

NOTAS SOBRE EL DISEÑO DE PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN

D. A. Rodríguez-Trejo

División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo,
Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Correo-e: dantearturo@yahoo.com

RESUMEN

En el presente trabajo se propone una definición de diseño ecológico de plantaciones, abordando una veintena de aspectos sobre tal tópico, además de plantear la conexión entre diseño ecológico y diseño estético de plantaciones. Se abordan aspectos como los genéticos, la calidad de planta, la elección de especies y procedencias, las mezclas de especies y edades, los micrositos, las especies nodriza, los claros, y los patrones del paisaje, entre otros, además de algunas consideraciones sociales. Todos encaminados a lograr una mejor restauración del bosque.

PALABRAS CLAVE: restauración forestal, plantaciones forestales.

NOTES ABOUT THE DESIGN OF RESTORATION PLANTATIONS

SUMMARY

In this work is proposed a definition of ecological design of forest plantations, and are mentioned some twenty items on such issue. Also is referred the relationship among ecological design and aesthetic design of forest plantations. In this work are included genetics, seedling quality, choice of species and provenances, mixture of species and ages, microsites, nurse species, gaps, and landscape patterns, among others, including some social considerations. All of them focused to obtain a reliable forest restoration.

KEY WORDS: Forest restoration, forest plantations.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales son complejos y aún no los comprendemos totalmente, mucho menos se puede pensar en restaurar eficientemente todos y cada uno de sus componentes directamente, lo cual además sería enteramente impráctico o imposible. Debido a ello, se trabaja puntualmente con algunas partes del mismo, que a su vez facilitarían por sí solas la restauración de los demás componentes. Por otra parte, la restauración implica volver a un ecosistema original, pero la originalidad de tal ecosistema está en duda por tres razones: La primera tiene que ver con qué se entiende por ecosistema original, cuánto tiempo en el pasado habría que remontarse para hallar tal ecosistema supuestamente prístino, aún bajo un escenario climático semejante al actual. Segunda, ¿se procurará un ecosistema semejante al que prevalecía al momento de la degradación, o se preferirá la etapa sucesional más avanzada de la serie a la que corresponde? Tercera, en el supuesto de buscar obtener un bosque como el que había

al momento de la degradación, implica asumir que dicha condición sería estática, aun y cuando incluso las etapas clímax tienen cambios a través del tiempo, aunque no se perturben en décadas. Debido a lo anterior, la meta de la restauración no es obtener una condición idéntica a la del ecosistema forestal considerado como original, sino una cercana o parecida a la misma.

Aunque cualquiera de las opciones es válida, otra alternativa más práctica es elegir un bosque actual no degradado o poco afectado en la zona, del mismo tipo que fue el degradado, y tomarlo como referencia.

También debe señalarse que, en su conjunto, todos los elementos que se vierten en el presente trabajo, no aplican para cualquier condición, y se enfocan preponderantemente a casos en los que aún se tiene suelo sobre el área a restaurar. Asimismo, se asume que hay control o control relativo de los agentes humanos que han causado la

deforestación del bosque original, de lo contrario la plantación que se establezca ahí correría el mismo destino que el mencionado bosque original. Algunos principios aplican más en los ambientes templado-fríos, otros en los semiáridos y otros en los tropicales.

Las siguientes recomendaciones generales son producto de observaciones y experimentos personales o con estudiantes de licenciatura y posgrado, notas de cursos impartidos, así como de revisión de literatura. Estas recomendaciones se dividen en dos partes con objetivos diferentes, ecológicos y estéticos, pero conciliables por necesidad.

DISEÑO ECOLÓGICO DE PLANTACIONES

El autor propone como definición de diseño ecológico de plantaciones, a todas las características de composición, estructura y función que se toman en cuenta para el establecimiento de una plantación y el manejo de las mismas durante el desarrollo de la última, así como la preparación del sitio, que permiten obtener eventualmente un bosque semejante al original, y que además contribuya en alguna medida al bienestar socioeconómico de las poblaciones rurales del área. La composición se refiere a las especies involucradas, la estructura a su distribución y la función a relaciones como el nodricismo. En otros casos el bosque meta puede ser diferente al original, correspondiendo a reemplazo y no a restauración estrictamente.

En esta parte se señalan diversos preceptos que contribuyen a que la plantación sea una herramienta eficiente para ayudar a obtener un bosque semejante al que se tenía antes de ser degradado, es decir, que contribuya a restaurar.

Prefiera especies nativas y procedencias locales

Si el propósito es restauración, lo ideal es emplear especies nativas, las típicas del área. Si se trata de un bosque degradado de *Quercus crassipes*, hay que plantar *Q. crassipes*. Sin embargo, en la medida en que una especie tiene un intervalo de distribución más amplio, se le halla sobre una mayor variedad de altitudes, exposiciones, tipos de suelo, entre otros factores, es decir, tenderá a contar con mayor variación genética y por ende sus poblaciones también tenderán a estar más diferenciadas. En este último caso, si se pretende restaurar un bosque degradado en las áreas con menor precipitación, dentro del intervalo de distribución natural de la especie de interés, y se reforesta con planta producida a partir de semilla colectada en localidades con alta precipitación, se tendrá una menor supervivencia, así como una menor aptitud en generaciones subsecuentes, pues los sobrevivientes luego de entrecruzarse con individuos locales, tendrán una prole menos adaptada a limitaciones de humedad.

De la misma forma, si una especie tiene un intervalo de distribución altitudinal amplio, y se busca restaurarla en

las partes más altas, si se usan procedencias de las partes bajas, tales poblaciones no estarán tan adaptadas a las bajas temperaturas, derivándose en baja supervivencia y exogamia.

Incluya especies arbustivas y herbáceas

En los programas de restauración de *Pinus palustris* en el sureste de los Estados Unidos se incluye la producción en vivero del zacate *Asistida stricta*, especie que forma una matriz a partir de la cual se configura la distribución de muchas de las especies de sotobosque, donde está la mayor biodiversidad de este ecosistema. En México, en la última década se ha incrementado la producción de especies arbustivas, como el *Senecio praecox* y *Symphoricarpos microphyllus*. Esta última con vistas comerciales, dada su gran utilidad para elaborar artesanías navideñas y escobas para uso en la ciudad de México por el servicio público de limpieza. Desde luego, la siembra de semilla de herbáceas y arbustos en campo o la plantación de arbustos implica tomar medidas para prevenir competencia y para aprovechar micrositios, según la especie de sotobosque de que se trate (Figura 1).



FIGURA 1. Arbusto vara de perilla (*Symphoricarpos microphyllus*) producido en el vivero San Luis, D. F. Al fondo, producción de agave.

Realice una colecta ecológica de semillas

Resulta importante destacar que la colecta de semillas para producir los árboles requeridos en el proyecto no debe concentrarse en unos pocos árboles productores, sino que han de tomarse simientes de muchos árboles. Con la posible excepción de algunos individuos de particular interés o en ciertos casos con especies amenazadas, no debe colectarse

toda la semilla de cada uno de ellos, sino una parte. Por ejemplo la mitad, de tal suerte que el excedente que se deja en campo sirva para que continúen procesos ecológicos como la regeneración, la selección natural y las cadenas tróficas. Asimismo, la elección de los árboles para realizar la colecta debe seguir un criterio eugénico y generalmente debe evitarse el sólo colectar de pocos árboles; de lo contrario, al establecer la plantación con árboles producidos a partir de esta semilla, habría un alto nivel de parentesco y por tanto alta probabilidad de endogamia, el entrecruzamiento entre parientes que implicaría una progenie menos vigorosa.

La influencia del reforestador en la selección natural

Las especies que existimos en el planeta estamos lejos de ser un producto acabado. De hecho, las especies nunca serán un producto acabado. Gracias a su bagaje genético y a la posibilidad de generar combinaciones mediante el entrecruzamiento, es que son adaptables a un ambiente que desde el origen del planeta ha estado cambiando en escalas de tiempo geológicas, así como en sus ritmos estacionales y circadianos. Inclusive algunos factores ambientales, como la temperatura, se modifican de un instante a otro a nivel diferencial.

En un escenario dinámico en tiempo y espacio, las especies no pueden sino amoldarse a tales cambios mediante la evolución o extinguirse. En un bosque de pino con brinzales o juveniles que se incendia, los pocos árboles que sobrevivan lo harán por ser aquellos con características que les permitieron tolerar el embate de las altas temperaturas originadas por el fuego. Estas características pueden ser una corteza gruesa, una alta capacidad de rebrote o un fuerte estado cespitoso. Cuando estos sobrevivientes lleguen a edad reproductiva, su descendencia tenderá a estar más adaptada al fuego, particularmente si las distintas generaciones sufren incendios, como generalmente sucede. En cambio, si dicho siniestro no aconteciese, otros factores operarían sobre la población y su eventual descendencia no tendería a estar tan adaptada a los incendios, particularmente en ausencia del factor fuego, durante el tiempo de vida de algunas generaciones.

Estos antecedentes evidencian que hay diversos agentes ambientales, bióticos y abióticos, inclusive de origen humano como buena parte de los propios incendios, que regulan las poblaciones forestales y su composición genética. Dicha composición no es la misma en los árboles adultos producto de regeneración natural en un bosque sin o con intervención silvícola, en comparación con los que se obtienen en la producción en viveros forestales. Esta última puede incluir a la primera, pero también implica la supervivencia de árboles que serían eliminados por la naturaleza en el bosque, como se comenta a guisa de ejemplo en el siguiente párrafo.

En un buen año semillero, en un pinar, se pueden

producir un millón de semillas-ha⁻¹. Parte de esas semillas serán consumidas por la fauna y otras no serán viables. Asumiendo una cama para semillero adecuada, pueden establecerse ahí cientos de miles de plántulas, digamos 400,000. Sin embargo, no todas llegarán a edad adulta, solamente aquellas que sobrevivan a la competencia intraespecífica, al autoaclareo, a perturbaciones, a herbivoría, pisoteo, a las enfermedades e insectos forestales, entre otros factores. Probablemente unos 1,000 árboles lleguen a adultos, es decir 0.1 % de las semillas.

En contraparte, si el viverista colecta 200,000 semillas de dicha hectárea y descontando semillas no viables y mermas en vivero, consigue obtener 70 % de plántulas, está produciendo 140,000 de ellas. Incluso considerando una supervivencia regular una vez plantadas, digamos de 50 %, llegarían a adultos 70,000 árboles, es decir, el 7 % con respecto al millón de semillas que el bosque produjo (sin considerar la regeneración natural por la semilla que se dejó) o 70 veces más árboles que los que la naturaleza permitiría.

Cuide la riqueza genética y ayude a promoverla

La riqueza genética es parte de la biodiversidad, que también incluye riqueza de especies y de ecosistemas. La variación genética se socava por cinco procesos principalmente:

Efecto fundador. Son tan pocos los individuos que inician una población que hay elevado nivel de endogamia y la población no se puede sustentar.

Deriva genética. Proceso aleatorio en el que algunos alelos no son reproducidos de una generación a otra, y que es más marcado en poblaciones pequeñas.

Cuellos de botella genéticos. Reducción súbita del tamaño poblacional.

Endogamia. Entrecruzamiento entre individuos emparentados, obteniéndose una progenie con menor vigor.

Exogamia. Entrecruzamiento entre individuos de poblaciones adaptadas a distintas condiciones, por lo que la descendencia será menos apta en cualquiera de ambos ambientes.

Una vez que la riqueza genética se abate, es imposible recuperarla, pues los individuos que se han perdido se han ido con todo y su información genética única. No obstante, aunque no se puede recuperar exactamente la misma, se puede lograr un buen nivel de variación, con otros individuos y su respectiva información genética. Por ello es que cuando el daño ya está causado, la tecnología genética puede ayudar en la restauración de poblaciones, pero no en la restitución de la riqueza genética, al menos por ahora.

Se puede contribuir al manejo y promoción de la variación genética mediante consideraciones y prácticas sencillas como: La pérdida de diversidad genética es motivo de preocupación; las poblaciones genéticamente efectivas (N_e) grandes, son mejores que las pequeñas; prevenir que las poblaciones se hagan muy pequeñas, de lo contrario aumentarían la endogamia y la deriva genética; las poblaciones que hayan estado aisladas históricamente, mantenerlas así; evitar tanto la selección artificial como la selección disgénica; si una población declina, promover su crecimiento; y, evitar la depresión por endogamia tanto como sea posible.

Emplee planta de calidad

Una planta de calidad es la que sobrevive y crece bien en el sitio de plantación, gracias a los atributos morfológicos y fisiológicos que posee, los cuales están interrelacionados. Las plantas están adaptadas a su ambiente, de donde se deriva que para cada sitio de plantación existe una calidad de planta ideal, un ideotipo. Si se toma como referencia a las plantas del desierto, muchas de ellas desarrollan un sistema radical extendido, para captar el agua de las escasas lluvias que rápidamente se percola. Igualmente, si se van a plantar árboles en un ambiente con limitaciones de humedad, deberán ser de una calidad tal que cuenten con sistemas radicales vigorosos y ramificados, habrán de tener una relación peso seco parte aérea: peso seco parte subterránea baja, una altura relativamente pequeña y un buen diámetro, así como una buena carga de potasio que contribuye a la apertura y cierre estomatal, entre otras características. Las plantas más altas no siempre sobreviven mejor, como es el caso en ambientes fríos, pero resultan de calidad para ambientes tropicales donde se espera competencia, por ejemplo, su altura representa ventaja en competencia por luz.

Una planta alta, muy vigorosa en su parte aérea, pero con un sistema radical con poca biomasa, poco ramificado, difícilmente tendrá buena supervivencia a menos que el sitio de plantación no exhiba limitaciones ambientales significativas. En el Cuadro 1 se describen las principales pruebas para estimar calidad de planta, sus características e interpretación.

Evite el efecto vivero

La información genética de los árboles permite que su descendencia se desarrolle bien en las zonas que han ocupado por siglos o milenios, en las que se presentan condiciones moderadas pero también extremas. En el vivero forestal se hace todo lo posible por evitar estas últimas, por la mortalidad que les acompaña. Pero el buen viverista sabe que la etapa final de la producción es la de endurecimiento, en la que se da rusticidad a la planta, someténdola a ligera tensión hídrica y en general a una mayor exposición a las condiciones ambientales directas. Si esta etapa no se lleva a cabo, la morfofisiología de la planta estará amoldada a las condiciones

del vivero y no estará preparada para confrontar extremos naturales de factores limitativos en el sitio de plantación.

Concéntrese en especies dominantes y en especies clave

Las especies más abundantes en un bosque, y/o las que tienen una mayor cobertura, se denominan dominantes. Por ello es lógico que para restaurar cierto bosque se planten las especies dominantes, las cuales forman una matriz o guardan relaciones ecológicas con otras especies, que facilitarán la restauración del área. Esta aproximación es la que tradicionalmente ha seguido la silvicultura.

A su vez, las especies clave son aquellas que tienen una importancia ecológica mayor que lo que su baja o relativamente baja abundancia evidenciaría. Tal es el caso de especies del género *Ficus* en las selvas, donde se ha detectado que una parte importante de la fauna frugívora depende de los frutos de estos árboles, en épocas en las que muchas de las especies de árboles no tienen frutos. Se ha observado que algo semejante sucede en Norteamérica con algunas especies de *Quercus*. Debe aclararse que las especies clave no están presentes en todos los ecosistemas, pero donde están y se conducen esfuerzos de restauración, también deben incluirse en los esfuerzos de reforestación.

Recree mezclas de especies y de edades

Muchos bosques tienen mezclas de especies dominantes, por ello su restauración debe tener como una de sus metas la obtención de dicha mezcla. Este problema no es tan trivial como el percatarse de la densidad de cada componente, por ejemplo, una especie de pino y otra de encino y respetar dicha proporción en la plantación. Esta área requiere de investigación, pues la supervivencia esperada de cada especie puede ser diferente. Más aún, el patrón de distribución y la proporción de individuos de cada especie, pero especialmente la tasa de crecimiento, pueden conferir ventaja competitiva a una especie y alterar la proporción entre especies conforme los árboles van ganando años. De ahí que para obtener determinada proporción entre las especies en una masa madura, sea necesario partir de otra proporción establecida, considerando estos aspectos y otros, como la tolerancia o con prácticas silvícolas que ayuden a obtener o mantener tal proporción. Evidentemente, al aumentar la diversidad de especies arbóreas, como en las selvas, se hace más difícil esta labor.

Por su parte, los bosques constituidos por distintas masas coetáneas, cada una de ellas con diferentes edades, aun monoespecíficas, proporcionan diversidad de ambientes para distintas especies faunísticas. Por lo anterior, es deseable el establecimiento de plantaciones cada año, continuando las plantaciones establecidas en años anteriores sobre una superficie extensa.

CUADRO 1. Principales estimadores de calidad de planta y varias de sus características.

Indicadores	Interpretación para obtener buena supervivencia	Facilidad de obtención	Tiempo de obtención	Nivel de equipamiento requerido
Indicadores morfológicos				
Morfología parte aérea y subterránea	Puntos clave: Abundante y vigoroso follaje, buena altura, buen diámetro, raíz bien formada y ramificada, bien micorrizada	Muy fácil	Pequeño	Muy bajo
Altura	Buena, la excesiva es detrimental en áreas frías o secas	Muy fácil	Pequeño	Muy bajo
Diámetro	Altos valores en ambientes fríos o secos	Muy fácil	Pequeño	Muy bajo
Peso seco	Medio (sitios con limitaciones), alto (sitios productivos)	Fácil	Medio	Bajo
Acículas primarias	Valores elevados de número o biomasa	Fácil	Medio	Bajo
Integración de varias características	Follaje, altura, diámetro, raíz, micorrización, y otros	Fácil	Medio	Bajo
Índices morfológicos				
Coficiente de esbeltez	Valores bajos (sitios con limitaciones de humedad y/o bajas temperaturas)	Fácil	Pequeño	Muy bajo
Índice de Dickson	Valores tendiente a bajos en ambientes fríos o con limitaciones de humedad	Fácil	Pequeño	Bajo
Relación peso anhidro parte aérea:peso anhidro parte subterránea	Valores bajos en sitios con limitaciones de agua, valores ≈ 1 en sitios no particularmente limitativos	Fácil	Medio	Bajo
Indicadores fisiológicos				
Concentración de nutrientes	Valores óptimos de concentración (ni deficitarios ni excesivos)	Fácil enviando a laboratorio, no fácil si el interesado hace determinaciones	Medio a largo	Medio a alto si se hacen las determinaciones, muy bajo si se mandan a hacer
Tensión hídrica	Valores moderadamente bajos	Regular	Pequeño a medio	Medio
Concentración de carbohidratos	Valores altos dan mayor posibilidad de recuperarse ante tensiones y daños	No fácil	Largo	Medio a alto
Actividad mitótica en la yema	Valores altos denotan más vigor	Regular	Largo	Medio
Fluorescencia de la clorofila	Valores altos	No fácil	Largo	Alto
Concentración de clorofila	Valores altos	No fácil	Largo	Medio a alto
Tasa fotosintética	Valores altos	Regular	Medio	Medio a alto
Conducción estomatal	Valores altos	Regular	Medio	Medio a alto
Otras pruebas				
Crecimiento potencial de la raíz	Valores altos (aplica mejor para especies que forman mucha raíz y en sitios sin limitaciones)	Fácil	Largo	Bajo a medio
Crecimiento potencial de la parte aérea	Valores altos	Fácil	Largo	Bajo a medio
Resistencia al frío	Valores bajos de daños estimados visualmente (con base en evaluación de necrosis bajas), valores bajos de conductividad electrolítica	Regular	Medio a largo	Medio

Tome en cuenta la sucesión ecológica

Volviendo al ejemplo de pino-encino, las complejas relaciones sucesionales entre pinos y encinos hacen menos claro el panorama. En varios casos los pinos anteceden a los encinos en la sere, pues muchos de los últimos son tolerantes. Sin embargo, lo anterior no es garantía de que

las asociaciones pino-encino representen el paso de pinar a encinar o viceversa en algunos casos, sino que tal mezcla de especies puede ser una verdadera asociación.

En el escenario tropical la sucesión es más compleja. No obstante, varias especies comerciales de interés, como *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* colonizan áreas

perturbadas y por ello se utilizan en las plantaciones de enriquecimiento de acahuales, que además de propiciar la presencia de especies de interés maderable, representan una forma de contribuir a acelerar la sucesión ecológica (Figura 2).



FIGURA 2. Plantación de enriquecimiento de acahuales, Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas.

Quando sea menester use especies exóticas o las no dominantes

En diversos casos de áreas que han sufrido una gran erosión, no es sencillo reintroducir las especies que originalmente había ahí, en tanto se recupera el suelo. En tales situaciones se pueden usar exóticas como el plástico eucalipto. No obstante, también se podría trabajar con especies colonizadores de esa localidad. Las plantaciones protectoras con especies exóticas, en varios casos no afectan la riqueza de especies del sotobosque y proporcionan servicios a los pobladores de las ciudades que acuden a recrearse a estos bosques artificiales de interfase urbana-forestal. Entonces se estará haciendo reemplazo; es decir, el establecimiento de un ecosistema alternativo diferente al original, pero que también proporciona bienes y servicios. De cualquier forma la modificación del ambiente que irá produciendo el bosque artificial, permite que en el futuro se conecte con especies nativas y se reencamine el esfuerzo a la restauración o bien puede decidirse mantener las exóticas.

En el Parque Desierto de los Leones, D. F., desde principios de 1980 la contaminación del aire y otros factores, conjunción conocida como declinación forestal, comenzó a matar los oyameles, al punto que a mediados de esa década se tenía una mortalidad del orden de 50 % del arbolado adulto, lo que requirió la extracción de estos árboles muertos y el establecimiento de plantaciones. La declinación forestal también mató la mayor parte de regeneración e individuos jóvenes, por lo que no se consideró prudente plantar oyameles, optándose por *Pinus ayacahuite*, *Cupressus*

lindleyi y *Pinus patula*, presentes en el parque y que exhibieron una mayor resistencia al fenómeno aludido, en comparación con el oyamel (Figura 3). Otra posibilidad por la cual a la fecha no se ha optado en ese caso, es el uso de *Quercus* y *Garrya*, más tolerantes a la polución, y correspondientes a etapas sucesionales previas, para posteriormente arribar al bosque de oyamel, asumiendo que las emisiones de contaminantes se redujesen significativamente. Tal opción de emplear especies correspondientes a etapas sucesionales previas a las del bosque degradado, se define como rehabilitación.



FIGURA 3. Paraje el cementerio, evidenciando los impactos de la declinación forestal en el oyamental (arriba). Dos décadas después el sitio ha sido rehabilitado (abajo). Parque Desierto de los Leones, D. F.

Use un patrón de distribución apropiado, incluyendo el irregular

Los patrones naturales de distribución de planta tendientes a uniforme se pueden observar en especies de zonas áridas, donde las limitaciones por humedad contribuyen a una distribución de plantas que hace eficiente la captación de agua para cada una de ellas, lo cual se logra al quedar un espacio de crecimiento aproximadamente



FIGURA 4. Plantaciones sobre curvas de nivel, combinadas con terrazas de formación progresiva, Texocuiapan, Puebla (arriba). Plantaciones sobre curvas de nivel con *Agave*, combinadas con líneas de piedra acomodada. Sierra de Arteaga, Coahuila (abajo).

equitativo entre las mismas. Igualmente, la distribución en líneas o tendiente a ésta es típica de árboles en bosques de galería, y es de utilidad en plantaciones sobre áreas incendiadas a gran intensidad o en general con fines de abatimiento de erosión (Figura 4).

Sin embargo, muchas especies en diversos ambientes, tienen una distribución más tendiente al azar y no pocas veces relacionada con ventajas proporcionadas por micrositios, cuya distribución también influirá en la distribución de las plantas. La combinación de factores como competencia intra e interespecífica, presencia de micrositios, y apertura de claros por disturbios, entre otros, determinará la distribución de los árboles. Dicha combinación, con frecuencia tiende a aleatoria o irregular y este último patrón debe incluirse con más frecuencia en los proyectos de reforestación, si no en toda la plantación en parte de ella.

Desde luego, se recomienda aprovechar o crear

micrositios paralelamente y no dejar tan cerca entre sí los árboles que sufran competencia, ni tan distanciados que se desperdicie espacio de crecimiento. Se recomienda una distancia mínima de 1.5 m y una distancia máxima de 3.5 m.

Use diferentes densidades de plantación

Maneje un par de diferentes densidades de plantación, pues las plantaciones más abiertas en comparación con las más cerradas, en general tendrán mayor diversidad de especies del sotobosque, dada la mayor penetración de radiación solar directa, y se estará recreando la regeneración del bosque en diferentes situaciones. Asimismo, se estará facilitando la emulación de diferentes etapas de desarrollo del bosque en distintas condiciones, al combinar dichas densidades con diversos años de plantación en distintos sitios. Esta heterogeneidad de rodales o masas, también será un gran auxiliar para la diversificación de la fauna silvestre asociada a cada condición.

Aproveche micrositios existentes o creelos

El área a reforestar, aunque parezca uniforme, muchas veces no lo es si se examina cuidadosamente. Contará con microrelieve, presencia de pequeñas rocas, tal vez tocones, pequeños promontorios y algunos arbustos. Estas características implican diferencias en radiación solar, en humedad del sustrato, en disponibilidad de nutrientes, entre otros factores, que representan ventajas en términos de germinación para las semillas que llegan a ellos y de supervivencia y crecimiento para los brinzales que ahí se desarrollan.

Este hecho puede ser capitalizado plenamente en plantaciones de restauración. Los micrositios pueden ser aprovechados (tocones, rocas, troncos) o creados acomodando pequeñas rocas sobre el terreno. Es bien conocido que en el hemisferio norte la insolación a lo largo del año es mayor sobre la exposición sur, particularmente la suroeste, confiriéndole condiciones más secas; en cambio, la exposición norte, en especial la noreste, recibe menor radiación solar a través del año y es más húmeda en consecuencia. Esto es cierto tanto para las laderas de una montaña como para los lados de una roca. De ahí que la colocación de pequeñas rocas, de unos 20 cm o más de altura, contribuye a mantener un poco más de humedad hacia su lado noreste y temperaturas un poco menores bajo su sombra que en las áreas expuestas, representando un mejor microambiente para el árbol que ahí esté plantado (Ramírez y Rodríguez, 2004) el cual debe ponerse a unos 15 cm de distancia (Figura 5). Estas rocas, tocones o segmentos de troncos o ramas también ayudan a que el ganado se desvíe y no pise los árboles. Esta práctica recuerda al sistema español, que entre otras características incluye la colocación de piedras en torno al tallo del brinjal para conservar más humedad.



FIGURA 5. Micrositio para *Quercus rugosa* plantado, creado con una roca. Sierra de Guadalupe, Estado de México.

La mera apertura de una simple cepa implica la generación de un micrositio, pues al aumentar la mezcla de aire en el suelo con esta práctica, se reduce la compactación, se mejora la capacidad de almacenamiento de agua y, al invertir la mitad superior de suelo por la inferior, se pone a nivel de la raíz la parte más fértil de aquél. Vale la pena recordar a los sistemas de plantación Saucedá I y II, diseñados para captar más agua en ambientes con limitaciones de humedad.

Un caso especial de micrositio es el de las especies nodriza, que se refiere a continuación.

Aproveche o plante especies nodriza

Está demostrado que, en promedio, los primeros cinco años de vida de una plantación representan la etapa más susceptible a la competencia interespecífica, y que los zacates son los más tenaces competidores para los árboles, dado su carácter colonizador, basado en su senda fotosintética C4 y en su profuso y fibroso sistema radical, además de su rápido crecimiento. Diversos arbustos también son competidores para los árboles. Sin embargo, variadas especies arbustivas o semiarbustivas representan poca o nula competencia para los árboles o aunque la presenten no es letal y son más las ventajas que pueden resultar para el árbol por su cercanía con el arbusto.

Estas ventajas son ocultamiento, protección mecánica, protección ante factores meteorológicos extremos, aprovisionamiento de agua y de nutrientes. En diferentes casos pueden presentarse una o más de estas ventajas (Figura 6).

Ocultamiento. El cuerpo del arbusto cubre en parte al árbol y lo deja invisible para fauna o ganado.

Protección mecánica. Especies arbustivas espinosas o el obstáculo físico representado por una roca, ayudan a alejar fauna nociva o ganado del árbol plantado.



FIGURA 6. *Penstemon gentianoides* como especie nodriza para *Pinus hartwegii* plantado. Ajusco, Distrito Federal.

Protección ante factores meteorológicos extremos. Los arbustos reducen el embate del viento y la desecación por el mismo o su efecto gélido, según el caso, sobre los árboles. Mediante su sombra, también reducen en varios grados centígrados las altas temperaturas y abaten la deshidratación del arbolito. Por ejemplo, Myers (1992), señala que en el sureste de los Estados Unidos, la sombra de los arbustos protege a las plántulas de *Pinus palustris* ante altas temperaturas en el suelo y condiciones desecantes. Las temperaturas extremas pueden ser de 11 a 17 °C menos bajo la copa de arbustos que en áreas expuestas (Cleary *et al.*, 1982).

Aprovisionamiento de agua. En algunos casos, como el descubierto por Richards y Caldwell (1987) en *Artemisia tridentata*, se halló que el profundo sistema radical de estos arbustos absorbe humedad de los mantos freáticos en zonas con limitaciones de humedad y durante la noche libera una parte de la misma en las capas superficiales del suelo, representando una mayor disponibilidad para las plantas cercanas al arbusto. Este fenómeno se puede aprovechar en programas de reforestación, plantando esta especie en sus áreas de distribución y así favoreciendo indirectamente al establecimiento de otras plantas, o empleándola como especie nodriza de otras especies leñosas a plantar, propias de la zona.

Aprovisionamiento de nutrientes. El efecto de isla de fertilidad, descubierto en *Prosopis* (Dr. García Moya, comunicación personal, 1991), también puede aprovecharse, pues debido a la producción de residuos, los nutrientes del suelo son más abundantes cerca de los arbustos que lejos de los mismos, particularmente en sitios de baja productividad.

Algunos otros ejemplos de especies con evidencia de su papel de nodrizas mediante resultados de investigaciones

en curso, son *Lupinus montanus* y *Penstemon gentianoides*, ambos para *P. hartwegii*, que colonizan pinares incendiados en el centro de México, así como el conocido caso de *Baccharis conferta* con *P. patula* y *P. teocote*, aun y cuando este último arbusto también reviste competencia.

Chaponee

Los zacates causan muchas fallas entre los brinzales plantados. La labor de chaponeo, más allá de reducir la competencia, también contribuye a generar un micrositio, pues ayuda a reducir la exposición directa de los arbolitos ante el viento desecante o gélido, y la sombra parcial de la pared de pastos ayuda a abatir extremos de temperatura. Por todas estas razones, se refuerza la necesidad de realizar esta tradicional práctica.

Incluya claros

Los claros son aperturas de dosel producidas por la muerte de un árbol o de un grupo de árboles a causa de disturbios naturales, tanto bióticos como abióticos. Son muy relevantes para la regeneración de diversas especies arbóreas y forman parte de la dinámica poblacional de muchas especies vegetales. Existen tanto en áreas tropicales como templado frías (Figura 7) y semiáridas, generados a causa de mortalidad individual de árboles, viento, fuego, plagas o fauna silvestre, como las vizcachas, enormes roedores que abren grandes claros alrededor de sus madrigueras, entre los matorrales semiáridos sudamericanos.

Los claros favorecen heterogeneidad de ambientes, incrementando la radiación solar que incide sobre el piso forestal, por lo que promueven la riqueza de especies del sotobosque, contribuyendo a diversificar el hábitat para sostener una mayor diversidad de especies faunísticas. Las especies herbáceas y arbustivas que crecen bajo dosel, no siempre son las mismas que lo hacen en áreas abiertas o claros.



FIGURA 7. Claro en bosque de pino, fotografiado con lente hemisférica. Distrito Federal.

Estos claros pueden diseñarse de origen, dejándolos sin árboles al momento de establecer la plantación forestal. O bien se pueden crear cuando los árboles son adultos, mediante selección por grupos, permitiendo un modesto aprovechamiento local o a pequeña escala. Sin embargo, saltan a la mente aspectos como el tamaño y forma que deben tener los claros y su cantidad. Está establecido que si los claros tienen como diámetro más de tres veces la altura media de los árboles que lo circundan, las condiciones de tiempo atmosférico se asemejan a las de un área deforestada extensa, así que no debe rebasarse la dimensión consignada. Su forma puede ser circular, si bien Rodríguez *et al.* (2003), refieren que la forma elipsoidal con orientación NE a SO es particularmente favorable en condiciones de limitaciones de humedad. La cantidad de claros debe ser relativamente baja, de tal manera que aunque se genere heterogeneidad, no se reduzca la cobertura arbórea a menos de 95 %, por lo que cada 10 ha arboladas podrían incluir un máximo de 0.5 ha de claros. No obstante, en algunos casos la cobertura arbórea podría ser menor. Considerando una altura media de 25 m para árboles adultos, y claros con un diámetro igual a la altura mencionada, la superficie por claro sería igual a 491 m². Si se desea mantener una cobertura arbórea de 97.5 %, en una superficie de 10 ha, el 2.5 % de la superficie, esto es 0.25 ha, corresponderían a aproximadamente cinco claros o a uno de tales dimensiones por cada dos hectáreas. Pueden incluirse claros con diferentes tamaños y formas.

El manejo de claros debe ser dinámico. Con el tiempo la regeneración natural o artificial los puede aprovechar, lo que contribuirá a tener rodales coetáneos, en grupos de diferentes edades. Pero también se abrirán claros nuevos, manteniendo las proporciones recomendadas.

Cabe recordar que existen estudios que demuestran que la infiltración en un bosque con algunas pequeñas matarrasas puede superar a la que se presenta en bosques de condiciones semejantes pero no intervenidos, lo que da pábulo para pensar en un beneficio adicional de los claros, relacionado con la mayor captación de agua.

Desde luego, se asume que los claros no crecerán, que los factores humanos socioeconómicos que originaron la destrucción del bosque han sido contenidos y que la plantación no correrá el mismo destino que el señalado bosque.

Propicie el hábitat para la fauna

La variedad en especies, densidades y claros, entre otras, genera heterogeneidad de ambientes y por ende se incrementa la diversidad faunística. En particular si además se manejan materiales muertos acumulándolos, lo que favorecerá entomofauna, roedores y reptiles. Este manejo de materiales leñosos debe estar en concierto con el manejo de combustibles forestales, a efecto de tener un bajo o relativamente bajo peligro de incendios forestales. Los

materiales se pueden acumular en montones pequeños o en bandas de baja altura discontinuas y paralelas a las curvas de nivel. La variedad en árboles y arbustos favorece a aves (especies para anidamiento) y varios mamíferos. Los claros facilitan la presencia de especies que sirven de alimento a mamíferos como los venados. También deben dejarse árboles muertos en pie, donde hacen sus cavidades diversas aves, y que al ser abandonadas son ocupadas por otras aves (Figura 8).



FIGURA 8. Cavidad hecha por la fauna en tronco muerto en pie. Distrito Federal.

Aunque con variación entre especies y hábitats, varios investigadores han establecido que para que un bosque sostenga poblaciones viables de algunas aves y pequeños mamíferos, debe tener por lo menos una superficie igual a cinco ha.

Comience de arriba hacia abajo

Muchas veces conviene seguir tal secuencia al trabajar en las montañas, pues en las partes más altas es de esperar mayor erosión, por las más pronunciadas pendientes. Evidentemente, en otros casos la prioridad puede ser el restaurar primero las partes bajas, como cuando las zonas altas no están afectadas y las de menor altitud sí lo están.

Respete los patrones del paisaje

Si se trabaja en la restauración de los ecosistemas de una montaña, al reforestar hay que respetar el patrón de ecosistemas presente en el paisaje, entendido este último como un grupo de ecosistemas que interactúan entre sí. De tal forma que si las partes más elevadas corresponden a *Pinus hartwegii*, un piso menor a *Abies religiosa* y otro más abajo a *Pinus teocote*, al restaurar hay que poner las especies debidas a lo largo del gradiente altitudinal. Si en ciertas montañas “insulares” de Sonora se quiere reforestar paisajes que tenían intercaladas masas de *Arctostaphylos*,

otras de *Populus* y otras de *Quercus*, se debe tratar de recrear esos patrones plantando las especies correspondientes en sus áreas.

Reduzca fragmentación y cree corredores

Las áreas de plantación deben tender a crear extensos bosques artificiales a través de los años, por lo que la conexión entre áreas reforestadas es crucial para compactarlas. La conexión de fragmentos de bosque mediante plantaciones, permitirá incrementar el coeficiente forestal y que eventualmente la fauna, particularmente aquella que no atraviesa áreas deforestadas, pueda usar esos corredores para llevar a cabo entrecruzamiento y prevenir la degradación genética de sus poblaciones debida a endogamia, deriva genética o a cuellos de botella genéticos. En China, uno de los países que más restauración realiza en el planeta, establecieron enormes corredores de bambú, con anchuras de kilómetros, para el oso panda y tuvieron éxito.

Restauración de la vegetación riparia

Por su mayor humedad, particularmente en zonas semiáridas, los bosques de galería ostentan una elevada diversidad de especies, representan un objeto de conservación o de restauración en sí, pero también son importantes porque en su compleja estructura encuentran áreas de anidamiento o alimento diversas aves y otras especies animales. La fauna llega a estas áreas a beber y emplea estos corredores para movilizarse. Incluso la proporción de sombra sobre la corriente de agua influye en el régimen térmico para los peces. Lo anterior, sin menoscabo del importante rol de este tipo de ecosistemas en la regulación hidrológica. Debido a estas razones, es prioritario restaurar estas áreas.

Un reto colosal en el país, es el abatir la significativa contaminación de los ríos, donde habrá de intervenir la ingeniería ambiental más contundentemente. Sin embargo, la plantación de árboles puede ayudar con este particular problema. Por ejemplo, en zonas agrícolas en las que los escurrimientos trasladan fertilizantes y pesticidas a los ríos aledaños, el establecimiento de bandas anchas con árboles a alta densidad sobre las márgenes del río, con especies de rápido crecimiento con *Salix mexicana*, pueden ayudar a resolver al menos en parte el problema de eutrofización e incluso también en parte el de sedimentación, al absorber nutrientes y retener sedimentos, respectivamente.

Proteja

Diversas de las prácticas señaladas en los párrafos anteriores, bien distribuidas espacialmente, pueden facilitar esquemas de protección forestal ante incendios, con manejo de combustibles forestales o ante plagas forestales cuyos efectos pueden ser menores dada la diversidad de especies y edades a que se tiende con este tipo de diseños.

A reserva de lo anterior, resulta clave el tratar de avenirse recursos para poder contar con o tener acceso a brigadas de prevención y combate de incendios forestales con experiencia y debidamente capacitadas y equipadas, así como inspeccionar periódicamente la plantación para detectar y controlar oportunamente cualquier brote de insectos o enfermedades forestales. La vigilancia en la plantación contribuirá a abatir la probabilidad de perturbaciones humanas.

En otras actividades se puede contar con la valiosa participación de personas en formación, como es la apertura de brechas cortafuego (Figura 9).



FIGURA 9. Apertura de brecha cortafuego en torno a las plantaciones forestales de Las Cruces, Estado de México, por estudiantes de Restauración de la DICIFO, UACH.

Considere el régimen de disturbios naturales

Los ecosistemas están caracterizados por su composición, estructura y función. En esta última entran procesos como los disturbios naturales, que a su vez influyen en las tres propiedades referidas. Los disturbios naturales son eventos físicos, químicos o biológicos que liberan espacio de crecimiento entre la vegetación. Ejemplos de ellos son rayos, huracanes, plagas, inundaciones, enfermedades e incendios forestales. El conjunto de atributos que caracterizan a los disturbios es denominado régimen de disturbios. Así, en el caso del régimen de incendios forestales, existen una frecuencia media y su variación en el periodo de retorno del fuego, una época en que se presentan estos eventos, así como determinada intensidad, severidad, extensión y regularidad o irregularidad de afectación, entre otras características.

Se estima que por lo menos 40 % de la superficie cubierta por vegetación en México corresponde a ecosistemas adaptados al fuego, es decir que los incendios contribuyen a preservarlos. Se trata de ecosistemas mantenidos por el fuego, entre los que se cuentan pinares, zacatales, muchos

matorrales, sabanas, tulares, popales, palmales, y varios encinares.

En estos ecosistemas, más que la simple presencia de incendios, la alteración de sus regímenes de fuego, por la mano del hombre vía una excesiva recurrencia de los mismos o a través de su exclusión, con la inevitable eventual presencia de eventos catastróficos o bien propiciándolos en épocas diferentes a las de su ocurrencia natural, es la que empuja a la deforestación y a la degradación.

En el manejo de las plantaciones de restauración, en ecosistemas mantenidos por los incendios, se debería considerar el manejo del fuego, a reserva de su uso en la preparación del sitio, mediante quemas prescritas de baja intensidad a inicios de la época de incendios, cuando aún no comienza la temporada de crecimiento de los árboles, y una vez que los árboles tengan suficiente porte para tolerar el paso del fuego con tales características. El propósito sería la reducción de combustibles forestales, un uso agroforestal mediante un pastoreo moderado con ganado vacuno por ejemplo, así como la promoción de la diversidad de especies del sotobosque por la reducción temporal de la cobertura de zacates gracias al fuego (Figura 10). Debe anotarse que factores como la densidad del arbolado pueden relacionarse con su supervivencia ante el paso de las llamas. Rodríguez *et al.* (en prensa), refieren que un año después de quemas prescritas de alta intensidad, la mortalidad de arbolado juvenil de *P. hartwegii* de 2 a 8 m de altura fue mucho mayor en áreas densas (900 a 2,500 ha⁻¹) que en áreas poco densas (300 a 700 ha⁻¹). En el primer caso prevalece la hojarasca como combustible, su combustión transmite más calor a las raíces y mata muchos más árboles que en las áreas abiertas donde al quemarse los zacates (el combustible preponderante), la mayor parte del calor se libera hacia arriba, afectándose menos a las raíces.



FIGURA 10. Mayor diversidad de especies arbustivas y herbáceas debida a una quema prescrita de baja intensidad en un pinar del Valle de México.

Debe recordarse también que en Norteamérica, el fuego

es una herramienta de restauración y de manejo del hábitat de la fauna silvestre. Sin embargo, para su mayor uso en México aún hay que modificar la Ley Forestal, así como contar con más personal, capacitarlo en la realización de quemas prescritas y llevar a cabo más investigación sobre ecología del fuego y efectos de los incendios para soportar tales prácticas. No obstante, en el país se está avanzando en esa dirección, poco a poco.

DISEÑO ESTÉTICO DE PLANTACIONES

El diseño estético procede de la escuela de Bell (1995), orientado a la recreación de los bosques ingleses. Dicho autor plantea los siguientes puntos: forma, escala, uniformidad, diversidad e identidad.

Forma. Está determinada por las topoformas y la vegetación, así como por la matriz de uso del suelo.

Escala. Se relaciona con la percepción de los alrededores con respecto a nuestro tamaño y la cantidad de paisaje que podemos ver (Figura 11).

Unidad. Idealmente, las partes del paisaje deben ser armoniosas.

Diversidad. Aplica a diferentes niveles: especies, tipos de vegetación, estratos, paisajes y otros.

Identidad. El sitio de plantación tiene elementos socioculturales asociados a los recursos naturales, que les son particularmente intrínsecos únicos y esto les otorga un valor asociado extra. Si se planea plantar árboles en el parque El Contador, donde se cuenta que fue Netzahualcoyotl quien estableció los ahuehuetes originales, la especie a utilizar debe ser *Taxodium mucronatum*.

Aunque Bell no lo especifica, los atributos de diseño son totalmente compatibles con aspectos ecológicos. En seguida se proporcionan algunos ejemplos. Respecto a la forma, estos patrones pueden ser relativamente constantes, generados por la intergradación de ecosistemas sobre el paisaje, y que son repetitivos en diferentes paisajes, como el que los *Abies religiosa* con frecuencia se encuentran sobre las exposiciones norte o las secuencias altitudinales de distintos tipos de vegetación o las secuencias de vegetación bajo el efecto topográfico de sombra de lluvia. Otro ejemplo es el relativo a la escala, en la que los claros que ayudan a generar heterogeneidad ambiental, también permiten al usuario de una plantación de interfase urbana-forestal que los contiene, el apreciar desde ellos la ladera de enfrente y su belleza, que sin el claro sería prácticamente imposible ver si la plantación fuese muy densa y extensa. Esto es, sin claros sólo se apreciaría la escala de los árboles cercanos, mientras que con claros se aprecia tanto la anterior como la escala correspondiente a la referida ladera. Por otra parte, la diversidad debe ser armoniosa no sólo

visualmente, también ecológicamente. Una plantación de pino-eucalipto no es armoniosa, como sí lo es una de pino-encino.



FIGURA 11. Desde el claro que se tomó la foto se aprecian árboles en el plano medio, y el volcán La Malinche a lo lejos. Si este punto tuviese arbolado muy denso, sólo se apreciaría un plano inmediato con troncos. Tlaxcala.

COMENTARIOS ADICIONALES

La mayoría de las propuestas realizadas hacia el diseño ecológico de plantaciones, son de fácil y económica ejecución. Sin embargo, no es recomendable o no es fácil llevarlas todas a cabo en un solo sitio. Es claro que en algunos casos serán convenientes solamente algunas. Sin embargo, la realización de por lo menos una de ellas, acerca la composición, estructura y función del bosque artificial a los parámetros de estas características en los bosques naturales. La ejecución de varias de estas opciones, repercute en mejor supervivencia y consecuente mejor uso de la inversión económica.

Cuando exista la opción de incluir varias características, es recomendable combinar con concierto, no arbitrariamente, siguiendo patrones naturales a diferentes escalas, desde micrositos, distribución de especies dominantes, uso de claros, y combinación de especies a escala de paisaje. No es conveniente ni procedente realizar sólo una mezcla desordenada.

Evidentemente, son abundantes los retos para la investigación en ecología de la restauración, a efecto de apoyar la restauración ecológica. Sin embargo, existe experiencia y mucha necesidad, por lo que también debe aprenderse haciendo. No debe olvidarse el carácter de manejo adaptativo que tiene la restauración, donde se van usando experiencias operativas y resultados de investigación inmediatamente después que se van obteniendo. Aquí sobresale la relevancia de intercambiar experiencias con camaradas y la publicación de resultados para divulgarlos.

Respecto a algunos aspectos sociales y en el caso de incendios y deforestación en general, si no se contrarresta el problema de fondo (pobreza, falta de oportunidades productivas, falta de cultura forestal) paralelamente a los esfuerzos de reforestación, la plantación tendrá el mismo fin que el bosque que se intenta restaurar.

Si el poseedor del bosque, natural o artificial, puede obtener algún usufructo del mismo, tenderá a conservarlo y restaurarlo para sí y para sus hijos y nietos. Cuando una comunidad hace suyo un proyecto de reforestación o de restauración bien llevado técnicamente y por ende participa activamente y se compromete con el mismo, entonces el proyecto realmente puede ser todo un éxito.

Si los árboles son útiles a la población, los conservarán mejor. Por lo cual más que imponer en las comunidades rurales las especies a plantar, hay que acordarlas con ellos. Si bien todo árbol es multipropósito, un atractivo especial lo representan las especies que tienen en particular usos diversos. En una población y sus inmediaciones, es conveniente diversificar las plantaciones con base en sus objetivos, de tal suerte que al menos se consideren varias opciones. Entre estas opciones están los sistemas agroforestales (como los sistemas en callejones, o las cortinas rompevientos o los cercos vivos, entre muchos otros). También caben las plantaciones a orillas de caminos y cuerpos de agua, la plantación de árboles para proporcionar sombra en las calles, así como plantaciones en cárcavas, en líneas sobre las curvas de nivel sobre laderas degradadas, entre otras.

Finalmente, de manera paralela a los esquemas de restauración y en la medida de lo posible, deben incluirse plantaciones comerciales y de sistemas agroforestales. Ambos representan oportunidad de ingresos u obtención de bienes para los pobladores de las zonas rurales, y por ende alivian la presión sobre las castigadas áreas naturales.

LITERATURA CITADA

- BELL, S. 1995. New woodlands in the landscape. *In*: Ferris-Kaan, R. (ed.). The ecology of woodland creation. Wiley-The Forestry Authority. Chichester. pp. 27-47.
- CLEARY, B. D.; GREAVES, R. D.; HERMANN, R. K. 1982. Regenerating Oregon's forests. Oregon State University Extension Service. Corvallis. 282 p.
- MYERS, R. L. 1992. Scrub and high pine. *In*: Myers, R. L.; Ewel, J. J. (eds.). Ecosystems of Florida. University of Central Florida. Orlando. pp. 150-193.
- RAMÍREZ CONTRERAS, A.; RODRÍGUEZ TREJO, D. A. 2004. Efecto de calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 10(1): 5-11.
- RICHARDS, J. H.; CALDWELL, M. M. 1987. Hydraulic lift: substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. Oecologia 73: 486-489.
- RODRIGUEZ TREJO, D. A.; DURYEY, M. L.; WHITE, T. L.; ENGLISH, J. R.; MC GUIRE, J. 2003. Artificially regenerating longleaf pine in Canopy gaps: initial survival and growth during a year of drought. Forest Ecology and Management 180: 25-36.
- RODRIGUEZ TREJO, D. A.; CASTRO SOLÍS, U. B.; ZEPEDA BAUTISTA, M.; CARR, R. First year survival of juvenile *Pinus hartwegii* trees to different intensity prescribed burns applied in different seasons International Journal of Wildland Fire 16, 2007. (en prensa).