas indica el estado de conservación en base a su similitud con la vegetación del sitio y a la densidad de semillas. En ambientes frecuentemente perturbados por actividades agrícolas la composición de la vegetación está determinada por el banco de semillas, por lo que su similitud es alta (Warr *et al.*, 1993). En este caso la similitud fue baja por la viabilidad efímera de las semillas de especies arbóreas en el banco, y la identidad de las especies en cuanto al hábitat que ocupan es un mejor indicador de los procesos de cambio que ocurren en los bosques de la CRM. Los incrementos en las abundancias de especies de malezas indican disturbios antrópico por deforestación, actividades agrícolas e incendios de acuerdo con Abella *et al.* (2012) y Laughlin y Fulé (2008); sin embargo, la densidad del banco de semillas de la CRM requiere ser comparada con la de otros bosques con características y régimen de disturbio similares. A pesar de que el porcentaje de especies perennes en esta fuente de regeneración es aún importante y podría otorgar resiliencia al sistema (>50%, según Abella y Springer, 2012), el incremento de individuos de especies anuales, introducidas, y la reducción de especies de bosque maduro en el banco de semillas en comparación con su re-

presentación en la lluvia de semillas es un indicador de que los bosques de la CRM están perturbados.

Finalmente, los bosques templados de la CRM conforman un sistema dentro de la Ciudad de México, una de las más grandes del mundo, por lo que su importancia trasciende a niveles de impacto mayores por los beneficios que recibe de estas áreas verdes la población humana.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Guadalupe Barajas y Esther Sánchez-Coronado por el apoyo con el análisis estadístico, a Marco A. Romero-Romero por su apoyo logístico, y al proyecto PAPIIT IN202210.

REFERENCIAS

- Abella S, Springer J (2012) Soil seed banks in a mature coniferous forest landscape: dominance of native perennials and low spatial variability. *Seed Sci. Res.* 22: 207-217.
- Abella S, Hurja J, Merkle D, Denton C, Brewer D (2012) Overstory-understory relationships along forest type and environmental gradients in the Spring Mountains of southern Nevada, USA. *Folia Geobot.* 47: 119-134.
- Álvarez-Buylla E, Martínez-Ramos M (1990) Seed bank versus seed rain in the regeneration of a tropical pioneer tree. *Oecologia* 84: 314-325.
- Álvarez KE (2000) *Geografía de la Educación Ambiental: Algunas Propuestas de Trabajo en el Bosque de los Dinamos, Área de Conservación Ecológica de la Delegación Magdalena Contreras*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 127 pp.
- Archibald OW (1989) Seed banks and vegetation processes in coniferous forests. En Leck MA, Parker VT, Simpson RL (Eds.) *Ecology of Seed Banks*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. pp. 107-147.
- Arriaga L, Mercado C (2004) Seed bank dynamics and tree fall gaps in a northwestern Mexican *Quercus-Pinus* forest. *J. Veg. Sci.* 15: 661-688.
- Ashton P, Harris P, Thadani R (1998) Soil seed bank dynamics in relation to topographic position of a mixed-deciduous forest in southern New England, USA. *Forest Ecol. Manag.* 111: 15-22.
- Augusto LD, Dupouey J, Picard JF, Ranger J (2001) Potential contribution of the seed bank in coniferous plantations to the restoration of native deciduous forest vegetation. *Acta Oecol.* 22: 87-98.
- Ávila-Akerberg V (2002) La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 92 pp.
- Ávila-Akerberg V (2004) *Autenticidad de los Bosques en la Cuenca Alta del Río Magdalena. Diagnóstico Hacia la Restauración Ecológica*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 124 pp.
- Baskin CC, Baskin JM (1998) *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego, CA, EEUU. 666 pp.
- Cano-Salgado A, Zavala HJ, Orozco SA, Valverde VM, Pérez RP (2012) Composición y Abundancia del Banco de Semillas en una Región Semiárida del Trópico Mexicano: Patrones de Variación Espacial y Temporal. *Rev. Mex. Biodiv.* 83: 437-446.
- Castro-Colina L, Martínez-Ramos M, Sánchez-Coronado ME, Huante P, Mendoza A, Orozco-Segovia A (2012) Effect of hydro-priming and acclimation treatments on *Quercus rugosa* acorns and seedlings. *Eur. J. Forest Restor.* 131: 747-756.
- Carrillo-Anzures F, Vera CG, Magaña TS, Guldin J, Guries R (2009) Seeds Stored in the Forest Floor in a Natural Stand of *Pinus montezumae* Lamb. *Rev. Cienc. Forest. Méx.* 34: 41-60.
- Castillo RF, Pérez RM (2008) Changes in seed rain during secondary succession in a tropical montane cloud forest region in Oaxaca, Mexico. *J. Trop. Ecol.* 24: 433-444.
- CONABIO (2012) www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/rosaceae/acaena-elongata/fichas/paginal.htm
- Du Y, Mi X, Liu X, Chen L, Ma K (2009) Seed dispersal phenology and dispersal syndromes in a subtropical broad-leaved forest of China. *Forest Ecol. Manag.* 258: 1147-1152.
- Farrant JM, Pammenter N, Berjak P (1993) Seed development in relation to desiccation tolerance: a comparison between desiccation sensitive (recalcitrant) seeds of *Avicennia marina* and desiccation tolerant types. *Seed Sci. Res.* 3: 1-13.
- García RA (2002) An evaluation of forest deterioration in the disturbed mountains of Western Mexico City. *Int. Mount. Res. Dev.* 22: 270-277.
- Gauch HG (1982) *Multivariate Analysis in Community Structure*. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 298 pp.
- Godefroid S, Phartyal S, Koedam N (2006) Depth distribution and composition of seed banks under different tree layers in a managed temperate forest ecosystem. *Acta Oecol.* 29: 283-292.
- Granström A (1988) Seed banks at six open and afforested heathland sites in southern Sweden. *J. Appl. Ecol.* 25: 297-306.
- Greene DF, Johnson EA (1995) Long-distance wind dispersal of tree seeds. *Can. J. Bot.* 73: 1036-1045.
- Henderson CB, Petersen KE, Redak RA (1998) Spatial and temporal patterns in a seed bank and vegetation of a desert grassland community. *J. Ecol.* 76: 717-728.
- Hill MO, Stevens PA (1981) The density of viable seed in soils of forest plantations in upland Britain. *J. Ecol.* 69: 693-709.
- Hofgaard A (1993) Seed rain quantity and quality, 1984-1992, in high altitude old-growth spruce forest, northern Sweden. *New Phytol.* 125: 635-640.
- Hopfensperger K (2007) A review of similarity between seed bank and standing vegetation across ecosystems. *Oikos* 116: 1438-1448.
- Janzen DH (1988) Management of habitat fragments in a tropical dry forest: growth. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75: 105-116.
- Justiniano MJ, Fredericksen TS (2000) Phenology of tree species in Bolivian dry forests. *Biotropica* 32: 276-281.
- Kelly D, Sork VL (2002) Mast seeding in perennial plants: why, how, where? *Annu. Rev. Ecol. System.* 33: 427-447.
- Leckie S, Vellend M, Bell G, Waterway M, Lechowicz M (2000) The seed bank in an old-growth, temperate deciduous forest. *Can. J. Bot.* 78: 181-192.
- Laughlin D, Fulé P (2008) Wildland fire effects on understory plant communities in two fire-prone forests. *Can. J. Forest Res.* 38: 133-142.
- Li B, Hao Z, Bin Y, Zhang J, Wang M (2012) Seed rain dynamics reveals strong dispersal limitation, different reproductive strategies and responses to climate in a temperate forest in northeast China. *J. Veg. Sci.* 23: 71-279.
- Magurran AE (1998) *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press. Princeton, NJ, EEUU. 179 pp.
- Martínez-Orea Y (2011) *Dinámica de la Lluvia y del Banco de Semillas en los Bosques Templados de la Cuenca del Río Magdalena*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 150 pp.
- Martínez-Orea Y, Castillo AS, Hernández AM, Guadarrama CP, Orozco SA (2012) Seed rain after a fire in a xerophytic shrubland. *Rev. Mex. Biodiv.* 83: 447-457.
- Martínez GC, Flores PA, De la Peña DM, Howe HF (2009) Seed rain in a tropical agricultural landscape. *J. Trop. Ecol.* 25: 541-550.
- Molinillo MF, Farji BA (1993) Technical Note: Cattle as a dispersal agent of *Acaena elongata* (Rosaceae) in the cordillera of Mérida, Venezuela. *J. Range Manag.* 46: 557-561.
- Murray KG (1988) Avian seed dispersal of three neotropical gap-dependent plants. *Ecol. Monogr.* 58: 271-298.
- Nathan R, Muller LH (2000) Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *TREE* 15: 278-285.
- Nava LM (2003) *Los Bosques de la Cuenca Alta del Río Magdalena, D.F., México. Un Estudio de Vegetación y Fitodiversidad*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 105 pp.
- Olano JM, Caballero I, Laskurain NA, Loidi J, Escudero A (2002) Seed bank spatial pattern in a temperate secondary forest. *J. Veg. Sci.* 13: 775-784.
- Olatunde A, Thompson K, Buckland S (1998) Soil seed bank of an upland calcareous grassland after 6 years of climate and management manipulation. *J. Appl. Ecol.* 35: 544-552.
- Ortiz AC, Saldaña AA, Sánchez VL, Castillo NB (2008) Banco de semillas en el suelo de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra de Manantlán, México. *Scientia CUCBA* 10: 81-94.
- Paluch JG (2011) Ground seed density patterns under conditions of strongly overlapping seed shadows in *Abies alba* Mill. stands. *Eur. J. Forest Restor.* 130: 1009-1022.
- Pratt DW, Black RA, Zamora BA (1984) Buried viable seed in a ponderosa pine community. *Can. J. Bot.* 62: 44-52.

- Ramírez MN, González EM, Quintana AP (1992) Banco y lluvia de semillas en comunidades sucesionales de bosques de Pino-Encino de los altos de Chiapas, México. *Acta Bot. Mex.* 20: 59-75.
- Raunkiaer C (1934) *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Oxford University Press, Oxford, RU. 632 pp.
- Rzedowski J (1978) *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 pp.
- Rzedowski GC, Rzedowski J (2005) *Flora Fanerogámica del Valle de México*. CONABIO, INSTITUTO DE ECOLOGÍA. México. 1406 pp.
- Santibáñez-Andrade G (2009) *Composición y Estructura de Bosque de Abies religiosa en Función de la Heterogeneidad Ambiental y Determinación de su Grado de Conservación en la Cuenca del Río Magdalena, México, D.F.* Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 134 pp.
- Schmidt I, Leuschner C, Molder A, Schmidt W (2009) Structure and composition of the seed bank in monospecific and tree species-rich temperate broad-leaved forests. *Forest Ecol. Manag.* 257: 695-70.
- Thompson K (2000) The functional ecology of soil seed banks. En Fenner M (Ed.) *Seeds. The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2ª ed. CABI. Nueva York, EEUU. 397 pp.
- Van der Pijl L (1982) *Principles of Dispersal in Higher Plants*. Springer. Berlin, Alemania. 215 pp.
- Vieira DL, Scariot A (2006) Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restor. Ecol.* 14: 11-20.
- Villers RL, Trejo VI (1998) El impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia* 23: 10-19.
- Warr S, Thompson K, Kent M (1993) Seed banks as a neglected area of biogeographic research: a review of literature and sampling techniques. *Progr. Phys. Geogr.* 17: 329-347.
- Warr SJ, Thompson K, Kent M (2004) Seed bank composition and variability in five woodlands in South West England. *J. Biogeogr.* 21: 151-168.
- Wilby A, Shachak M (2000) Harvester ant response to spatial and temporal heterogeneity in seed availability: pattern in the process of granivory. *Oecologia* 125: 495-503.
- Young KR, Ewel JJ, Brown BJ (1987) Seed dynamics during forest succession in Costa Rica. *Vegetatio* 71: 157-173.
- Zar JH (1974) *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, EEUU. 620 pp.

SEED RAIN AND SEED BANK AS NATURAL REGENERATION FACILITATORS IN A TEMPERATE FOREST IN MEXICO CITY

Yuriana Martínez Orea, Silvia Castillo-Argüero, Javier Álvarez-Sánchez, Margarita Collazo-Ortega and Alejandro Zavala-Hurtado

SUMMARY

Mexican temperate forests show a high species diversity as well as endemisms; therefore, the development of strategies for their conservation is a priority. Studies on their natural regeneration are crucial in order to understand the changes in species composition and for their restoration. The composition and abundance of seed rain and seed bank was analyzed during a year (dry and rainy seasons included), with the objective to evaluate their contribution to natural regeneration in temperate forests (*Quercus spp.*, *Abies religiosa* and *Pinus hartwegii* forests) in the Magdalena river basin (MRB). Particularly, richness and quantity of diaspores in the seed rain, and the richness and quantity of seedlings in the seed bank were quantified. Comparison was carried out be-

tween them and also with respect to the extant vegetation. Richness resulted higher in the seed rain, with an important fraction of herbaceous, shrub and tree species characteristic of temperate forests. In the seed bank, two of the three main tree species in the area were absent, and there was a high abundance of herbaceous species characteristic of the early succession. The smallest similarity of species was found between the seed bank and the extant vegetation. Knowledge of the natural regeneration potential in the seed rain and in the seed bank allows for the consideration of certain species to be prescribed in management plans, with the aim to produce vegetation conditions similar to those of the original temperate forests.

CHUVA E BANCO DE SEMENTES COMO FACILITADORES DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UMA FLORESTA TEMPERADA DA CIDADE DO MÉXICO

Yuriana Martínez Orea, Silvia Castillo-Argüero, Javier Álvarez-Sánchez, Margarita Collazo-Ortega e Alejandro Zavala-Hurtado

RESUMO

As Florestas temperadas mexicanas têm uma alta diversidade de espécies e endemismos, pelo qual merecem atenção prioritária em matéria de conservação. O estudo de sua regeneração natural é determinante para entender os processos de substituição de espécies e sua restauração. Analisou-se a composição e abundância da chuva e do banco de sementes nas duas épocas do ano (seca e chuvosa), com o propósito de avaliar sua contribuição à regeneração natural em florestas temperadas (*floresta de Quercus spp.*, *de Abies religiosa* e *de Pinus hartwegii*) da bacia do rio Magdalena (CRM). Particularmente foi quantificada a riqueza e quantidade de diásporas em chuva de sementes, a riqueza e quantidade de plântulas do banco de sementes, ambos

foram comparados entre si e com a composição da vegetação em pé. A riqueza foi maior na chuva de sementes e se registrou uma contribuição importante de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas características de floresta temperada. No banco de sementes destacou a ausência de duas das três espécies arbóreas mais importantes na região abundaram as espécies herbáceas de estágios sucessionais iniciais. A menor similaridade de espécies foi encontrada entre o banco de sementes e a vegetação em pé. Conhecer o potencial de regeneração natural em chuva e banco de sementes permite considerar certas espécies para prescrever planos de gestão, com a finalidade de produzir condições de vegetação parecidas às originais da floresta temperada.