

---

# Manual de **RESTAURACIÓN FORESTAL**

---



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**CONAFOR**  
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

Manual de  
**RESTAURACIÓN  
FORESTAL**



3.a edición: 2023

ISBN. Versión digital:

ISBN. Versión impresa:

Fotografía: Personal de la Gerencia de Reforestación y Restauración de Cuencas Hidrográficas y personal del programa en las Gerencias Estatales.

DR. © 2019. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)

Periférico Poniente No. 5360, Col. San Juan de Ocotán

C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México.

Tel. 01 (33) 3777-7000

[www.gob.mx/conafor](http://www.gob.mx/conafor)

## Mensaje del Director General de la CONAFOR

El Gobierno de México, encabezado por el presidente Lic. Andrés Manuel López Obrador, promueve el Desarrollo Forestal Sustentable, política pública dentro del cual se establecen acciones de Restauración Forestal, misma que desempeña un papel fundamental en la misión de recuperar áreas degradadas del país.

La Restauración Forestal permite mediante las distintas acciones y prácticas, la recuperación de los hábitats naturales y su permanencia, así como incrementar la probabilidad de que estas áreas vuelvan a desempeñar su papel vital en la mitigación de la pérdida de la biodiversidad del país.

En este sentido, el Gobierno de México, a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), promueve la participación activa de ejidos, comunidades, pequeños propietarios, pueblos indígenas y afromexicanos en la toma de decisiones sobre el uso y recuperación de los recursos forestales en sus territorios, acciones encaminadas hacia el fortalecimiento de la gobernanza local; lo anterior mediante la asignación de apoyos que además coadyuvan en la generación de empleo local y el mejoramiento del bienestar social.

En ese marco, el presente Manual es un documento que permite orientar a las personas beneficiarias del programa Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar en aspectos técnicos y de planeación, ejecución y seguimiento sobre los procesos de restauración forestal. Asimismo, es de utilidad para todas las personas interesadas en los temas de restauración de ecosistemas y al público en general, emplea un lenguaje simplificado, sin perder el sentido técnico necesario para explicar de forma sencilla el proceso de restauración y las acciones básicas requeridas para revertir los procesos de degradación de los ecosistemas.

**Luis Meneses Murillo**

# CONTENIDO

<b>Presentación</b>	6
<b>Introducción</b>	7
<b>Capítulo I. Principios básicos de la restauración ecológica y la restauración forestal</b>	9
<b>1.1 Restauración ecológica</b>	9
<b>1.2 Sucesión ecológica</b>	9
<b>1.3 La restauración y la capacidad de recuperación de los ecosistemas</b>	10
<b>1.4 Restauración Forestal</b>	11
<b>Capítulo II. Planeación</b>	13
<b>2.1 Áreas elegibles para la restauración forestal y reconversión productiva</b>	13
<b>2.2 Selección del sitio</b>	14
<b>2.3 Definición de los objetivos de restauración</b>	18
<b>2.4 Elaboración de un diagnóstico del sitio</b>	19
<b>2.5 Identificación de ecosistemas o modelos de referencia</b>	21
<b>2.6 Selección de especies</b>	22
<b>2.7 Selección de germoplasma</b>	25
<b>2.8 Estrategias de intervención</b>	27
2.8.1 Protección	28
2.8.2 Obras y prácticas de conservación y restauración de suelos	28
2.8.3 Reforestación	31
2.8.4 Prácticas de manejo de biodiversidad	38
2.8.5 Captación y manejo de agua de lluvia	41
2.8.6 Sistemas agroforestales (SAF)	42
<b>Capítulo III. Ejecución</b>	45
<b>3.1 Protección del predio</b>	45
3.1.1 Características mínimas del cercado	45
3.1.2 Instalación del cercado	46
3.1.3 Apertura de brechas cortafuego	50
<b>3.2 Construcción de las obras y prácticas de conservación y restauración de suelos</b>	52
<b>3.3 Reforestación</b>	52
3.3.1 Producción de planta	52
3.3.2 Calidad de la planta	53

3.3.3 Extracción y transporte de la planta	58
3.3.4 Manejo postvivero y traslado al sitio de reforestación	64
3.3.5 Trazo del arreglo de plantación	66
3.3.6 Calendario óptimo de plantación	73
3.3.7 Plantación	73
<b>Capítulo IV. Mantenimiento de las zonas restauradas</b>	86
<b>4.1 Mantenimiento de las actividades de protección</b>	86
<b>4.2 Mantenimiento de obras de conservación y restauración de suelos</b>	87
<b>4.3 Mantenimiento de la reforestación</b>	87
4.3.1 Reposición de planta muerta	88
4.3.2 Rehabilitación de cajetes	89
4.3.3 Control de malezas	89
4.3.4 Fertilización	92
4.3.5 Control de plagas y enfermedades	94
<b>4.4 Actividades complementarias al mantenimiento</b>	98
4.4.1 Podas	98
4.4.2 Aclareos	100
<b>Ejemplos de casos exitosos de restauración forestal</b>	102
<b>Referencias bibliográficas</b>	107

## Presentación

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) es un Organismo Público descentralizado cuyo objetivo es desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de planes, programas y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable.

Bajo dichos objetivos, la Estrategia Nacional de Restauración y Reconversión Productiva es uno de los instrumentos diseñados para ejecutar intervenciones en materia de restauración forestal a través de la focalización de superficies en microcuencas estratégicas, misma que considera factores técnicos, ambientales y económicos de los territorios con degradación forestal.

Las acciones de restauración forestal también responden a compromisos internacionales que ha suscrito México en cuestión de medio ambiente y desarrollo, como son los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, en términos específicos, la implementación de acciones de restauración forestal se alinea con los objetivos 13 “Acción por el clima” y 15 “Vida de ecosistemas terrestres”, los cuales promueven medidas urgentes que reduzcan la vulnerabilidad ante el cambio climático.

Mediante estos principios, el presente manual proporciona información y forma las bases para la ejecución de acciones de restauración forestal, entendiendo esto como un proceso integral donde influyen componentes naturales, sociales y técnicos, los cuales serán actores determinantes para el éxito de dichas acciones.

## Introducción

Los ecosistemas forestales son un factor determinante en la mejora de las condiciones sociales y económicas de las personas que habitan en las zonas forestales y rurales del país, en este sentido, dos de los grandes desafíos para México son conservar la extensión de sus bosques, selvas, humedales y zonas áridas, y recuperar las superficies forestales que se han perdido o degradado por factores como el cambio de uso del suelo, avance de la frontera agrícola y pecuaria, tala ilegal, y la expansión de las áreas urbanas. La pérdida y la reducción de la cubierta forestal están fuertemente ligadas a la deforestación, la cual puede darse como resultado de la presencia de plagas y enfermedades, incendios forestales y fenómenos naturales adversos, lo cual se traduce en la pérdida de suelos y superficie de bosques y selvas; así como, la pérdida en la producción de bienes y servicios ambientales.

La restauración forestal es el conjunto de actividades tendientes a rehabilitar un ecosistema forestal degradado para recuperar parcial o totalmente las funciones originales del mismo. Las acciones incluyen obras de conservación y restauración de suelos, protección de áreas reforestadas, reforestación, mantenimiento y el establecimiento de sistemas agroforestales como una opción en la reconversión productiva.

La CONAFOR, a través de la Estrategia Nacional de Restauración Forestal y Reconversión Productiva (ENRFRP) busca atender los terrenos forestales y preferentemente forestales degradados del país con acciones de restauración encaminados hacia el Manejo Integrado del Territorio, el cual permite una integración de políticas públicas de los tres órdenes de gobierno para la implementación de programas de manera coordinada para lograr un Desarrollo Rural Sustentable.



# Principios básicos de la restauración ecológica y la restauración forestal

# 1

## 1.1 Restauración ecológica

La Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER), define a la Restauración Ecológica como el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. El mismo organismo señala que la restauración ecológica se basa en modelos de referencia para restablecer la integridad biótica en términos de composición de especies y estructura de la comunidad, y recuperar las funciones del ecosistema (SER, 2004).

Atributos clave del ecosistema:

- **Composición:** se refiere a la variedad de organismos presentes en un ecosistema (McDonald, et al., 2016).
- **Estructura:** es la organización física de un sistema ecológico, incluyendo la densidad, estratificación y distribución de especies (sus poblaciones, tamaño de hábitat y complejidad), estructura de copa y el patrón de parches de hábitat, así como de elementos abióticos (McDonald, et al., 2016).
- **Funciones:** son el resultado de interacciones y relaciones entre la biota y elementos abióticos, esto incluye procesos ecosistémicos tales como la producción primaria, descomposición, reciclaje de nutrientes y la transpiración, y propiedades emergentes como la competencia y la resiliencia (McDonald, et al., 2016).

## 1.2 Sucesión ecológica

La sucesión ecológica es un proceso natural de recambio en la riqueza y abundancia de especies y comunidades, relacionado con las transformaciones microambientales y edáficas que ocurren después de un disturbio, y es la principal estrategia natural que poseen los ecosistemas

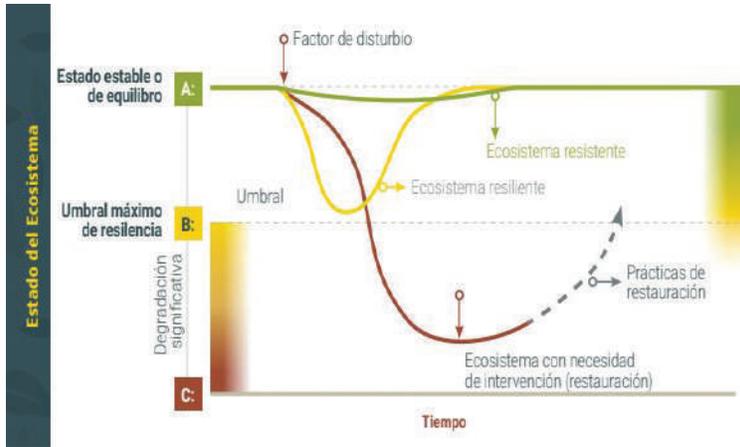
degradados para recuperarse (Proaño & Duarte, 2018).

Durante el proceso de sustitución de especies a lo largo del tiempo, la etapa de sucesión inicial presenta una predominancia de especies pioneras, que se caracterizan por una alta capacidad reproductiva, dispersión efectiva y crecimiento rápido, crecen estimuladas por la abundancia de luz y algunas están adaptadas a suelos pobres en nutrientes. En contraste, la etapa sucesional tardía se caracteriza por la presencia de especies maduras o tardías, las cuales presentan características opuestas a las especies pioneras, como estrategias de dispersión y reproducción más complejas (dispersión de semillas a través animales, polinizadores específicos, etc.), tolerancia a la sombra (en ecosistemas boscosos) y un crecimiento más lento, entre otras. Entre estos dos estadios, se encuentra una etapa intermedia con especies secundarias, que tienen un requerimiento intermedio de recursos entre las pioneras y las tardías, éstas se presentan después de la colonización de las especies pioneras y generan condiciones ambientales aptas para el desarrollo de las especies tardías (Begon *et al.* 2006, citado en Duarte, *et al.*, 2018).

De este proceso se deriva una clasificación de las especies en grupos sucesionales de acuerdo con su rol en el proceso de sucesión ecológica (pioneras, secundarias y tardías), que resulta de gran utilidad en la selección de especies para los proyectos de restauración.

### 1.3 La restauración y la capacidad de recuperación de los ecosistemas

Los ecosistemas naturales saludables tienen la capacidad de recuperarse por sí mismos de disturbios o cambios ambientales importantes que alteren su estado de equilibrio, esta capacidad se conoce como resiliencia. Se dice que un ecosistema es resiliente cuando es capaz de recuperar sus atributos estructurales y funcionales después de verse alterado por un disturbio; es decir, de volver a su estado de equilibrio (Proaño & Duarte, 2018), teniendo un comportamiento como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Respuesta de ecosistemas naturales a un disturbio. Fuente adaptado de Van Andel & Aronson, 2012.

De acuerdo con lo anterior, la restauración ecológica es una práctica necesaria cuando el ecosistema ha perdido su capacidad de recuperarse por sí sola, debido a la presencia de un disturbio cuya magnitud y/o duración excede sus capacidades intrínsecas. Idealmente, las prácticas de restauración buscan recuperar la resiliencia de los ecosistemas, interviniendo hasta alcanzar el punto en el que el ecosistema pueda seguir su desarrollo de forma autónoma (Proaño & Duarte, 2018).

Por lo tanto, la restauración debe entenderse como un proceso a largo plazo, en el que la magnitud y el tiempo de exposición del área al disturbio influirán en el tiempo que necesitará para recuperarse, así como en el nivel de recuperación que puede alcanzar (Proaño & Duarte, 2018). Gann *et al.* (2019) señalan que la restauración ecológica forma parte de una gama de actividades recuperativas que pueden concebirse como parte de un continuo, y cada una de éstas presenta diferentes alcances.

## 1.4 Restauración Forestal

Si bien, los conceptos descritos anteriormente abordan los aspectos ecológicos de la restauración, en la realidad los ecosistemas no funcionan de forma independiente del entorno que los rodea. La presión por la extracción de materias primas, el cambio de uso del suelo para fines productivos y la creciente demanda de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica y la fertilidad del suelo, entre otros, han creado la necesidad

de abordar el tema de la restauración desde un enfoque integral, que atienda la recuperación de la integridad ecológica tanto como las necesidades de la población que coexiste con estos ecosistemas degradados.

Como respuesta a esta necesidad, organizaciones internacionales como el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), han adoptado conceptos como el de Restauración del Paisaje Forestal, y lo definen como “un proceso planificado que pretende recuperar la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en paisajes forestales que han sido deforestados o degradados” (Maginnis *et al.*, 2007; Mansourian, 2005, citados en Newton & Tejedor, 2011).

En México, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable define a la Restauración Forestal como el “conjunto de actividades tendientes a la rehabilitación de un ecosistema forestal para recuperar parcial o totalmente sus funciones originales” (DOF, 2018), y en este sentido, la Estrategia Nacional de Restauración Forestal y Reconversión Productiva aborda el tema de la restauración bajo un enfoque de Manejo Integrado del Territorio (MIT), el cual, comprende la interacción entre diversos usos de la tierra, como áreas destinadas a la conservación, áreas con manejo forestal sustentable, reforestación, obras de conservación de suelo; sistemas agroforestales y prácticas de manejo de biodiversidad, para mantener y restablecer las funciones ambientales, sociales y económicas de áreas forestales degradadas.

# Planeación 2

## 2.1 Áreas elegibles para la restauración forestal y reconversión productiva

La CONAFOR identifica las zonas de elegibilidad con base en criterios técnicos y sociales, como el nivel de degradación en terrenos forestales, el porcentaje de cobertura de copa, la marginación y la presencia de comunidades indígenas, entre otros. Utiliza como herramienta los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar y procesar distintos tipos de cartografía digital, y publica los resultados del análisis de forma anual en la página Web oficial (Figura 2).

Los principales criterios para determinar las áreas elegibles son:

- Terrenos forestales con degradación ligera y moderada.
- Terrenos forestales de productividad baja con cobertura de copa menor al 20%.
- Terrenos preferentemente forestales.
- Terrenos forestales con productividad media con cobertura de copa entre 20 y 49%.

Los insumos para la delimitación de las áreas elegibles constan de dos tipos:

### **Información en formato Vector (Nacional y Estatal)**

- Uso del suelo y vegetación serie VII de (INEGI 2018).
- Estudios de degradación del suelo (COLPOS, 2002).
- Microcuencas (COLPOS-FIRCO).
- Información del Registro Agrario Nacional (Ejidos y comunidades).
- Índice de marginación por localidades (INEGI).
- Municipios de muy alta marginación (INEGI).
- Presencia de comunidades indígenas (INEGI).
- Marco Geoestadístico Municipal, División Estatal INEGI 2019.
- Marco Geoestadístico Municipal, División Municipal INEGI 2019.

- Marco Geoestadístico Municipal, Polígonos Urbanos INEGI 2019.
- Marco Geoestadístico Municipal, Localidades Rurales INEGI 2019.

### Información en formato Ráster (Imágenes Satelitales)

- Imágenes RAPIDEYE
- Imágenes Spot
- Imágenes Landsat
- Imágenes Sentinel
- Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)



**Figura 2.** Áreas elegibles 2022 para el concepto de apoyo RFM. Restauración Forestal de Microcuencas y regiones estratégicas. Fuente: CONAFOR 2022.

Esta información geoespacial se emite a nivel nacional y estatal y puede visualizarse en plataformas como Google Earth y distintos softwares de Sistemas de Información Geográfica (ArcMap, QGIS, etc.).

## 2.2 Selección del sitio

Para solicitar apoyos de restauración forestal, el predio propuesto debe estar dentro de las áreas elegibles establecidas por la CONAFOR y cumplir con los criterios de elegibilidad establecidos en las Reglas de Operación vigentes.

Para confirmar lo anterior, se pueden realizar los siguientes pasos:

**Primer paso**

Verificar que el predio esté dentro de las áreas elegibles, consultando en la página Web de la CONAFOR los mapas digitales a nivel nacional y por entidad federativa, o bien, si se cuenta con el polígono del predio en formato shapefile, ingresar a la siguiente dirección: [http://apoyos.cnf.gob.mx/areas\\_elegibilidad/](http://apoyos.cnf.gob.mx/areas_elegibilidad/), una vez en el sitio, realizar lo siguiente:

1. En la sección “Comprueba si tu terreno está dentro de algún área elegible”, seleccionar la opción “seleccionar archivo”; es importante mencionar que el sistema solo admite archivos en formato Shapefile (.shp) en coordenadas geográficas.
2. Una vez seleccionado el archivo, hacer clic en la opción “Buscar”, esperar unos segundos para visualizar los tipos de apoyo a los que tiene acceso el predio de acuerdo con las áreas elegibles (Figura 3).

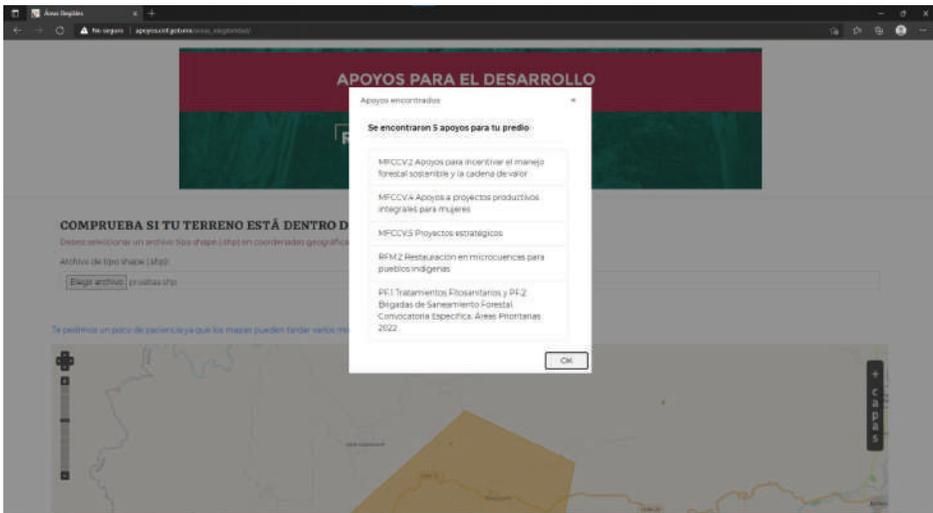


Figura 3. Vista de la página web de ubicación de las áreas elegibles de la CONAFOR.

**Segundo paso**

Realizar recorridos de campo en todo el predio para reconocer sus características y verificar que cumpla con los criterios de elegibilidad (Figura 4, Figura 5, Figura 6).



**Figura 4.** Ubicación de áreas que cumplen con los criterios de pérdida de cubierta forestal.



**Figura 5.** Reconocimiento en campo de las características del predio.



**Figura 6.** Ejemplo de un predio con un nivel de degradación moderado.

La cobertura arbórea promedio del o los polígonos propuestos a trabajar debe ser menor a 50% (Figura 7 y 8). En la Figura 9 se muestra un área que no cumple con los requerimientos mínimos.



**Figura 7.** Predio con cobertura de copa menor al 20%.



**Figura 8.** Predio con cobertura de copa entre el 20 y 49%.

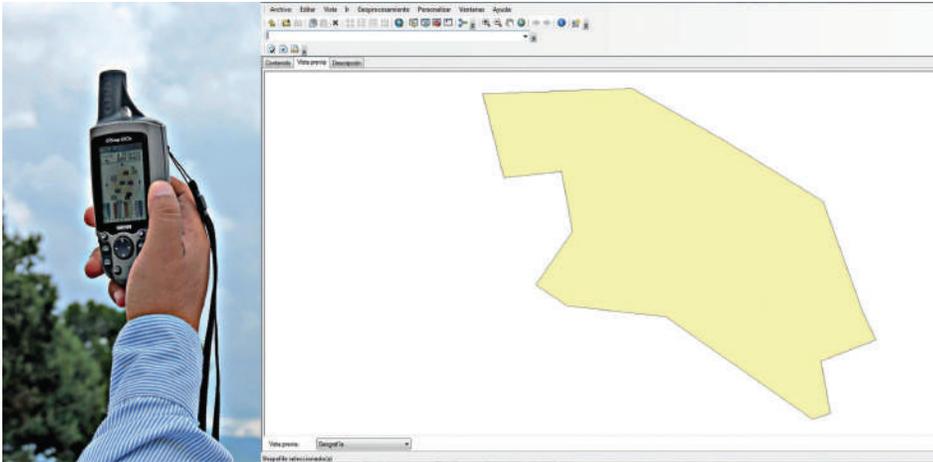


**Figura 9.** Predio con cobertura de copa igual o mayor al 50%, fuera de los criterios para la restauración forestal.

### **Tercer paso**

Realizar la Georreferenciación del predio (ubicación geográfica) mediante recorridos perimetrales y con el uso de un geoposicionador portátil (GPS) (Figura 10.)

Es importante considerar únicamente las áreas de predio que cumplen con los criterios de elegibilidad, dejando fuera aquellas que no se apeguen a éstos, por lo tanto, la delimitación puede resultar en más de un polígono.



**Figura 10.** Georreferenciación del predio y obtención del polígono definitivo.

## 2.3 Definición de los objetivos de restauración

Una vez seleccionado el sitio, se deben definir los objetivos del proyecto de restauración, para esto, es necesario tener claro el nivel de recuperación que se pretende alcanzar con la intervención, es decir, si se busca una restauración íntegra de ecosistema, la cual implica recuperar su composición, estructura y funciones al máximo posible, o si se busca la recuperación de servicios ecosistémicos puntuales, como el control de la erosión, la regulación hídrica, la fertilidad del suelo y/o fomentar el cambio de uso de suelo a sistemas de producción más sostenibles.

Considerando que la restauración se aborda desde un enfoque de Manejo Integrado del Territorio, pueden plantearse objetivos socioeconómicos además de los objetivos ecológicos que generalmente se incluyen en los proyectos. Estos objetivos usualmente se relacionan con la generación de empleos, la conservación de las tradiciones culturales, la diversificación de la producción y la generación de beneficios económicos, entre otros (Proaño & Duarte, 2018).

Es muy importante que los objetivos planteados (ya sean ecológicos o socioeconómicos) respondan a las preguntas ¿qué se quiere lograr? y ¿qué aspectos se quiere enfatizar?, pues en ellos se concentrarán los esfuerzos de monitoreo y evaluación del proyecto (Proaño & Duarte, 2018).

En la práctica, los objetivos están estrechamente relacionados con el uso que se dará al sitio restaurado (Cuadro 1), por lo tanto, en esta etapa de la planeación es fundamental la participación de los propietarios, pues el éxito de la restauración a largo plazo, depende en gran medida, de la aceptación y apropiación por parte de los involucrados (dueños).

**Cuadro 1.** Ejemplos de la relación entre los objetivos de restauración, el nivel de recuperación deseado y el uso que se dará al sitio.

Nivel de recuperación deseado	Objetivo	Uso que se dará al sitio
Restauración íntegra del ecosistema	Propiciar el uso del área como hábitat del quetzal mesoamericano ( <i>Pharomachrus mocinno</i> ).	Área destinada a la conservación (sin aprovechamiento).
Recuperación de servicios ecosistémicos puntuales	Mejorar la capacidad de infiltración del suelo y reducir la erosión.	Área destinada a la protección (corto y mediano plazo) y al aprovechamiento de productos no maderables con valor comercial (largo plazo).
Producción sostenible	Aumentar la diversidad de especies arbóreas en potreros	Uso como agostadero (mediano plazo) y aprovechamiento maderable (largo plazo).

## 2.4 Elaboración de un diagnóstico del sitio

La elaboración de un diagnóstico del sitio a restaurar proporciona información detallada sobre las características del predio y el estado de degradación en el que se encuentra, información que permitirá seleccionar las prácticas y actividades adecuadas para alcanzar los objetivos del proyecto.

La información para elaborar el diagnóstico puede obtenerse a través de la revisión de documentos, de entrevistas a propietarios y vecinos y de la observación directa en campo.

Los principales elementos que se deben incluir en el diagnóstico son los siguientes:

Ubicación de predio en el paisaje: ubicar el predio en la microcuenca (parte alta, media o baja), caracterizar el relieve, el tipo de vegetación, la clasificación del suelo y el clima presentes en la zona (Figura 11).

Es muy portante evaluar el potencial de regeneración, es decir, la disponibilidad de especies en la región, su ubicación, abundancia y etapa sucesional en la que se presentan, así como las diferentes trayectorias sucesionales que ofrece el paisaje, ya que esta información es una buena aproximación a las especies que pueden ser utilizadas en el proyecto de restauración y las trayectorias sucesionales pueden servir como ecosistemas de referencia (Vargas, 2011). Se deben identificar también los aspectos del paisaje que pueden limitar la restauración del área (como fuentes de contaminación fuera del alcance del proyecto), o promoverla (como remanentes de bosques cercanos que faciliten la llegada de animales dispersores y semillas) (Proaño & Duarte, 2018)

Condición actual de la vegetación y uso del suelo: identificar las especies presentes en el predio, su abundancia, la etapa sucesional a la que corresponden, su arreglo en los estratos y en caso de conocerlas, sus funciones en el proceso de restauración y usos locales, así como el uso que se da al sitio.

•Degradación del suelo: identificar y describir los procesos de degradación del suelo presentes en el predio. Para realizar una caracterización completa se recomienda usar la metodología ASSOD (Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation, 1997, promovida por la FAO), la cual se describe en el “Manual de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales” (CONAFOR, 2018), disponible en la página Web oficial de la CONAFOR.

Entender las barreras para la sucesión ecológica que existen en un área es clave para identificar las estrategias y prácticas de restauración más adecuadas (Proaño & Duarte, 2018), por lo tanto, toda la información generada en el diagnóstico debe ser analizada de manera integral, buscando relaciones de causa y efecto entre la historia de degradación y las condiciones actuales, para identificar las barreras ambientales (inexistencia de un banco de semillas, presencia periódica de fuego, especies invasoras, etc.) y socioeconómicas (cambio de uso de suelo, tala, sobrepastoreo, etc.) que impiden, limitan o desvían la sucesión ecológica en el área degradada (Vargas, 2007).



**Figura 11.** Es muy importante ubicar el predio en un contexto regional y del paisaje.

## 2.5 Identificación de ecosistemas o modelos de referencia

El ecosistema de referencia (también llamado “modelo de referencia” o simplemente “la referencia”) describe la condición aproximada en la que estaría el sitio si no hubiese ocurrido la degradación, sirve de modelo para planear un proyecto de restauración y más adelante, para su evaluación (SER, 2004; Gann, *et al.* 2019).

Los ecosistemas de referencia se desarrollan utilizando múltiples fuentes de información, como sitios de referencia (sitios ambiental y ecológicamente similares al sitio del proyecto, pero que han experimentado una degradación menor o mínima), listados florísticos, fotografías históricas, historias orales de las personas de la región, entre otras (SER, 2004; Gann, *et al.* 2019), éstas últimas son especialmente útiles en áreas fuertemente degradadas donde no se dispone de sitios de referencia.

Los modelos de referencia no deben utilizarse para inmovilizar a un ecosistema en un momento específico, se debe considerar la capacidad inherente de los ecosistemas para cambiar en respuesta a condiciones cambiantes, incluso podrían ser necesarias referencias múltiples o secuenciales para reflejar la dinámica del ecosistema, o los cambios anticipados a lo largo del tiempo (Gann, *et al.* 2019), así, por ejemplo, un área en proceso de regeneración natural puede funcionar como referencia de un estadio sucesional temprano (Proaño & Duarte, 2018).

Definir un ecosistema o modelo de referencia es muy importante para guiar los procesos de restauración, sobre todo, cuando se busca una restauración íntegra del ecosistema; cuando el proyecto busca recuperar parcialmente los atributos del ecosistema degradado, es de utilidad contar con sitios en los que se hayan implementado prácticas de restauración o manejo sostenible y que hayan permitido mejorar la provisión de los servicios ecosistémicos de interés (fertilidad del suelo, el control de la erosión, etc.), por ejemplo, en sistemas agroforestales o reforestaciones exitosas (Proaño & Duarte, 2018).

La caracterización del ecosistema de referencia puede aportar información valiosa para el establecimiento de los indicadores de monitoreo y posteriormente para la evaluación del proyecto. Estos indicadores pueden estar relacionados con la biodiversidad, la densidad, la fertilidad de suelo, la infiltración etc., y deben seleccionarse en función de los objetivos planteados.

## 2.6 Selección de especies

La selección de las especies a utilizar en la restauración es un aspecto fundamental de la planeación, una adecuada selección puede motivar el interés de los propietarios para mantener el proyecto a mediano y largo plazo. Las especies deben ser de preferencia nativas y multipropósito, por lo que será necesario combinar el conocimiento de los propietarios, expertos locales y científicos para seleccionar aquellas que aportan mayores beneficios.

El listado de especies potenciales para utilizar en las actividades de restauración puede obtenerse de la evaluación del potencial de regeneración y de la descripción de la vegetación presente en el sitio, ambas realizadas en el diagnóstico, como se pueden observar en las Figura 12 y Figura 13.

Para facilitar la selección, se pueden utilizar criterios ecológicos y socioeconómicos que permiten priorizar las especies en función de las características del sitio y los objetivos del proyecto. A continuación se describen algunos de éstos criterios:

- Grupos sucesionales: este criterio prioriza las especies en función del grupo sucesional al que pertenecen (especies pioneras, secundarias y tardías). La aparición de estos grupos en los ecosistemas se relaciona directamente con el nivel de degradación, y éste a su vez con la sucesión ecológica. Por lo tanto, de acuerdo con este criterio, la selección de las especies depende del nivel de degradación que presenta el sitio (Terán *et al.*, 2018).

- Funciones en la restauración: este criterio prioriza las especies de acuerdo a las funciones que cumplen en el proceso de restauración, como la fijación de nitrógeno, aporte de materia orgánica al suelo, nodrizaje, refugio y alimento de fauna silvestre, atracción de dispersores, etc. En este caso, la selección depende de las necesidades específicas de recuperación del sitio y los aspectos que se quiere enfatizar (Terán *et al.*, 2018).
- Uso de las especies: este criterio prioriza las especies en función de los servicios o beneficios que proveen a los dueños de la tierra, como la producción de alimentos, forraje, leña, carbón, madera, fibras, productos medicinales o de uso ritual, etc., por lo tanto, la selección depende de las necesidades e intereses del propietario (Terán *et al.*, 2018).

En los cuadros Cuadro 2 y Cuadro 3, se presentan algunas consideraciones importantes para la selección de las especies con fines de restauración forestal.

**Cuadro 2.** Atributos para la selección de especies (Tomado de Vargas, 2011).

Morfológicos	Reproductivos	Otros
<b>Planta completa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hábito: arbusto, árbol, hierba</li> <li>• Altura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reproducción sexual</li> <li>• Reproducción vegetativa</li> </ul>	<b>Nivel poblacional:</b> frecuencia, abundancia y tipo de distribución de la especie (individuos aislados o agrupaciones)
<b>Copa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma de copa</li> <li>• Cobertura de copa (diámetro aproximado)</li> <li>• Densidad de follaje</li> </ul>	<b>Estrategia de dispersión de las semillas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zoocoria, anemocoria y/o barocoria (tipo de fruto)</li> </ul>	<b>Asociación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de asociación con otras especies nativas y/o exóticas</li> <li>• Presencia de micorrizas</li> <li>• Tolerancia a la luz</li> <li>• Resistencia a heladas</li> <li>• Fijadora de nitrógeno</li> <li>• Producción de hojarasca (diaria, semanal, mensual)</li> <li>• Usos tradicionales y/o industriales potenciales: protección márgenes hídricas y nacederos-, control erosión, recuperación de suelos y protección de taludes, cerca viva; ornamental; barrera contra heladas</li> <li>• Prestación de Servicios Ambientales</li> </ul>
<b>Hoja</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Área foliar específica</li> <li>• Contenido de materia seca</li> <li>• Cociente peso fresco/peso seco</li> <li>• Tipo de hoja</li> </ul>	<b>Estrategia de polinización</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ornitófila, entomófila o anemófila (tipo de flor)</li> <li>• Banco de semillas</li> <li>• Banco de plántulas</li> <li>• Banco de retoños</li> </ul>	

**Cuadro 3.** Cualidades de las especies con respecto a los objetivos de restauración (tomado de Cortina, et al, 2006).

Objetivo de la restauración	Prioridades en la selección de las especies
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar la diversidad genética, la plasticidad fenotípica, evitar la depresión por auto-cruzamiento.</li> <li>• Resistencia a condiciones adversas (actuales o futuras).</li> <li>• Protección del suelo.</li> <li>• Almacenaje de carbono.</li> <li>• Potenciar poblaciones de herbívoros.</li> <li>• Producción de miel.</li> <li>• Incremento de recursos alimentarios para la fauna.</li> <li>• Aumentar la resistencia y resiliencia frente a perturbaciones.</li> <li>• Mejorar la fertilidad del suelo.</li> <li>• Modificar el flujo de recursos (Ingeniería de ecosistemas).</li> <li>• Producción de madera u otros productos.</li> <li>• Regulación hídrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversidad de genomas, procedencias.</li> <li>• Plasticidad fenotípica, rasgos morfo-funcionales asociados a resistencia a frío, sequía, contaminación, etc.</li> <li>• Elevada tasa de crecimiento, crecimiento horizontal, abundante y rápida reproducción, reproducción vegetativa.</li> <li>• Elevada producción, producción de materia orgánica recalcitrante, asignación de biomasa subterránea.</li> <li>• Elevada palatabilidad, tolerancia a la herbivoría.</li> <li>• Producción de flores, variedades melíferas.</li> <li>• Producción de frutos elevada y extendida en el tiempo, calidad de los frutos.</li> <li>• Capacidad de rebrote, contenidos relativos de humedad elevados, piñas serótinas, banco de semillas persistente, defensas frente a plagas.</li> <li>• Elevada tasa de producción, fijación de nitrógeno, sistemas radiculares fibrosos, enraizamiento profundo.</li> <li>• Rasgos asociados a la modificación de flujos hídricos, ambiente lumínico, redistribución de agua y nutrientes del suelo.</li> <li>• Elevada tasa de crecimiento, fuste recto, buena poda natural, poca producción de ramas, productos forestales no maderables.</li> <li>• Cobertura, eficiencia en el uso del agua, profundidad de enraizamiento, infiltración.</li> </ul>



**Figura 12.** Ejemplo de las especies presentes en el ecosistema templado frío en México.



**Figura 13.** Ejemplo de las especies presentes en un ecosistema árido y semiárido en México.

## 2.7 Selección de germoplasma

Considerar el componente genético de las especies que se utilizarán en los proyectos de restauración es fundamental para lograr el éxito del proyecto a largo plazo, y al igual que la selección de especies, el germoplasma adecuado se elige en función de los objetivos del proyecto.

Es muy importante recordar que la restauración ecológica aspira a llevar a un ecosistema degradado a una trayectoria de recuperación que permita la adaptación a los cambios locales y globales, así como la persistencia y evolución de las especies que lo componen (Gann, *et al.* 2019). En este sentido, cuando los objetivos del proyecto de restauración tienden a la recuperación parcial o íntegra del ecosistema, se deben considerar la diversidad genética del germoplasma y su origen o procedencia, ya que estos factores afectan significativamente la supervivencia, crecimiento y productividad de los árboles, así como a la capacidad de adaptación y, por lo tanto, a la auto-sostenibilidad de las poblaciones (Thomas *et al.*, 2015).

- **Diversidad genética:** para aumentar la resiliencia en los ecosistemas restaurados, el germoplasma debe ser suficientemente diverso para evitar los efectos negativos de la endogamia (producción de descendencia mediante la cruce de individuos emparentados) y reforzar la resistencia de las poblaciones a los factores de estrés agudo y crónico, como plagas y enfermedades, además de las sequías y otros efectos del progresivo cambio climático (Thomas *et al.*, 2015).

En la práctica, esto supone priorizar la obtención de plántulas por semilla (reproducción sexual) antes que el uso de estacas, hijuelos, esquejes,

bulbos, etc. (reproducción asexual) y recolectar dichas semillas de poblaciones suficientemente amplias y de un gran número de árboles madre no emparentados y espaciados entre sí, además de evitar el uso en sucesión de colecciones de semillas provenientes de rodales plantados de escasa diversidad genética, ya que esto puede exacerbar los efectos de una estrecha base genética en las poblaciones subsiguientes (Thomas *et al.*, 2015).

- Origen o procedencia: se ha adoptado ampliamente el concepto de restringir la recolección de propágulos a un área de procedencia local, para asegurar que estén adaptados localmente. Sin embargo, el protocolo de recolectar propágulos únicamente de sitios muy cercanos al sitio de restauración se considera ahora una interpretación inadecuada de la procedencia local, ya que la distancia geográfica puede no ser una buena medida de las diferencias ecológicas entre sitios. Es muy importante considerar lo anterior sobre todo en paisajes en gran parte degradados, donde en los fragmentos más pequeños hay riesgo de una endogamia elevada (Gann, *et al.*, 2019).

En la práctica, esto significa que en paisajes fragmentados donde las poblaciones son más pequeñas, menos densas y más aisladas, puede ser necesaria la recolección de propágulos a mayores distancias y de múltiples fuentes, para capturar suficiente diversidad genética y reconstruir comunidades funcionales y resilientes (Gann, *et al.*, 2019).

En cambio, cuando el proyecto incluye la reconversión productiva y se contempla el aprovechamiento de alguna especie (ya sea de todo el individuo o de alguna de sus partes), el germoplasma puede seleccionarse en función de las características de interés, por ejemplo, si el objetivo es el aprovechamiento maderable, lo ideal es obtener germoplasma de individuos con los mejores crecimientos en diámetro y altura y con fuste rectos y limpios; si el objetivo es el aprovechamiento de fibra de *Agave lechuguilla*, se recomienda obtener hijuelos de plantas que tengan buena velocidad de regeneración del cogollo y que tengan cogollos con diámetros grandes en su base, lo que implica un menor turno técnico de aprovechamiento y mayor producción de fibra por planta, respectivamente, así como el color, diámetro y longitud de fibra deseada (Castillo *et al.* 2012).

## 2.8 Estrategias de intervención

El grado de intervención necesario para un sitio estará definido por el nivel de degradación que presenta, la capacidad del ecosistema de recuperarse después del disturbio (resiliencia) y de los objetivos del proyecto.

Generalmente, cuando se busca la recuperación total o parcial de los atributos del ecosistema para destinar el área a la conservación o la protección, las prácticas y actividades se enfocan en recuperar la resiliencia de dicho ecosistema, interviniendo hasta alcanzar el punto en que éste tenga la capacidad de seguir su desarrollo de forma autónoma (Duarte, *et al.*, 2018), para lograrlo pueden utilizarse dos estrategias de intervención: la restauración pasiva y la restauración activa.

- Restauración pasiva o regeneración natural: se utiliza cuando en el sitio no existen barreras para la regeneración natural y la restauración puede lograrse con la mínima intervención, realizando actividades puntuales como la eliminación de las fuentes de disturbio y la protección del área. Esta estrategia permite o facilita el proceso natural de sucesión, por lo que no incluye la siembra o plantación de individuos (Duarte, *et al.*, 2018).
- Restauración activa o restauración asistida: se utiliza cuando en el sitio no existe potencial para la regeneración natural o es muy bajo, por ejemplo, en sitios donde no existen las condiciones para la llegada de propágulos o es insuficiente, la ausencia o escasa cobertura y la degradación del suelo no permiten la germinación y establecimiento de las plántulas y/o la presencia de especies vegetales o animales exóticas impiden la permanencia de éstas (Duarte, *et al.*, 2018). Esta estrategia se utiliza cuando es necesaria la intervención humana para iniciar o acelerar el proceso de restauración, por lo que generalmente incluye la siembra y/o plantación de individuos que requirieron un proceso de producción.

En cambio, cuando el proyecto busca la reconversión productiva de un predio (o de alguna zona dentro del predio), las prácticas y actividades se enfocan en recuperar servicios ecosistémicos puntuales que generan beneficios socioeconómicos para las poblaciones humanas, por ejemplo, la recuperación de la fertilidad del suelo en terrenos agrícolas degradados para mejorar la producción, la diversificación de especies arbóreas en potreros para proveer sombra al ganado y diversificar fuentes de nutrición animal, etc. La estrategia más utilizada para este fin es el establecimiento de sistemas agroforestales (SAF).

Sistemas agroforestales (SAF): son utilizados para recuperar áreas agrícolas que ya no producen satisfactoriamente o para fomentar el cambio de uso de suelo a sistemas de producción más sostenibles (Duarte, *et al.*, 2018). En la práctica, es muy importante que el SAF seleccionado sea compatible con las condiciones socioculturales de la región y que atienda las necesidades y prioridades del productor.

De acuerdo con Duarte, *et al.* (2018), la selección de prácticas y actividades se realiza una vez definida la estrategia de restauración, para seleccionarlas se debe considerar su relación con los objetivos del proyecto y los aspectos que se describen a continuación:

- Deben relacionarse con las causas y efectos de los problemas de degradación evidenciados en la fase de diagnóstico y enfocarse en eliminar o reducir las barreras para la sucesión ecológica o los principales factores de degradación del área.
- Deben ser acordes con los fondos y recursos disponibles (dinero, mano de obra, plantas, especies, semillas, etc.) y buscar el equilibrio entre costo y beneficio.
- Deben tener en cuenta el contexto del paisaje y los flujos de materiales, agua y semillas, así como los aspectos culturales.

### 2.8.1 Protección

Esta actividad consiste en la delimitación física del área a restaurar para aislarla de algunas fuentes de disturbio, como la entrada de ganado, vandalismo, incendios, entre otras. Esta actividad puede realizarse a nivel de predio a través de un cercado y/o la construcción de brechas cortafuego, o a nivel individual, protegiendo a cada una de las plantas de interés.

El tipo de protección que se elija debe atender una problemática previamente identificada, como la presencia de ganado y/o fauna nociva, la cercanía con áreas con áreas agrícolas que realicen quemas, caminos, etc.

### 2.8.2 Obras y prácticas de conservación y restauración de suelos

Estas obras se utilizan en terrenos con laderas degradadas y presencia de cárcavas, los trabajos a nivel de ladera tienen como objetivo evitar, reducir o controlar el escurrimiento superficial y aumentar la filtración del agua en el suelo, además incrementan la humedad del suelo, lo que favorece el establecimiento de la vegetación (CONAFOR, 2018).

Los trabajos a nivel de cárcava se realizan siempre y cuando las prácticas a nivel de ladera no sean suficientes para controlar el escurrimiento, el objetivo de estas actividades es el de disminuir la velocidad del agua, favorecer la sedimentación de las partículas que lleva en suspensión y finalmente estabilizar la cárcavas (CONAFOR, 2018).

De acuerdo con el Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales (CONAFOR, 2018), se pueden realizar las siguientes obras:

**Para el control de la erosión laminar en ladera:**

- Terrazas de formación sucesiva.
- Zanja trinchera (tinas ciegas).
- Sistema zanja bordo.
- Roturación.
- Acomodo de material vegetal muerto en curvas a nivel y con ramas entrelazadas.
- Barreras de piedra en curvas a nivel.
- Bordos en curvas a nivel.
- Cortinas rompe vientos.
- Terrazas de muro vivo con estacas.
- Barreras vivas.
- Barreras vivas (modalidad propagación vegetativa).
- Abonos verdes con especies de cobertera.
- Terrazas de piedra.

**Para el control de la erosión en cárcavas:**

- Presas de malla de alambre electro soldada o ciclónica.
- Presas de morillos.
- Presa de ramas.
- Presas de piedra acomodada.
- Presas de geocostales.
- Presas de mampostería.
- Presa de gaviones.
- Zanjas derivadoras de escorrentía.
- Estabilización de taludes.
- Cabeceo de cárcavas.

Para seleccionar las obras adecuadas de acuerdo a las características del predio será necesario retomar los resultados obtenidos del diagnóstico,

específicamente de la caracterización del relieve a nivel de predio, con el fin de identificar si dentro de mismo hay planicies, cárcavas, escurrimientos, afloramientos de rocas, entre otras características que ayuden a definir el tipo de obra o práctica que se requiere (Figura 14).



**Figura 14.** Localización de cárcavas dentro del predio a intervenir.

**Adicionalmente, se debe considerar lo siguiente:**

- La pendiente del terreno y la vegetación existente en el predio: estos factores determinan en gran medida el tipo de obra a realizar, ya que a mayor pendiente y escasez de vegetación el arrastre de los materiales y sedimentos es mayor (Figura 15). Además, entre mayor sea la pendiente el costo de mano de obra, maquinaria e incluso materiales aumenta significativamente, por lo que no se recomienda la implementación de estas obras en pendientes mayores a 45% (aproximadamente 24 grados), por otro lado, la presencia de vegetación puede modificar la distribución de las obras y limita el uso de maquinaria.



**Figura 15.** La pendiente y vegetación existente en el predio son factores determinantes para la elección de las obras de conservación y restauración de suelos.

- La disponibilidad de materiales dentro del predio para la ejecución de las obras y las características del suelo: es importante considerar también la disponibilidad de materiales como piedras, material vegetativo muerto y/o propágulos (hijuelos, estacas, etc.) en el predio, pues su disponibilidad permite agilizar los trabajos y reducir los costos de las obras. El uso de estos materiales se recomienda siempre y cuando el movimiento o remoción no genere un impacto negativo como erosión o pérdida de cobertura, entre otros (Figura 16). Además, considerar las características suelo como la textura y la profundidad ayudará a determinar la viabilidad de la apertura de zanjas, bordos, roturación, etc., así como las herramientas y/o maquinaria a utilizar.



**Figura 16.** Disponibilidad de materiales y características del suelo.

La determinación de obras y/o prácticas no está limitada a la realización de un solo tipo en todo el predio, dependiendo de las características de éste, se puede plantear la combinación de dos o más obras, siempre y cuando la disponibilidad de los materiales y el requerimiento de restauración del terreno lo permitan. Aunado a ello, la elección del tipo de obra deberá realizarse de acuerdo con criterios técnicos estrictos, debido a que, en caso de implementar obras poco eficientes o inadecuadas para el área de interés, éstas pueden aumentar de manera gradual la degradación del suelo.

### 2.8.3 Reforestación

Esta actividad consiste en el establecimiento de especies arbóreas, arbustivas y/o herbáceas en el área degradada. Aunque la actividad más común es la plantación de especies arbóreas y arbustivas producidas en vivero a través de semilla (reproducción sexual), también considera la plantación de varetas, estacas, rizomas, hijuelos, etc. (reproducción vegetativa) y la siembra directa en el terreno.

A continuación, se describen los principales factores a considerar para establecer una reforestación:

### Densidad de plantación

Considerando las características de los tipos de vegetación presentes en México, la CONAFOR los ha agrupado en tres grandes grupos y ha establecido una densidad óptima de plantación para cada uno de ellos, como se indica en el siguiente cuadro:

No obstante, la densidad de plantación deberá estar acorde a las necesidades del sitio, a la cobertura existente y al diseño mismo de la plantación, por lo que la información aquí presentada, proporciona las bases para el planteamiento adecuado la restauración forestal.

**Cuadro 4.** Densidad promedio de planta determinada por hectárea por tipo de ecosistema.

Concepto	Ecosistema					
	Templado		Tropical		Árido y semiárido	
Rango	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Cantidad de plantas/ha	600	1,100	350	750	300	700

### Diseño de la plantación

Para definir el arreglo de la plantación se debe considerar la distancia necesaria entre plantas, es decir, el espacio que las especies seleccionadas demandan al ser adultas (en las etapas juveniles las plantaciones deben tener al menos el doble de densidad que en la etapa adulta), así como su posición respecto a las obras de conservación de suelos y el arreglo topológico.

Las dimensiones y ubicación en el terreno de las obras y prácticas de conservación y restauración de suelos influirán en el espacio disponible para colocar la planta, dependiendo del tipo de obra se podrán colocar las plantas como se describe a continuación:

- Establecimiento en las obras: las plantas se colocan en las obras (en la roturación, como se muestra en la Figura 17) o en el bordo, siempre y cuando esté bien compactado (en terrazas, zanja trin-

chera, zanja bordo y bordos en curvas a nivel, como se observa en la Figura 18 y Figura 19) para prolongar la vida útil de la obra.



**Figura 17.** Posición de la planta en las obras de roturación



**Figura 18.** Posición de la planta en obras de zanja trinchera.



**Figura 19.** Posición de la planta en obras de zanja bordo.

- Establecimiento al margen de las obras: la planta se coloca en la orilla y a lo largo de las obras (en acomodo de material vegetal muerto y barreras de piedra acomodada, Figura 20 y Figura 21).



**Figura 20.** Posición de la planta al margen del acomodo de material vegetal muerto.



**Figura 21.** Posición de la planta al margen de barreras de piedra acomodada.

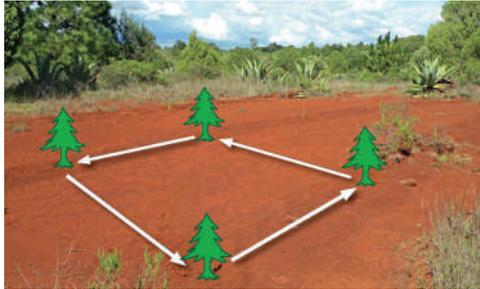
- Establecimiento de la planta entre las obras: la planta se coloca en la superficie disponible entre las obras, utilizando algún tipo de arreglo topológico (marco real, tres bolillo o irregular). El arreglo es complementario a la plantación en las obras y al margen de ellas, y con éste se cumple con la densidad establecida para cada tipo de ecosistema (Figura 22).



**Figura 22.** Disponibilidad de superficie para reforestar después del establecimiento de barreras de piedra acomodada.

Parte importante de la reforestación, es el arreglo topológico, los cuales se describen brevemente a continuación, los más comunes y los casos en los que se recomienda su uso.

- Marco real: las plantas se colocan formando cuadros o rectángulos, se recomienda utilizarlo en terrenos planos o con pendientes menores al 20% (Figura 23), estos pueden realizarse entre las distintas obras, como barreras de piedra acomodada (Figura 24), etc.

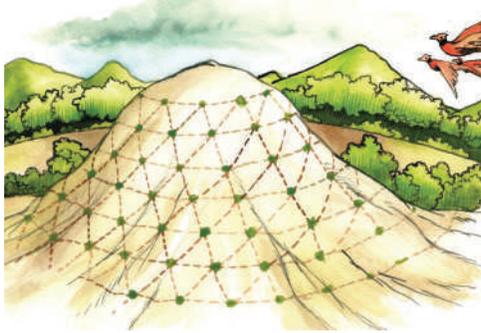


**Figura 23.** Ejemplo del arreglo de plantación en marco real.



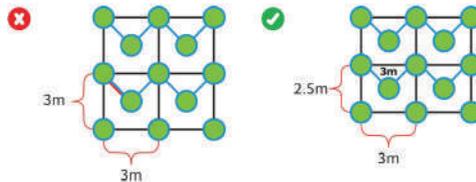
**Figura 24.** Arreglo de la plantación en marco real entre barreras de piedra acomodada.

- Tres bolillo o triángulo equilátero: las plantas se colocan formando triángulos equiláteros (lados iguales), este arreglo se recomienda en terrenos con pendientes mayores al 20%, aunque también se pueden utilizar en terrenos planos. Las líneas de plantación deberán seguir las curvas de nivel. Con este arreglo se logra minimizar el arrastre de suelo y a su vez, aprovechar los escurrimientos (Figura 25).



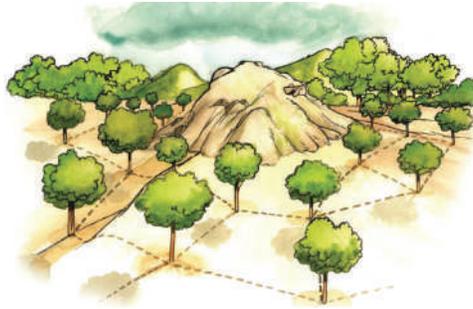
**Figura 25.** Arreglo de plantación en tres bolillo o triángulo equilátero.

Un error frecuente en el trazo del arreglo a tres bolillo es considerar que la distancia entre líneas de plantación debe ser igual a la distancia entre árboles, cuando se realiza de esta manera, la distancia que existe entre los árboles es mayor que la distancia que técnicamente le corresponde, por lo que el trazo correcto sería una distancia entre plantas de 3 m y una distancia entre líneas de 2.5 m (Figura 26).



**Figura 26.** Ejemplo del trazo correcto e incorrecto del arreglo a tres bolillo.

- Irregular: se utiliza cuando las condiciones del terreno como pendientes muy pronunciadas, obstáculos naturales (rocas, árboles, cárcavas, etc.), falta de suelo, u otras, no permiten un trazo definido. Este arreglo topológico, en muchos casos, resulta ser el más adecuado, toda vez que, de acuerdo con la situación del sitio a intervenir, se requiere el manejo de mezcla de especies tanto de forma como de función, y la utilización de “parches” suele ser la mejor estrategia para establecer la planta (Figura 27).



**Figura 27.** Vista de Trazo irregular según la topografía del terreno.

### Cálculo del requerimiento de planta

El tipo de obras de suelo a establecer en el predio nos indicará la cantidad de planta necesaria para colocar en las obras y/o al margen de ellas, y la planta necesaria para establecer entre las obras se puede calcular determinando la distancia entre hileras y entre plantas.

Para calcular número de plantas necesarias para una plantación con arreglo definido, se pueden utilizar las siguientes fórmulas:  
 Observaciones: no se debe establecer la planta bajo cobertura de copa arbórea, al interior de cárcavas, ni en derecho de vía de líneas eléctricas, caminos o carreteras.

**Cuadro 5.** Fórmulas para determinar el requerimiento de planta.

Arreglo	Fórmula	Descripción
Marco real (cuadrado o rectangular)	$N = M / (a \times A)$	Área a plantar entre el resultado de la multiplicación de ancho por el largo.
Tresbolillo o triangular	$N = M / (a^2 \times 0.866)$	Área a plantar entre el resultado de la multiplicación del ancho al cuadrado por la constante.
Lineal	$N = L / a$	Longitud a plantar entre el ancho de la hilera.

**Dónde:**

- N= Número de plantas requeridas
- M= Área a plantar (en metros cuadrados)
- “A” y “a”= Distancia entre plantas (A= Largo, a= Ancho)
- 0.866= Constante
- L= longitud a plantar

**Cuadro 6.** Ejemplo del cálculo de los requerimientos de planta utilizando un arreglo a tres bolillo.

Concepto	Descripción
Tipo ecosistema	Templado- Frío
Arreglo de plantación definido	Tres bolillo 3 x 3 m
Superficie	1 hectárea (10,000 m <sup>2</sup> )
Tipo de obra o práctica de suelo	Zanja trinchera, 2 x 0.40 x 0.40 m
Número de zanjas por hectárea	200 zanjas (400 metros)
Distancia entre zanjas	12.5 m
Superficie disponible entre obras	6,640 m <sup>2</sup> por hectárea

**Con la información anterior, se determina lo siguiente:**

1. Cantidad de planta a establecer en las obras y/o prácticas de suelos.

$$N=L/a$$

$$N= 400 \text{ m}/2 \text{ m}$$

$$N= 200 \text{ plantas}$$

2. Cantidad de planta a establecer entre las obras y/o prácticas de suelo.

$$N= M/a^2 \times 0.866$$

$$N= 6,640/32 \times 0.866$$

$$N= 6,640/9 \times 0.866$$

$$N=6,640/7.80$$

$$N=851 \text{ plantas}$$

Densidad estimada: 200+851= 1,051 plantas por hectárea.

### 2.8.4 Prácticas de manejo de biodiversidad

De acuerdo con la Secretaria de Medio Ambiente del estado de São Paulo, Brasil (2011), las técnicas de nucleación o prácticas de manejo de biodiversidad, consisten en la formación de micro hábitats o núcleos para facilitar la llegada de especies de animales, vegetales y microorganismos de los fragmentos vecinos al área de restauración, y su objetivo es crear condiciones adecuadas en las áreas degradadas para iniciar el proceso de regeneración natural y generar conectividad con el paisaje.

Para que las prácticas sean eficaces es necesario contar con información de la fauna local que puede fungir como dispersora y adaptar las estructuras a las necesidades específicas de cada grupo. Esta informa-

ción podrá obtenerse mediante registros directos (avistamientos, foto trampeo, etc.), indirectos (huellas, excretas y/o conocimiento local de los propietarios) y complementarla con información bibliográfica sobre la distribución y hábitos generales de las especies de la región, lo que permitirá el planteamiento de las prácticas adecuadas y el objetivo que se pretende cumplir.

A continuación se describen algunas de las prácticas de manejo de biodiversidad más comunes:

- **Perchas artificiales:** las aves y murciélagos se consideran las especies más efectivas en la dispersión de semillas entre fragmentos de vegetación, durante sus vuelos utilizan árboles aislados para descansar y alimentarse, formando una lluvia de semillas de diferentes especies y ubicaciones debajo de éstos árboles debido a la regurgitación, defecación o caída de frutos y semillas. Las perchas artificiales buscan reproducir el papel de estos árboles para aumentar la llegada de aves dispersoras al área degradada y así enriquecer el banco de semillas del suelo y el reclutamiento de plántulas.

Dependiendo del comportamiento de las aves de la zona pueden construirse perchas secas o vivas; las perchas secas imitan las ramas secas de los árboles, generalmente se construyen con postes de madera o bambú y se le colocan varas cruzadas (para simular las ramas); en cambio, las perchas vivas imitan a los árboles para atraer a las especies que no usan las perchas secas (dentro de este grupo destacan los murciélagos), éstas pueden construirse plantando enredaderas de rápido crecimiento y de preferencia fructíferas en la base de perchas secas (para simular el follaje).

En general, las perchas suelen medir alrededor de tres metros de altura y para facilitar la germinación o la colecta de las semillas caídas se coloca una parcela escarificada en la base del poste. Las perchas artificiales deben colocarse en sitios estratégicos donde no haya árboles o estructuras que cumplan la misma función.

- **Refugios para aves y murciélagos:** son estructuras hechas principalmente de madera, cuya forma y tamaño depende de las especies que se quiere atraer y de sus hábitos (aunque en la práctica generalmente tienen forma de cajas). Al igual que las perchas artificiales, el objetivo de su implementación es promover la presencia de aves y murciélagos en el área de restauración para aumentar la lluvia de semillas. Para su construcción se deben utilizar ma-

teriales libres de compuestos tóxicos y se recomienda instalarlos al menos a dos metros sobre el nivel del suelo. Los refugios para murciélagos tienen mayor probabilidad de ser ocupados cuando se encuentran cerca de áreas verdes o cuerpos de agua y cuando son instalados en paredes o en postes, debido a que estas estructuras dificultan la llegada de depredadores (Rivera y Reyes, 2022).

- Madrigueras artificiales: esta práctica consiste en la construcción de refugios artificiales para ofrecer cobijo y protección a pequeños mamíferos (generalmente roedores), reptiles, anfibios, etc., de los efectos del sol, el viento y depredadores. El objetivo de su construcción es que estas especies, en el corto y mediano plazo, faciliten la llegada de semillas de los fragmentos de vegetación vecinos y que la descomposición de los materiales utilizados cree condiciones adecuadas para su germinación. Las madrigueras se construyen con materiales vegetales muertos (ramas, tocones, residuos forestales etc.) y/o piedras. Generalmente se forman estructuras en forma de domo con huecos que permiten la entrada y salida de los animales, y se colocan en sitios protegidos para que los animales puedan llegar hasta ellos, como en zonas cercanas a riberas de ríos o arroyos, entre fragmentos de vegetación, en laderas protegidas, etc. (Figura 28).



**Figura 28.** Conformación de madrigueras artificiales con materiales de la región.

- Comederos y bebederos para fauna silvestre: los comederos y bebederos son estructuras para almacenar alimentos (granos, forrajes etc.) y agua para la fauna silvestre (principalmente mamíferos medianos). El objetivo de su implementación es proveer alimento y agua de forma temporal o permanente para atraer a especies dispersoras al área degradada.

Para seleccionar la práctica adecuada se debe considerar la distancia entre el área a restaurar y los fragmentos de vegetación aledaños ya que estos factores influyen en su efectividad, por ejemplo, las perchas pueden estar más lejos de los fragmentos de vegetación porque las aves pueden atravesar las barreras creadas en el paisaje, en cambio, para que las madrigueras o comederos para mamíferos sean utilizadas debe haber mayor conectividad para que los animales logren llegar al área de restauración (Duarte, *et al.* 2018).

El uso de estas prácticas se recomienda cuando no existen barreras para la germinación y desarrollo de la regeneración natural (como la ausencia de sustrato, arrastre o depredación de las semillas, etc.), o cuando se realicen actividades complementarias para eliminar dichas barreras, ya que si existen, las prácticas no tendrán éxito y se desperdiciarán los recursos invertidos (Duarte, *et al.* 2018). Se debe asegurar también la accesibilidad de la fauna al predio, cuidando que las actividades de protección no impidan el acceso de la fauna a las estructuras.

### 2.8.5 Captación y manejo de agua de lluvia

Esta actividad consiste en la construcción de presas de mampostería, bordos de almacenamiento de agua (jagüey), y en caso de ser factible, la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en techos de construcciones rurales. El objetivo de su construcción es mejorar la eficiencia en el uso de agua de lluvia, ayudar a mantener el suministro de agua en la época de estiaje y regular la distribución del agua para diversos usos en el medio rural (doméstico, consumo animal, riego etc.).

- Presas de mampostería: son estructuras de piedra, arena y cemento que se construyen perpendicular a las cárcavas; su objetivo principal es la disminución de la escorrentía superficial y almacenamiento de agua, además de la retención de azolves (debido a su alto costo, no es recomendable su construcción si no se acompaña con una serie de presas filtrantes aguas arriba, para evitar su rápido azolvamiento, y la disminución de su vida útil) (CONAFOR, 2018). Las consideraciones necesarias para su construcción pueden consultarse en el Manual de Obras y Prácticas de Conservación y Restauración de Suelos Forestales.
- Jagüey: también son conocidos como embalses, aljibes o bordos de almacenamiento de agua. Son depresiones del terreno o pequeñas y medianas presas artificiales que permiten almacenar

- agua de los escurrimientos superficiales. Su objetivo es captar, almacenar y regular la distribución de agua para diversos usos (Fernández *et al.* 2017).
- Captación de agua de lluvia en construcciones rurales: es un sistema de captación de agua de lluvia que consiste en la instalación de componentes y accesorios para recolectar, conducir, almacenar y tratar el agua de lluvia captada en los techos de las viviendas. Los principales componentes del sistema son la superficie de captación (techo), canaletas, tubos y otros elementos de conducción, filtros, cisternas, tanques de plástico o cualquier tipo de contenedor seguro para guardar agua, bombas, entre otros (SEDEMA, 2020). En cada caso, el diseño del sistema debe adecuarse a la vivienda y al uso que se dará al agua.

### 2.8.6 Sistemas agroforestales (SAF)

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales en donde las especies leñosas (árboles, arbustos, palmas) son utilizadas en asociaciones con cultivos y/o animales de granja en un mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (CATIE, 1986, citado en Musálem, 2002).

En la práctica, existe una gran variedad de sistemas que han sido desarrollados en respuesta a las condiciones particulares de cada sitio, lo que dificulta su clasificación bajo un solo esquema. Una de las clasificaciones más comunes se basa en la combinación de sus componentes (forestal, agrícola, pecuario), así, tenemos sistemas agrosilvícolas (sistemas donde se combinan árboles con cultivos agrícolas), sistemas silvopastoriles (sistemas donde se integran pastos para ganado en asociación con árboles) y finalmente sistemas agrosilvopastoriles (sistemas donde se combinan árboles con cultivos agrícolas y pastos para producción animal) (ONF, 2013).

Entre los sistemas agrosilvícolas, podemos encontrar los siguientes:

- Cultivo en callejones: se establecen hileras de árboles (o especies forestales como maguey, nopales, etc.) intercalados con cultivos anuales entre las hileras de plantación. En áreas con pendientes pronunciadas las especies forestales pueden establecerse en curvas a nivel, fungiendo como barreras vivas para conservar el agua

y disminuir la erosión, además, se considera conveniente utilizar especies fijadoras de nitrógeno (*Erythrina* spp., *Gliricidia* spp., *Leucaena* spp., *Inga* spp., *Alnus* spp., etc.), sobre todo en suelos de baja fertilidad (Russo, 2016).

Por sus características este sistema de producción que se adapta bien a los suelos de baja fertilidad en áreas degradadas y a zonas secas y semiáridas (Figura 29).



**Figura 29.** Establecimiento de especie forestal con cultivo hortícola.

- Enriquecimiento de acahuales: también suele llamarse barbecho mejorado o acahual mejorado y presenta una alternativa para zonas donde se utiliza la agricultura migratoria (roza, tumba y quema). Es un sistema rotacional en el cual se plantan árboles de interés (maderables, frutales, etc.) en el barbecho siguiente a un periodo de cultivo, es decir, que las especies arbóreas de interés se combinan con la vegetación secundaria. El barbecho también puede enriquecerse con especies fijadoras de nitrógeno (árboles o herbáceas) para acelerar la producción de biomasa, mejorar las propiedades del suelo y acortar el periodo de descanso (Jiménez y Muschler, 1999; Soto *et al.*, 2011).

Entre los sistemas silvopastoriles podemos encontrar los siguientes:

- Árboles y arbustos dispersos en potreros: se caracteriza por la interacción simultánea del ganado, pastos y especies arbóreas. Para su establecimiento se permite el desarrollo controlado de especies arbóreas de interés (maderables, leña, frutales, forrajeros, etc.) que aparecen por regeneración natural en los potreros o se establecen deliberadamente aislados, en hileras o manchones. Los árboles en potreros crean un microclima benéfico para el ganado (sin exceso de calor o lluvia) y pueden complementar su dieta, además, promueven la recuperación de la avifauna, la recuperación del suelo (control de erosión, fertilización, reciclaje

de nutrientes) y contribuyen a la captura de carbono, entre otros beneficios ecológicos (Botero y Russo, 2016).

- Bancos de proteína: son áreas donde se siembran leguminosas arbustivas forrajeras con una alta densidad (en monocultivo) para maximizar la producción de forraje con un alto contenido de proteína. Se pueden establecer bajo tres formas de manejo diferentes: bancos para corte y acarreo (las ramas con hojas son cortadas, picadas y suministradas en comederos al ganado); bancos para ramoneo (las hojas y los tallos tiernos de la leguminosa arbustiva son consumidos en forma directa por el ganado); en callejones (alternan hileras de arbustos de una especie leguminosa forrajera con callejones sembrados con pastos y leguminosas forrajeras rastro, el ganado ramonea los arbustos y además consume pastos y leguminosas rastro) (Cruz y Nieuwenhuys, 2008).

Para determinar cuál es el sistema agroforestal adecuado, se deberán considerar las necesidades del productor (qué productos se quiere producir), las características del sitio (suelo, clima, etc.) y las condiciones socioeconómicas (disponibilidad de mano de obra, cantidad de terreno efectivo, etc.).

# Ejecución 3

## 3.1 Protección del predio

Se recomienda establecer el cercado antes de la construcción de las obras y prácticas de conservación de suelos y de la reforestación para evitar la destrucción de las obras, el pisoteo y ramoneo que puede ocasionar la introducción de ganado en el área restaurada, mientras que las brechas cortafuego pueden realizarse una vez terminada la reforestación.

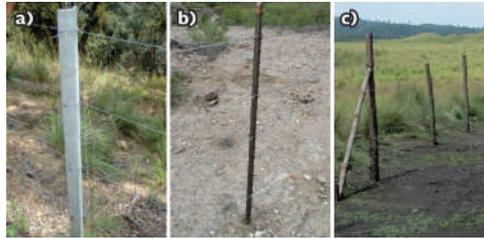
### 3.1.1 Características mínimas del cercado

Debido a su durabilidad y a la facilidad de su colocación, se recomienda el uso de postes de tubo o ángulo metálicos, colocados a una distancia máxima de 4 m y con al menos cuatro hilos de alambre de púas (separado máximo 30 cm entre hilos).

A continuación, en el Cuadro 7 se describen los tipos de poste para cercado y sus características generales, así como de manera ilustrativa (Figura 30), su colocación. En el siguiente cuadro se describen las características de los diferentes tipos de poste que se pueden utilizar.

**Cuadro 7.** Tipos de poste para cercado y sus características.

Tipo	Características
Concreto	8 cm x 8 cm x 2.50 m
Concreto	12 cm x 12 cm x 2.50 m
Metálico en "Y"	Altura: 1.98 m, peso: 3.1 kg
Acero	Altura: 1.98 m, peso: 2.59 kg
Madera	Altura: 1.98 m, diámetro de 10, 13 y 20 cm
Vigas y polines	Altura: 1.98 m, diámetro 5 x 5 pulgadas
Tubo metálico	Altura: 1.98 m, diámetro de 5 pulgadas
Ángulo metálico	Opcional



**Figura 30.** Tipos de poste para el cercado: a) de concreto, b) metálico, c) polín de madera.

La fijación del alambre de púas al poste es un factor determinante para el adecuado funcionamiento del cercado. El material de fijación depende del tipo de poste; grapas metálicas de una pulgada de longitud y calibre 9 para postes de madera y alambre recocido/galvanizado calibre 14.5 para para postes metálicos y de concreto (Figura 31).



**Figura 31.** Ejemplo de la correcta fijación del alambre de púas al poste

### 3.1.2 Instalación del cercado

Para la instalación del cercado considerar los siguientes pasos:

#### Primer paso

Limpiar, trazar y marcar (con cal o hilo plástico) el perímetro donde se instalarán los postes (se debe proteger únicamente el perímetro del o los polígonos propuestos para las actividades de restauración). Durante el trazo pueden presentarse los siguientes supuestos:

**Sin cerco existente o no definido:** cuando el predio a restaurar no cuenta con cercado de alambre de púas o solamente existen barreras vivas, en estos casos se debe establecer la totalidad del cercado conforme a las especificaciones (Figura 32).



**Figura 32.** Terreno sin protección o cercado.

**Cerco existente pero deteriorado:** cuando existe un cerco de alambre de púas es necesario evaluar el estado físico del mismo, si está condiciones de cumplir el objetivo de protección del predio se le podrá dar mantenimiento (tensarlo o reemplazar los postes, grapas o alambre que sea necesario), de lo contrario, deberá instalarse un nuevo cercado de acuerdo con las características indicadas (Figura 33).



**Figura 33.** Ejemplo de un cerco deteriorado que debe reemplazarse totalmente.

**Cerco existente propiedad de un tercero colindante:** en este caso, se deberá establecer un cerco nuevo (en sustitución al existente o de forma paralela), contando previamente con la autorización del dueño del cercado colindante para la realización de dicha actividad.



**Figura 34.** Instalación de un cerco paralelo al cerco existente de un colindante.

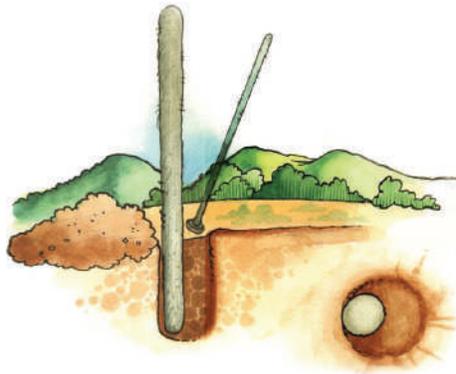
**Cerco con barrera natural en uno de sus lados (acantilado, barranco, pared rocosa, etc.):** en este caso se deberá evaluar si la barrera natural cumple la función de protección necesaria para el área, en caso de no garantizarlo, se deberá establecer el cercado conforme a las especificaciones mencionadas.



**Figura 35.** Barrera natural (barranco) que cumple la función de protección del área.

### Segundo paso

Abrir las cepas donde se colocará el poste, las dimensiones aproximadas de dichas cepas son de 30 x 30 x 40 cm (Figura 36) (dependiendo de las condiciones del suelo) y deberán colocarse a una distancia máxima de 4 m entre postes, marcados desde el centro de la cepa.



**Figura 36.** Cepa para la instalación de postes.

### Tercer paso

Colocar los postes buscando que queden completamente verticales y rellenar la cepa, para esto, se pueden utilizar materiales como la misma tierra, piedra, gravilla u hormigón (cemento más grava), a excepción del hormigón, el uso de los demás materiales requiere la compactación mediante el uso de pisón metálico u otra herramienta, de manera que el poste quede fijo (Figura 37).



**Figura 37.** Relleno de la cepa con hormigón para una mayor fijación del poste.

#### Cuarto paso

Una vez que ha quedado firme el poste, se coloca el alambre de púas (Figura 38); para tensar el alambre se utiliza una horquilla de metal o madera en forma de “H”.



**Figura 38.** Instalación del cercado: a) tensado del alambre púas, b) fijación al poste.

#### Observaciones:

- Para entrar al predio sin comprometer la protección, es necesario dejar una puerta o “falso” de al menos dos metros de ancho o más si ingresan vehículos.
- Los postes de madera requeridos para el cercado no deberán ser producto de la corta de material maderable vivo del área (Figura 39), puesto que es contrario a los objetivos de la restauración. Se deberán buscar materiales muertos que presenten características como dureza que favorezca la durabilidad del cercado.

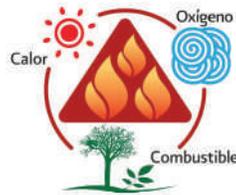


**Figura 39.** Postes con material maderable vivo, materiales no recomendados para la actividad.

### 3.1.3 Apertura de brechas cortafuego

Para prevenir incendios forestales y/o daños por quemas no controladas, es necesario realizar la apertura de brechas cortafuego en el perímetro del área propuesta para las actividades de restauración.

La brecha corta fuego consiste en la remoción y limpieza de material combustible en franjas para evitar el avance del fuego. Esta práctica está fundamentada en el modelo del triángulo del fuego (Figura 40), el cual indica que ante la ausencia de cualquiera de sus elementos el fuego se extingue.



**Figura 40.** Triángulo del fuego.

Para su apertura se debe considerar los siguientes pasos:

#### **Primer paso**

Realizar el trazo de la brecha, evitando que se dirija a favor de la pendiente.

#### **Segundo paso**

Hacer la brecha de al menos 2 m de ancho (Figura 41), eliminando todo elemento natural que favorezca la combustión. Esta actividad puede realizarse de manera manual (machete, azadón, etc.) mecanizada (cha-

peadora mecánica o desbrozadora) o mediante control químico (uso de herbicidas), en este último caso, es importante el uso de herbicidas preferentemente biológicos o en su defecto, que mediante la ficha técnica del producto, se compruebe el bajo o nulo impacto ambiental por su uso.

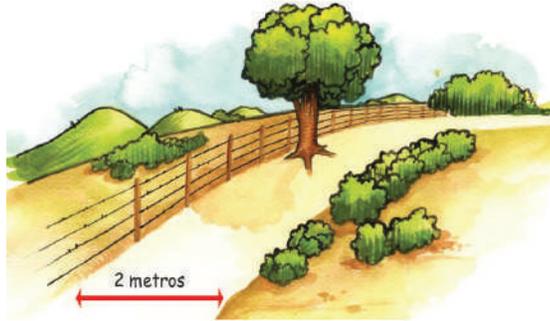


Figura 41. Vista general de la apertura de una brecha cortafuego.

**Tercer paso**

Retirar el material vegetal resultante hasta descubrir el suelo mineral, para prevenir que posteriormente funcione como combustible. Esta actividad se puede realizar con el uso del rastrillo, machete, palas, etc., y complementarlo con el uso de control químico tomando en cuenta lo mencionado en el paso anterior (Figura 42).



Figura 42. Apertura de brecha cortafuego: a) correcto, sin presencia de material combustible y b) incorrecto, con material combustible.

**Observaciones:**

- Las obras y prácticas de restauración de suelos podrán extenderse hasta los márgenes del cercado en caso de que inevitablemente la brecha se haya trazado a favor de la pendiente (a excepción del acomodo de material vegetal muerto), de la misma forma la reforestación podrá establecerse al margen del área de la brecha cuando el diseño así lo requiera.

- La época más recomendable para realizar la brecha corta fuego es al término del periodo regular de lluvias, para que una vez llegada la temporada de sequía, no se tenga material combustible en el perímetro del predio que pudiese dar origen a un incendio.

## 3.2 Construcción de las obras y prácticas de conservación y restauración de suelos

Las especificaciones de las obras y prácticas de conservación y restauración de suelos se encuentran descritas en el “Manual de obras y prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales” de la CONAFOR, disponible para su consulta en la página oficial <https://www.gob.mx/conafor>.

Para la ejecución de las obras se deberá seguir el criterio de cuenca, enfocándose primero en contrarrestar la pérdida de suelo en las zonas de ladera (iniciando de la parte alta hacia la parte baja), mediante obras y prácticas en curvas a nivel y posteriormente controlar la erosión hídrica en las cárcavas. Todas las obras deberán determinarse con el apoyo de un asesor técnico.

## 3.3 Reforestación

### 3.3.1 Producción de planta

A partir de las Reglas de Operación 2022, “La CONAFOR, como parte del apoyo de restauración, proporcionará a las Personas Beneficiarias recursos económicos para la adquisición de planta de las especies forestales, requeridas para realizar la reforestación y la reposición de planta muerta en cada anualidad de mantenimiento, información que deberá estar contenida en el proyecto técnico”.

Dicha planta necesaria para la ejecución de las acciones de restauración forestal, deberá ser obtenida, preferentemente, de viveros que garanticen los estándares de calidad, la cantidad y las especies requeridas. En la página del Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF), los interesados podrán consultar un Directorio de Viveros que venían aportando la planta para los programas de restauración de la CONAFOR.

La CONAFOR podrá, por sí misma o través de terceros, llevar a cabo supervisiones durante los procesos de producción, a los viveros que las Per-

con el objeto de asegurar que las especies sean producidas con los parámetros de calidad que los proyectos de restauración necesiten. De igual manera, podrá verificarse la condición de la entrega de planta y el proceso de transporte.

### 3.3.2 Calidad de la planta

La calidad de planta se define como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas del utilizadas para su reproducción (Prieto *et al.*, 2009).

La calidad de planta considera la morfología (forma y estructura) y la fisiología (funciones y proceso vitales), características que influyen en el crecimiento inicial del sitio. Las características morfológicas son, entre otras, la altura de la planta, diámetro al cuello de la raíz, grado de lignificación, longitud y estructura de la raíz, relación parte aérea/parte radical, estas características así como algunas cualitativas como el vigor, la densidad del follaje, el grado de lignificación y la sanidad pueden medirse de forma simple, por lo que generalmente la calidad de planta se basa en ellas.

En este sentido, las características morfo-fisiológicas de las plantas serán dictadas por los requerimientos de cada sitio a intervenir y el sistema de producción a utilizar también dependerá de ello. Se reconocen tres sistemas de producción diferenciados por la asociación del tipo de contenedor, insumos y algunos rasgos tecnológicos para el proceso productivo. A continuación se describen brevemente las características de cada uno y en la Figura 43 se muestran de manera ilustrativa.

- Sistema en contenedores: tiene como base la utilización de contenedores de plástico rígido o de poliestireno expandido y el uso de sustratos compuestos (no usa suelo mineral). Hay especies que por su lento crecimiento pueden permanecer en estos contenedores hasta 24 meses, lo que implica utilizar contenedores con mayor capacidad volumétrica (mínimo 220 ml y hasta 300 ml).
- Sistema tradicional en bolsa: utiliza el envase de polietileno negro y permite el manejo de especies de diferentes patrones de crecimiento. El sustrato es a base de suelo mineral mezclado con mejoradores como la corteza de pino compostada. Se recomienda

como mejor alternativa para especies que requieren permanecer en vivero hasta 24 meses, que deban alcanzar diámetros a la base del tallo mínimo de 1 cm y especies con sistema radical fibroso y violento.

- Sistema a raíz desnuda: recomendado principal y exclusivamente para rosetófilas como agaves y yucas. Puede considerarse también para especies con reproducción vegetativa como las cactáceas (nopales, pitayas, etc.) y la candelilla. Se basa en la siembra o plantación de especies sobre terreno que ha recibido algún tipo de preparación como la remoción y fertilización previa. En ocasiones se forman melgas (pequeñas parcelas) o pequeños bordos de surco donde se establecen las plantas (plántulas de semilla).

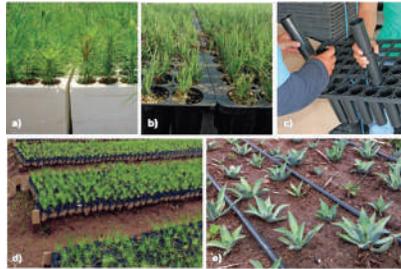


Figura 43. Sistemas de producción de planta forestal. a) Charola de poliestireno expandido, b) contenedor de plástico rígido, c) charola de plástico con tubetes intercambiables, d) producción en bolsa de polietileno y e) producción a raíz desnuda.

### Características morfológicas de la planta

De manera general, las plantas producidas en contenedor y en bolsa, deben guardar una relación equilibrada entre la altura y el diámetro al cuello de la raíz, que a su vez, está relacionada con el tiempo de permanencia de la planta en el vivero y la capacidad volumétrica del contenedor.

Se debe considerar que para especies arbóreas cespitosas (*Pinus montezumae*, *P. devoniana*, entre otras) no aplica el concepto de altura, y que para especies como los agaves y las yucas, lo fundamental será la formación y lignificación de espinas y número de hojas por roseta (en agaves), así como número de hojas y número de bulbos (en yucas).

En el Cuadro 8 y Cuadro 9 se presentan algunos parámetros a considerar para los diferentes tipos de planta y forma biológica (arbórea y no arbórea). Dichos parámetros fungen como referencia dado que las especies

pueden desarrollar distintas características en función de los requerimientos de cada sitio a intervenir y del sistema de producción (tipo y tamaño del contenedor)

**Cuadro 8.** Parámetros morfológicos de calidad usados para especies arbóreas.

<b>Tipo de planta</b>	Conífera no cespitosa	Conífera cespitosa	Latifoliadas o tropicales
<b>Diámetro del tallo</b>	Mínimo 4 mm	Mínimo 6 mm	No aplica
<b>Altura de la planta</b>	15 a 25 cm	No aplica	20 a 35 cm
<b>Raíz</b>	Raíces bien distribuidas y con un eje central definido. Sin raíces envolventes o creciendo hacia arriba. Sin malformaciones o nudos y con abundantes puntos de crecimiento. Abarcando el 70 u 80% del cepellón.		
<b>Micorrizas</b>	Cobertura en cepellón mínima del 40%		N/A
<b>Lignificación</b>	2/3 partes del tallo principal, evitar planta excesivamente alta y delgada		
<b>Integridad</b>	Plantas completas, sin daños físicos o mecánicos (fracturadas)		
<b>Sanidad</b>	Sin alteraciones morfológicas y libres de plagas y enfermedades		
<b>Edad (meses)</b>	6 - 12	18 - 24	3 - 8

**Cuadro 9.** Parámetros morfológicos de calidad usados para especies no arbóreas.

Tipo de contenedor	Tipo de planta	No. de hojas y/o bulbos	Sistema radical	Edad (meses)
RAIZ DESNUDA	Agaves ( <i>Agave</i> spp.)	De 6 a 10 hojas	Fibroso, de color pardo	18 - 24
	Yucas ( <i>Yucca</i> spp.)	6 hojas y 3 bulbos	Fibroso	18 - 24
BOLSA (13X19cm)	Patatas de elefante ( <i>Beaucarnea</i> spp.)	Bulbo de 2 a 3 cm de diámetro	Fibroso	18 - 24
	Sotol ( <i>Dasyilirion</i> spp.)	De 4 a 6 hojas	Fibroso	18
	Cortadillo ( <i>Nolina</i> spp.)	De 4 a 6 hojas	Fibroso	12 - 24
BOLSA (15x25cm)	Palmas arborescentes ( <i>Brahea</i> spp.)	Más de 3 hojas	Fibroso	18

INTEGRIDAD: Plantas completas, sin daños físicos o mecánicos

SANIDAD: Plantas libres de plagas y enfermedades

En la Figura 44, 45 y 46, se muestran las características morfo-fisiológicas que se deben tomar en cuenta para determinar la calidad de la planta, describiendo las características por sistema de producción, siendo los más comunes en contenedores, en bolsa (tradicional) y raíz desnuda.



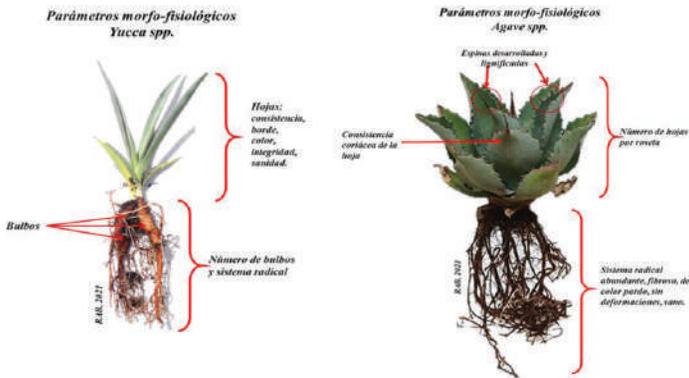
**Figura 44.** Parámetros morfo-fisiológicos a considerar para determinar la calidad de una planta producida en sistema de contenedores.

**Sistema de producción en bolsa (tradicional)**



**Figura 45.** Parámetros morfo-fisiológicos a considerar para determinar la calidad de una planta producida en sistema tradicional de bolsa.

**Sistema de producción a raíz desnuda**



**Figura 46.** Parámetros morfo-fisiológicos a considerar para determinar la calidad de una planta producida en sistema a raíz desnuda.

Para garantizar la calidad de la planta es muy importante dar seguimiento al programa de producción. Este seguimiento puede realizarse a través de visitas de supervisión a los viveros durante todo el proceso (Figura 47); al inicio para asegurar que la siembra se realice en la fecha correspondiente, y en la etapa de desarrollo y entrega, para asegurar que la planta cumpla con las características convenidas.



**Figura 47.** Supervisión del programa de producción de planta.

Para la cuantificación y valoración de la planta de vivero, se podrá utilizar la “Metodología para la evaluación de calidad y levantamiento del inventario de planta en los viveros forestales” emitida por la Coordinación General de Conservación y Restauración, disponible para su consulta en la página oficial <https://www.gob.mx/conafor>.

### 3.3.3 Extracción y transporte de la planta

Es importante tener en cuenta que cualquier movimiento, manipulación o traslado de la planta, incluso dentro del mismo vivero, provoca estrés y le puede causar la muerte, por lo tanto, la forma en que la planta es manipulada y transportada al sitio de plantación es un factor determinante en el establecimiento y sobrevivencia de la misma.

El traslado de la planta se debe realizar de preferencia cuando el temporal de lluvias esté bien establecido en la región a reforestar, para que en campo reciba la cantidad de humedad suficiente para arraigarse. Y el establecimiento de la planta en el sitio definitivo se debe realizar en un tiempo no mayor a una semana a partir de su retiro del vivero.

Con base en lo anterior, deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones para que la planta llegue al campo en las condiciones óptimas para ser establecida.

#### **Extracción y embalaje**

Una vez verificado en el vivero que la planta corresponde a las especies, cantidad y características técnicas convenidas (altura, diámetro, lignificación, volumen de contenedor, etc.), se deberá programar con el viverista y el transportista la fecha de retiro de la planta así como la logística para realizar el traslado.



**Figura 48.** Muestra de una planta con parámetros morfo-fisiológicos de calidad óptimos, de acuerdo con los requerimientos del sitio a intervenir.

Previo a la extracción de la planta del contenedor, en el caso de las charolas, se deberá aplicar un riego para reducir el estrés de la planta a la hora de la manipulación y traslado (Figura 49) y no se deberá aceptar ni extraer planta suprimida (planta subdesarrollada, elongada o que no reúna las características mínimas de los parámetros morfo-fisiológicos de calidad pre-establecidos).



**Figura 49.** Riego de la planta previo a su extracción.

Para la planta producida en contenedores (charola de plástico rígido o poliestireno expandido) considerar lo siguiente:

- La extracción y embalaje de la planta deberá realizarse bajo sombra.
- El embalaje puede realizarse preferentemente a cepellón desnudo; en rejas de madera (huacales) y cajas plásticas (taras) recubiertas de papel humedecido, o en paquetes conformados con plástico adherible (vitafilm) (Figura 50).
- Si se empaquetan con plástico vitafilm, deben conformarse arreglos piramidales de máximo 10 cepellones (bien alineados) y envolverse con tres vueltas de plástico, cuidando que no se sellen los paquetes ni se aplique demasiada presión que lleve a la compactación y/o deformación del cepellón y daño al sistema radical.

- Los paquetes deben llevar la parte inferior libre (colocar a 2 cm de la base del cepellón) para propiciar el intercambio gaseoso en el proceso de respiración de las raíces y se debe evitar cubrir la parte superior de los cepellones para permitir el acceso al agua en caso de aplicación de riego de emergencia.
- Una vez empaquetada la planta y mientras se espera la carga al vehículo, los paquetes o cajas deben permanecer en un lugar bajo sombra, con acceso al agua para riegos de auxilio y acomodada en secciones para favorecer la aireación.
- Cuando la planta sea entregada en la charola (Figura 51), se debe realizar un conteo de las plantas vivas contenidas por charola, y para charolas con tubetes intercambiables, cerciorarse que contenga sólo tubetes con planta viva, en ambos casos solo se debe tener una planta por cavidad. El vehículo en el que se va a transportar la planta, deberá estar acondicionada para la estiba de charolas, de manera que no se sobrepongan las plantas y lleguen a dañarse, reduciendo su probabilidad de sobrevivencia.



**Figura 50.** Extracción y embalaje de planta bajo sombra.



**Figura 51.** Entrega de planta en charolas de poliestireno expandido. a) Forma correcta de acarrear, b) forma incorrecta de acarrear.

**Para la planta producida en bolsa de polietileno,** considerar lo siguiente:

- Se deberá llevar un conteo de las bolsas con planta viva que se extraen en las platabandas y comprobar contra las que se estiban en el vehículo. Considerando que el vehículo deberá estar acondicionado con estibas o pisos, de tal manera que las bolsas no se apilen unas sobre otras.
- Durante el proceso de extracción, acarreo y acomodo de la planta en los vehículos, los ejemplares deberán sujetarse de la bolsa y no del follaje o tallo (Figura 52), lo cual evita el aumento de estrés por dicha actividad.



**Figura 52.** Sujeción de la planta durante el proceso extracción, acarreo y acomodo

El acarreo de las platabandas a los vehículos debe realizarse en cajas (plástico o madera), plataformas, remolques o carretillas. En cualquiera de estos casos, las plantas deben colocarse en posición vertical o ligeramente inclinadas (Figura 53) y no estibar las bolsas unas sobre otras, siempre se deberán poner tarimas entre cada tendido de bolsas.



**Figura 53.** Acomodo de las plantas en carretillas. a) Manera adecuada (ordenada y vertical o con poca inclinación) b) manera incorrecta (amontonada y acostada).

## Estibado y transporte

Para estivar y transportar la planta correctamente se debe considerar lo siguiente:

- El vehículo debe estar acondicionado para el transporte de la planta con redilas, tarimas a nivel o rieles a manera de mesas portacontenedores (Figura 54) y contar con una cubierta superior de malla sombra (para evitar la deshidratación y maltrato del follaje por efectos del viento), estas condiciones también aplican para sistemas de arrastre como remolques.
- No estibar los paquetes a granel (sin cajas), y en caso de ser necesario, no se deben estibar más de dos niveles para no aplastar el cepellón ni maltratar el follaje (Figura 55).



**Figura 54.** Estibado de la planta en vehículos. a) Estibado correcto de charolas, b) estibado correcto de paquetes a granel (no más de dos niveles).



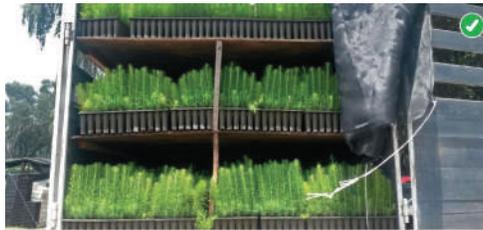
**Figura 55.** Estibado correcto de paquetes a granel.

- Para el transporte de planta en cajas de madera o plástico (Figura 56), no se deben estibar más de 6 cajas o rejas (siempre y cuando el follaje de la planta no exceda la altura de la caja), ya que una mayor cantidad de estibas ocasiona daños y estrés a la planta por sobrecarga.



**Figura 56.** Estibado adecuado de cajas en vehículo.

- Para el transporte de la planta en charola de plástico rígido, de unícel o charola con tubetes intercambiables, se deben utilizar tarimas a nivel o rieles a manera de mesas portacontenedores en el vehículo (Figura 57), la separación entre estos debe ser suficiente para permitir que el follaje de la planta se mantenga sin dobleces y no sufra daños mecánicos (Figura 58).



**Figura 57.** Estibado correcto de contenedores en vehículos acondicionados.



**Figura 58.** Estibado incorrecto de contenedores, la planta puede sufrir daños mecánicos por el movimiento del vehículo.

- Es importante notificar al viverista sobre cualquier anomalía que comprometa la integridad de la planta, ya sea en su conteo, extracción, empaquetado o estibado en el vehículo.
- Una vez que la planta sale del vivero con las condiciones adecuadas de extracción, embalaje y estibado, la responsabilidad del cuidado y manejo es totalmente de la persona beneficiaria y del transportista hasta la llegada a su destino, por lo que es de suma

importancia que exista una logística bien definida del traslado, considerando variables como el tiempo estimado del viaje, escalas y personal que realizará la descarga de la planta del vehículo.

- El viaje debe realizarse antes del medio día o al atardecer para reducir el estrés de la planta por exposición prolongada al sol, los cambios bruscos de temperatura y a una velocidad moderada, preferentemente sin escalas o paradas prolongadas.
- Se deben realizar el número de viajes que sean necesarios, según la capacidad del o los vehículos. Si existe dudas sobre la capacidad de vehículo consultar con el viverista.

### **3.3.4 Manejo postvivero y traslado al sitio de reforestación**

Una vez que la planta ha llegado al destino provisional (centro de acopio) o definitivo, es importante considerar los siguientes aspectos:

- La descarga deberá realizarse en un lugar plano, de preferencia utilizar carretillas o cajas para descargar y acarrear la planta, para evitar movimientos bruscos que ocasionen la pérdida de la tierra o material del cepellón.
- En caso de descargar paquetes, éstos se deben tomar del cepellón protegido con el plástico; los contenedores, rejas y cajas, deben tomarse de las orillas o desde la base. En cualquier caso, nunca se debe tomar la planta del tallo ni del follaje.
- El lugar de descarga debe ser cercano al sitio definitivo de plantación, la planta debe colocarse en un lugar ventilado y sombreado, cerca de algún punto de abastecimiento de agua, y es conveniente que posterior a la descarga y el acomodo, se aplique un riego para su hidratación (Figura 59).



**Figura 59.** Forma correcta de resguardar la planta después de la descarga (bajo sombra y con abasto de agua).

- Se debe acomodar la planta por secciones, para favorecer la aireación y facilitar las labores de mantenimiento mientras se llevan al sitio definitivo (Figura 60). No estibar en más de dos niveles y en una sola sección (Figura 61).



**Figura 60.** Acomodo correcto de la planta (cerca del sitio de plantación, colocada en grupos que permiten la aireación, bajo sombra y sin estibar).



**Figura 61.** Forma incorrecta de acomodar la planta (el amontonamiento no permite la aireación y dificulta un riego adecuado).

- Mientras la planta permanezca en el centro de acopio, se deberán realizar riegos matutinos o vespertinos, según sea necesario; en caso de ser paquetes de planta con cepellón envuelto en plástico, es conveniente hacer pequeñas perforaciones en el plástico para permitir el drenaje de agua.
- Se recomienda que la planta no permanezca almacenada más de 15 días, de lo contrario, la calidad se pierde y las probabilidades de supervivencia se reducen.
- Si el traslado del centro de acopio al sitio definitivo es con vehículo o remolque, se recomienda acomodar de manera homogénea los paquetes, rejas o bolsas; evitando de esta manera que con el movimiento del vehículo las plantas se muevan y sufran de dobleces o fracturas.
- Si el traslado del centro de acopio al sitio definitivo es con animales de carga, se recomienda utilizar cajas de madera o de plástico cuidando que las plantas queden ajustadas para evitar movimiento excesivo durante el traslado y la carga debe estar bien sujeta y nivelada para evitar caídas. No poner más de una caja de plantas por lado del animal y evitar en todo momento el daño a las hojas y tallos de las plantas.
- Es necesario que solamente se lleve al campo la cantidad de planta que se va a plantar en la jornada, la cual se puede calcular considerando el diseño de plantación utilizado y el número de jornadas que se van a emplear.

### 3.3.5 Trazo del arreglo de plantación

A continuación se describen algunas metodologías para trazar los arreglos de plantación en función de las características del terreno, principalmente de la pendiente y los obstáculos naturales que pueden presentarse.

En general, se recomienda, al igual que la construcción de las obras y prácticas de conservación de suelo, comenzar en una esquina de la parte más alta del terreno; trazar la primera línea de plantación y posteriormente, aguas abajo dar el espaciamiento necesario entre líneas, empezando por el lindero del predio hacia el interior del terreno (Figura 62).

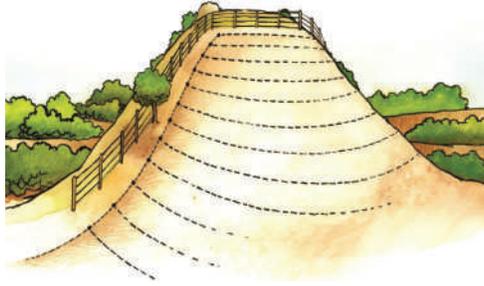


Figura 62. Puntos de inicio del trazo en curvas de nivel.

**Terrenos planos o con pendientes de hasta 20%**

En terrenos planos o con pendientes de hasta 20% y con escasos obstáculos naturales, se puede trazar el arreglo utilizando el sistema escuadra o el sistema de balizas o varas, los cuales se describen a continuación paso a paso, así mismo, en el Cuadro 10 se enlistan las herramientas y materiales necesarios para el trazo de la plantación.

**Cuadro 10.** Herramientas para el trazo de la plantación.

Herramientas y materiales	Características
Escuadra metálica	Tipo herrero de 12"
Flexómetro	Tipo carrete de 50 m
Martillo	Tipo bola 3.5 Lbs.
Machete	Tipo estándar 16"
Aparato "A", caballete, nivel de manguera.	De acuerdo al Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales
Hilo plástico	Tipo agrícola, en rollo, color blanco o amarillo
Estacas	30 cm largo, +/- 3/4" diámetro, de madera o metal, cantidad: las necesarias
Balizas de madera	Largo según determinación del distanciamiento entre plantas y entre hileras, diámetro: +/- 1", cantidad: las necesarias.

## Sistema escuadra

**Primer paso:** buscar el encuadre mediante el uso de una escuadra cantera en una de las esquinas de la superficie disponible entre cada obra o práctica de suelo (Figura 63), y tender un hilo de plástico sobre el ángulo recto formado a lo largo y ancho del terreno.

**Segundo paso:** fijar el hilo al suelo con estacas, medir el distanciamiento entre hileras con un flexómetro y marcarlo con estacas clavadas sobre el punto proyectado en el terreno (Figura 64).

**Tercer paso:** tender un hilo de plástico sobre la primera hilera, medir la distancia entre plantas con un flexómetro y marcar con una estaca clavada sobre el punto proyectado en el terreno (Figura 65).

**Cuarto paso:** a medida que avanza el marcaje sobre el terreno, la línea de hilo se debe mover a la siguiente hilera (Figura 66). Si un punto del marcado cae en un obstáculo natural o dentro de las obras de suelo (zanjas trinchera, zanjas bordo, etc.), se debe recorrer el punto hacia una zona donde no haya obras.

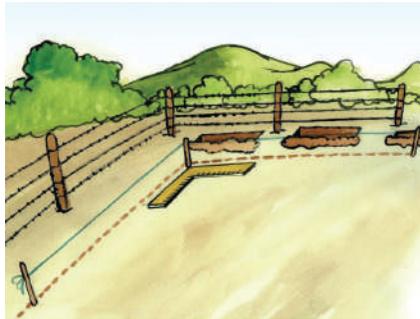


Figura 63. Trazo con escuadra y uso de estacas.

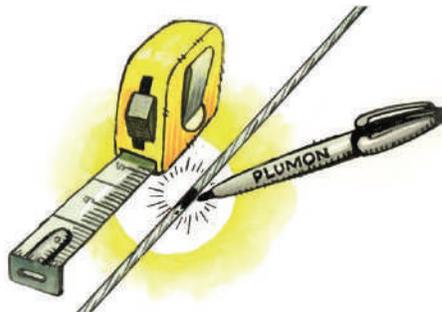
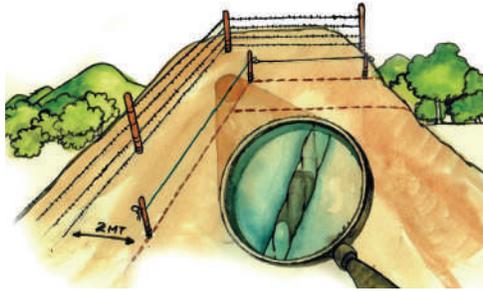
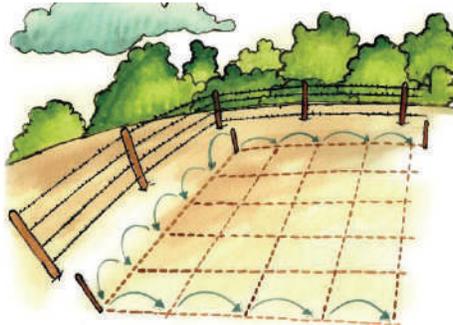


Figura 64. Marcaje de la distancia entre plantas.

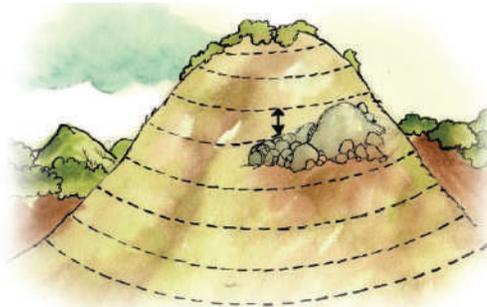


**Figura 65.** Marcateo de posición de la planta.



**Figura 66.** Movimiento de hilos conforme al avance de marcateo.

Es importante tomar en cuenta que las hileras deben seguir las curvas a nivel del terreno, por lo que en ocasiones las hileras llegarán a juntarse. En estos casos, se opta por la hilera superior o la que se encuentra aguas arriba (Figura 67), eliminando la línea original o la que queda aguas abajo, dado que el distanciamiento se vuelve menor al recomendado. Esta situación es frecuente, por lo que es necesario que se tome en cuenta para cumplir con la densidad de plantación.



**Figura 67.** Empalme de curvas a nivel.

- A partir de un triángulo rectángulo:

**Primer paso:** en una cuerda de 12 m se deben hacer marcas a los 4 y 7 m.

**Segundo paso:** unir los extremos de la cuerda y tensar formando vértices a partir de la unión y las marcas realizadas con anterioridad. Con lo anterior, se forma un triángulo con medidas de 3, 4 y 5 m.

**Tercer paso:** el ángulo recto que se forma entre los lados 3 y 4 m, se coloca en el punto donde se pretende iniciar la hilera. El lado de 4 m proporciona la dirección de la hilera y el lado de 3 m, el espaciamiento entre hileras.

- Sistema de balizas o varas:

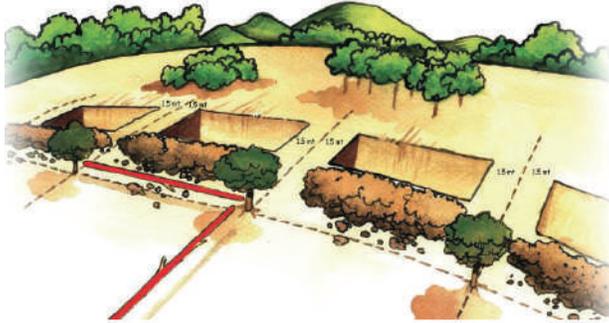
**Primer paso:** las balizas o varas deben tener las medidas de acuerdo con la densidad de cada tipo de ecosistema y corresponde a la distancia entre hileras y plantas (Figura 68).

**Segundo paso:** desde una de las esquinas y al margen se la obra de suelo se tiende la primera baliza sobre el terreno para determinar el distanciamiento entre plantas, y en seguida se tiende la segunda baliza de forma perpendicular para determinar el distanciamiento entre hileras (Figura 69). En el extremo contrario de cada una se realiza el marcado con estacas, o en su caso, se realiza la apertura de la cepa.

**Tercer paso:** después de marcar el primer punto, se continúa tendiendo las balizas sobre el terreno para determinar el total de puntos de forma lineal hasta abarcar la totalidad del área propuesta para la reforestación. El número de balizas a utilizar varía de acuerdo con el número de hileras diseñadas



**Figura 68.** Marcaje de distanciamiento para el sistema de balizas.



**Figura 69.** Balizas indicando distanciamiento de plantas e hileras.

### Terrenos con pendientes mayores a 20%

En terrenos con pendientes mayores al 20% y sin la presencia de obstáculos que impidan el trazo de un arreglo de plantación, se debe realizar la reforestación en curvas a nivel. La metodología para el trazo de las curvas a nivel con diferentes instrumentos (aparato “A”, nivel de manguera o nivel de hilo) se describe en el Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales.

Para el sistema tres bolillo o triangular, se deben tener las siguientes consideraciones:

- Para el trazo de la curva de nivel, previamente se determina el distanciamiento entre plantas.
- Tender un hilo de plástico sobre la curva de nivel, sujetándolo con estacas.
- Con un flexómetro, se mide la distancia entre líneas, marcando el hilo con tinta indeleble o estacas sobre la proyección del punto en el terreno.
- El sistema de balizas también puede aplicarse en terrenos de estas características.
- Para la posición que cierra el triángulo equilátero, la distancia entre hileras deberá ser 50 cm menos al distanciamiento normal, es decir, si el arreglo es a 3 x 3 m, la distancia hasta la próxima hilera deberá ser de 2.5 m (Figura 70).

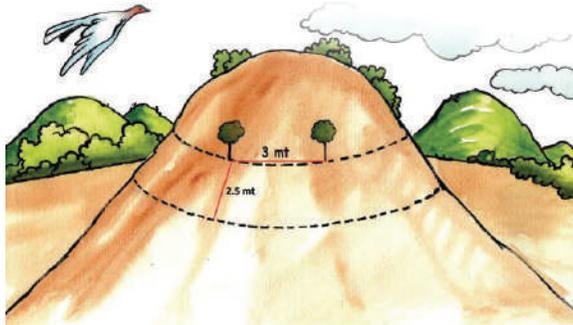


Figura 70. Trazo de distancia entre hileras.

### Terrenos con pendientes mayores a 20% y presencia de obstáculos naturales

Para terrenos con pendientes mayores al 20% y con mayor presencia de obstáculos naturales, se recomienda utilizar el diseño irregular, mismo que no requiere de líneas definidas entre plantas e hileras (Figura 71); sin embargo, es importante que la distancia entre plantas no sea muy reducida para evitar la competencia por espacio, nutrientes, agua, etc., así mismo, se debe respetar la densidad por hectárea de acuerdo con el ecosistema.

Bajo el concepto de restauración ecológica, la utilización de parches o manchones como arreglo topológico suele ser muy efectivo, sobre todo cuando en el diseño de intervención se plantea mezclas de especies multipropósito, donde unas fungen como nodrizas de otras.

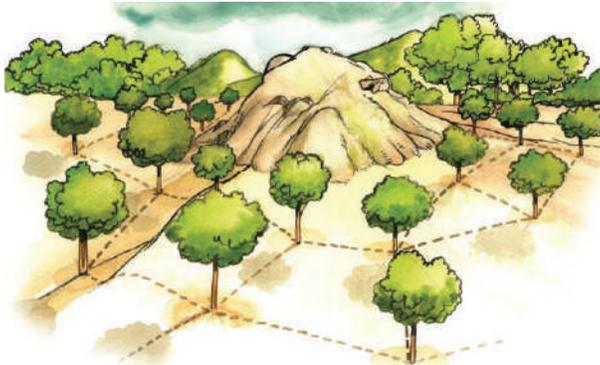


Figura 71. Diseño irregular en terrenos con pendientes mayores al 20% y obstáculos naturales.

### 3.3.6 Calendario óptimo de plantación

La plantación deberá realizarse dentro de los dos primeros tercios del periodo de lluvias, cuando el suelo tenga la humedad suficiente para evitar la deshidratación de la planta. En caso de utilizar material vegetativo de especies suculentas como agaves, nopales, cactáceas etc., la plantación deberá realizarse antes o después del periodo de lluvias, para evitar la pudrición de la planta.

No se debe plantar al final de la temporada de lluvias, ya que si bien, puede haber un buen prendimiento, el arraigo de las plantas en el sitio de plantación no será suficiente para soportar el periodo de estiaje y la sobrevivencia de la reforestación podría disminuir.

La CONAFOR publica en su página oficial un calendario óptimo de plantación considerando las características climáticas de cada entidad federativa. Dicha información funge como referencia para las distintas propuestas de restauración forestal, considerando la variabilidad climática a nivel nacional de los últimos años causado por el cambio climático.

### 3.3.7 Plantación

#### Tipos de cepa

El tipo de cepa a utilizar dependerá del sistema de producción de planta empleado en el vivero, el grado de degradación del suelo, su textura, nivel de pedregosidad, profundidad y la pendiente del terreno. A continuación se describen los dos tipos de cepas principales más comunes y los pasos para su construcción.

Cepa común: este tipo de cepa se emplea para la planta producida en bolsa de polietileno, aunque puede usarse para plantas en contenedores también, dependiendo de las condiciones del terreno; consiste en hacer una apertura en el suelo de forma cúbica o cilíndrica, las dimensiones de la cepa dependen del tamaño del cepellón (la tierra deberá cubrir totalmente el cepellón (raíz) y la parte aérea (tallo y follaje) debe quedar libre), la planta deberá colocarse de forma vertical.

- Generalmente, para la planta producida en bolsa de polietileno o charola se utilizan dimensiones de 20 cm de ancho x 20 cm de largo x 30 cm de profundidad. No obstante y en virtud de que los

sitios donde se planta, las condiciones de degradación son graves, hay sitios prácticamente sin suelo, y si se asocia con climas secos, se recomienda hacer una cepa de al menos 30cm x 30 cm x 30 cm, de tal manera que la cepa sirva para almacenar buena cantidad de humedad que ayude al establecimiento de la planta. Estas dimensiones serían independientemente del sistema de producción. Si se utiliza planta de bolsa de 15 x 25, lo recomendable es hacer una cepa común de 40cm x 40 cm x 40 cm.

- Se recomienda separar la primera mitad de la tierra extraída (tierra con mayor contenido de materia orgánica y nutrientes) de la tierra de la segunda mitad, depositándola en lados contrarios de la cepa (Figura 72). Al momento de realizar la plantación, se depositará primero la tierra de las primeras capas y al final, la tierra del fondo.
- Se recomienda la aplicación de composta en el momento de la plantación para ayudar al establecimiento de la planta. Esto funciona como abono natural.

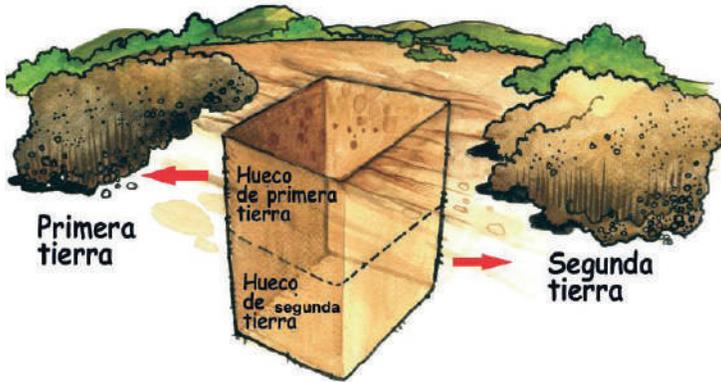
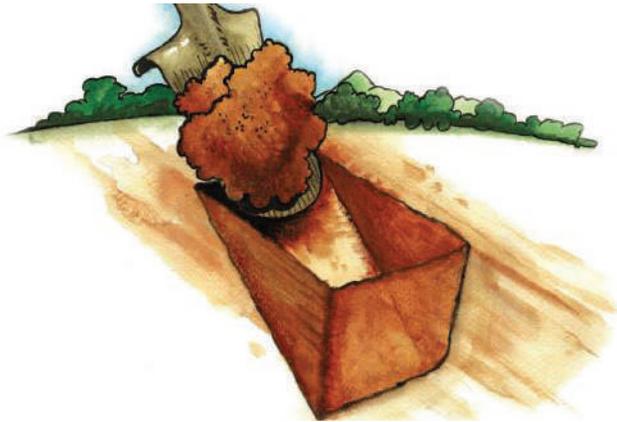


Figura 72. Separación de las capas de la tierra en la apertura de cepa común.

**Cepa a golpe o pico de pala:** este tipo de cepa se utiliza de preferencia para planta producida en contenedores y en terrenos que tengan suelos profundos y ricos en materia orgánica, no pedregoso y donde previamente hubo una preparación del terreno; consiste en seleccionar una herramienta (pala recta, pala plantadora o pico) con la que al dar un golpe al suelo (o los golpes que sean necesarios) se haga un hoyo o apertura lo suficientemente grande para colocar el cepellón de la planta (Figura 73) sin quedar apretado o con las raíces dobladas, de manera que permita un buen desarrollo radicular.

Este tipo de cepa exige mucho cuidado, pues en ocasiones, la perforación es tan superficial que al poner el cepellón, este queda con la mitad fuera de la cepa. Otra situación que puede presentarse, es que la cepa u oquedad quede inclinada y al momento de poner la planta, esta queda acostada según la orientación de la apertura de la cepa. Por ello, no se recomienda en terrenos secos, donde ya no hay suelo y se planta sobre la roca madre (caliza o tepetate).

- Aunque no tiene una dimensión bien definida, el espacio deber ser suficiente para colocar la raíz de la planta (aproximadamente 20 cm de diámetro por 20 cm de profundidad) (Figura 74).



**Figura 73.** Conformación de la cepa a golpe mediante el uso de pala o pico.



**Figura 74.** Dimensiones de la cepa mediante apertura de golpe.

## Plantación

Para realizar la plantación se deberán considerar los siguientes pasos:

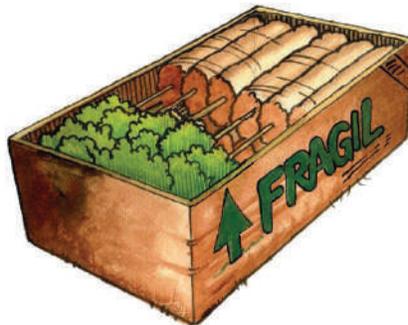
**Primer paso:** retirar el embalaje utilizado para el transporte cuidando la integridad de la planta.

- Planta empaquetada con plástico vitafilm: se deberá retirar el plástico del cepellón cuidando la integridad de las raíces (Figura 75). Con cuidado, deberán separarse cada una de las plantas que conforman el paquete, de tal manera que se planta solo una planta por cepa. Nunca colocar todos los cepellones del paquete en una cepa.



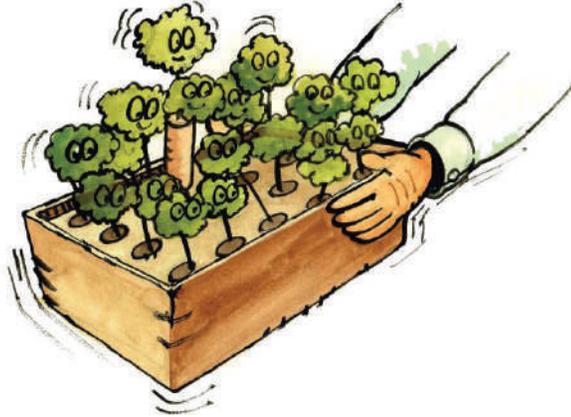
**Figura 75.** Retiro del plástico adherente de las plantas.

- Planta a cepellón desnudo: la planta a cepellón desnudo colocada en cajas de madera o plástico deberá extraerse con precaución, siguiendo el orden de las capas de planta (Figura 76) hacia el fondo de la caja.



**Figura 76.** Capas de planta que deben ser consideradas para su adecuada extracción.

- **Planta en contenedor o tubetes:** la planta entregada en charolas deberá extraerse dando ligeros golpes al contenedor (charola de plástico rígido, unisel o tubetes) de manera que se pueda separar el cepellón de las paredes de la cavidad (Figura 77). No se recomienda el uso de materiales como varas o varillas que sirvan para golpear la caja o empujar las plantas, ya que reducen la vida útil de las charolas, aunado a que pueden generar daños a la parte radicular de la planta (Figura 78).



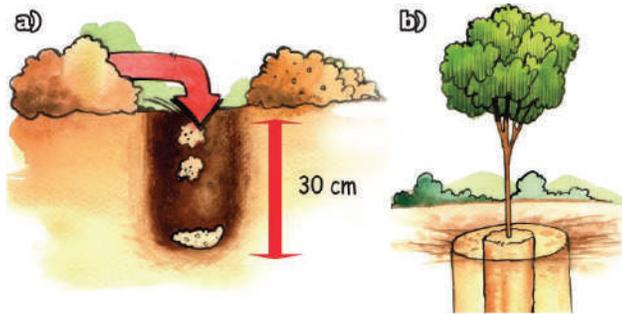
**Figura 77.** Forma correcta de separar el cepellón de la cavidad, dando ligeros golpes al contenedor.



**Figura 78.** Forma incorrecta de extraer las plantas del contenedor (reduce la vida útil de la charolas y puede causar daños al sistemas radical de la planta).

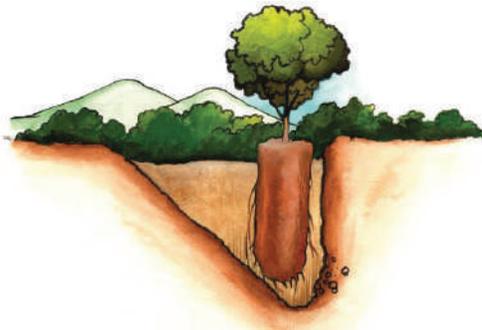
**Segundo paso:** colocar la planta en la cepa.

- **Plantación en cepa común:** previo a la colocación de la planta en la cepa, es necesario agregar una porción de la tierra superficial (primera mitad de la tierra extraída en la conformación de la cepa) mezclada con composta (en caso de contar con el insumo) para que la planta tenga una mayor disposición de nutrientes, y posteriormente colocar la planta de manera vertical y al centro de la cepa (Figura 79).



**Figura 79.** a) Muestra de porción de suelo depositado en la cepa, previo a la colocación de planta; b) Colocación de la planta en la cepa.

- **Plantación en cepa hecha a golpe de pala o pico:** colocar la planta de forma vertical en la parte más profunda, procurando que el diámetro de la apertura y la profundidad permitan la entrada del cepellón (Figura 80). Es importante que la planta quede acomodado de manera vertical, dado que en caso de quedar inclinada, aparte de perder la calidad de la planta, se genera madera de reacción.



**Figura 80.** Colocación de la planta en la cepa a golpe de pala.

**Tercer paso:** rellenar la cepa.

- Independientemente del tipo de cepa utilizado, después de colocar la planta se debe rellenar primero con la tierra superficial y después con la tierra extraída de la parte profunda de la cepa (Figura 81). Al finalizar se debe apisonar (compactar la tierra) y hacer un pequeño “estirón” para evitar que las raíces queden dobladas en el fondo (Figura 82).



**Figura 81.** Relleno de la cepa posterior a la colocación de planta.

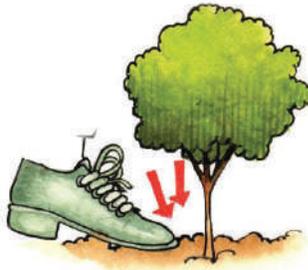


**Figura 82.** Estiramiento de la planta posterior a la plantación y llenado de cepa.

- Se deben deshacer los terrones para que el cepellón quede bien cubierto con la tierra y desechar piedras o cualquier otro material.

**Cuarto paso:** compactar el suelo.

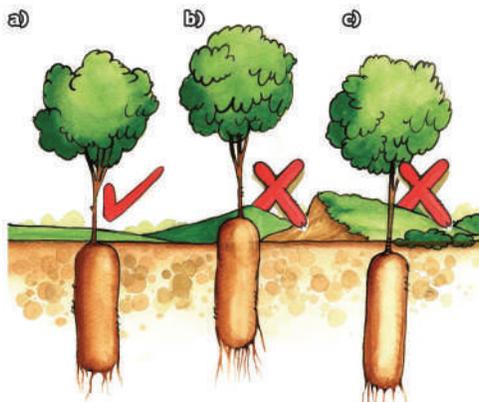
- Una vez rellenada la cepa, se debe apisonar ligeramente el suelo alrededor de la planta para evitar espacios vacíos o aire que pueden provocar la deshidratación de las raíces y reducir la supervivencia (Figura 83).



**Figura 83.** Compactación del suelo mediante apisonamiento posterior a la plantación.

**Observaciones generales:**

- Para la planta producida en bolsa de polietileno: siempre se debe quitar la bolsa antes de plantar, nunca debe plantarse con la bolsa en el cepellón; en caso de que la raíz haya sobrepasado el plástico de la bolsa, al quitar la bolsa, se recomienda realizar una poda de las raíces, recortando las puntas y las raíces que estén dobladas o se considere una condición inadecuada. En ocasiones, conviene hacer cortes a lo largo del cepellón, a manera de poda, para propiciar la emisión de raíces nuevas.
- Para compensar la pérdida radicular, dependiendo del tamaño de la planta, será necesario realizar una poda mínima del follaje para evitar la deshidratación de planta. En coníferas, se recomienda no podar el ápice. En latifoliadas, solo quitar un poco de hojas inferiores.
- La planta producida en charolas, tubetes o a raíz desnuda se debe sujetar de la base del tallo, mientras que la planta producida en bolsa se debe sujetar del cepellón.
- La base del tallo debe quedar al ras del suelo, es decir al mismo nivel que la cepa (Figura 84).
- Se recomienda realizar la plantación inmediatamente después de la extracción (ya sea de las cajas, paquetes, contenedores o de la bolsa) y evitar la exposición del cepellón a la intemperie por largos periodos.



**Figura 84.** Establecimiento de la planta. a) Plantación correcta, la base del tallo queda a nivel de la cepa; b) plantación incorrecta, la base del tallo queda sobre el nivel de la cepa; c) plantación incorrecta, la base del tallo queda por debajo del nivel de la cepa.

## Apertura del cajete

La apertura de un cajete alrededor de la planta ayuda a incrementar la captación de agua y con ello a tener una mayor disponibilidad de humedad, además, al descompactar el suelo circundante, se favorece la infiltración de nutrientes.

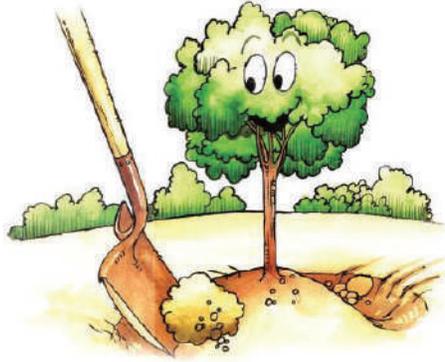
Esta práctica también es funcional en caso de que la planta requiera un riego de auxilio, ya que mantiene el agua hasta que se infiltre por completo en la cepa o alrededor de ésta. A continuación se describen los pasos para su construcción:

**Primer paso:** con la ayuda de un pico, pala o azadón (Figura 85), remover el suelo del área circundante a la planta, creando un círculo de un metro de diámetro con forma cóncava (como un disco de arado).



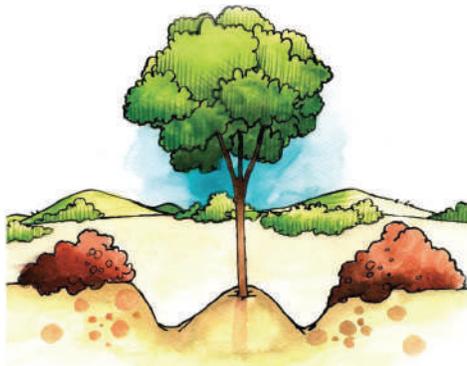
**Figura 85.** Apertura de cajete alrededor de la planta.

**Segundo paso:** dejar los rastrojos de pastos o herbáceas por fuera del cajete y llevar la tierra removida al centro para cubrir la base del tallo, sin compactarlo y sin tapanlo demasiado. Esta práctica se conoce como “arrope” de la planta y sirve para evitar la exposición prolongada del tallo a la humedad o al ataque de insectos nocivos (Figura 86). Se recomienda no “arropar” más allá de unos 5 cm del tallo, porque puede resultar contraproducente.



**Figura 86.** Colocación de la tierra removida en la base de la planta.

**Tercer paso:** utilizar la tierra removida hacia las orillas para conformar un borde circundante al cajete y para evitar el derrame del agua captada (Figura 87).



**Figura 87.** Conformación del borde del cajete.

Las dimensiones del cajete pueden variar según las características del suelo (textura, profundidad, pedregosidad, pendiente, etc.), así como la disposición de planta en las obras y prácticas de suelos; sin embargo, se recomienda un cajete de aproximadamente un metro de diámetro (en suelos pobres pueden tener mayores dimensiones).

### **Cuidados post plantación**

Es recomendable que después de la plantación se realicen actividades de apoyo para reducir el estrés post plantación y para ayudar a la planta en el proceso de arraigo de las raíces al suelo.

Los cuidados post plantación pueden incluir las siguientes actividades:

**Riego de auxilio:** de preferencia debe realizarse por las mañanas o por las tardes (según la distancia al punto más cercano de abastecimiento de agua). En caso de contar con un afluente, cuerpo de agua o contenedor cercano al predio a restaurar, pueden usarse mangueras o motobombas (Figura 88), si no, puede realizarse de forma manual, usando tambos, cubetas, regaderas de jardinería (Figura 89), etc., y acarreado el agua hacia los cajetes de las plantas.

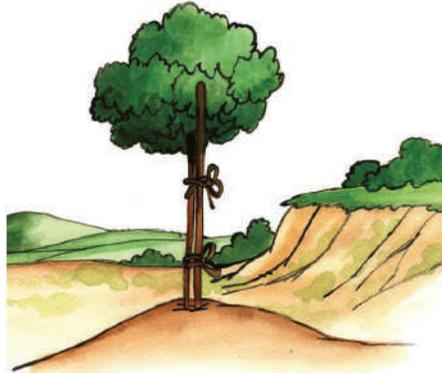
Los riegos de auxilio aplicarán cuando se realice una plantación tardía, posiblemente en el último tercio del período de lluvias (no recomendable). También se recomiendan en zonas donde el temporal es corto o son climas secos y solo si la planta lo requiere.



Figura 88. Riego de auxilio posterior a la plantación.



Figura 89. Riego manual con regadera jardinera.



**Figura 90.** Instalación de tutores temporales.

**Observaciones generales:**

- Estas actividades post plantación son recomendadas para aquellos sitios donde el periodo óptimo de plantación es reducido o presentan variaciones climáticas durante el temporal, como el caso de los llamados periodos caniculares.
- Una vez efectuadas las actividades de reforestación, es importante realizar recorridos periódicos de supervisión en el predio para identificar condiciones o eventualidades que se pudieran presentar, como la introducción de ganado, incendios, plagas, enfermedades, etc., y tomar medidas correctivas que garanticen la sobrevivencia de las plantas.

# Mantenimiento de las zonas restauradas

# 4

El objetivo de realizar actividades de mantenimiento es asegurar la sobrevivencia de la reforestación en el mediano plazo y garantizar que las obras de conservación de suelos y otras actividades tengan un funcionamiento óptimo.

## 4.1 Mantenimiento de las actividades de protección

Se recomienda rehabilitar las brechas cortafuego según el desarrollo del estrato arbustivo y herbáceo del área de intervención, en áreas donde éstos estratos presentan un crecimiento rápido, se recomienda el mantenimiento al menos una vez al año, eliminando todo el material que pueda convertirse en combustible (Figura 91) y dañar la reforestación en caso de incendio, y no esperar a que la brecha haya sido cubierta en su totalidad

En las regiones tropicales que presentan una rápida regeneración de la vegetación herbácea (principalmente pastos), se recomienda, realizar esta actividad dos veces al año.



**Figura 91.** Remoción de vegetación herbácea, pastos y material combustible en la brecha.

## 4.2 Mantenimiento de obras de conservación y restauración de suelos

El mantenimiento de las obras de conservación y restauración de suelos (aplica sólo a las obras en ladera), comprende actividades como la conformación y compactación de bordos, reconstrucción de barreras, reposición de plantas en barreras vivas, entre otras (Figura 92).



**Figura 92.** Obra de conservación de suelo en ladera que requiere mantenimiento.

## 4.3 Mantenimiento de la reforestación

El mantenimiento de la reforestación considera actividades que en su conjunto buscan asegurar la sobrevivencia de la reforestación y favorecer el desarrollo de la planta establecida. Esto debe realizarse cuando en el área de intervención se esté desarrollando vegetación que represente competencia directa por recursos con la planta establecida (agua, luz, etc.) (Figura 93). Podrá incluir actividades como la reapertura de cajetes, limpieza con herramientas manuales (machete, azadón, etc.), entre otras actividades que se observen necesarias en las visitas de seguimiento.



**Figura 93.** Reforestación con requerimiento de mantenimiento.

### 4.3.1 Reposición de planta muerta

Con esta actividad se busca mantener la densidad previamente definida para la plantación. Para calcular la cantidad de planta necesaria para la reposición será necesario recorrer las líneas de plantación y ubicar las cepas que presenten evidencias de planta muerta, como rastros del tallo, follaje o raíces (Figura 94). Una vez identificadas, se deben colocar marcas para facilitar su localización posterior.

La reposición de planta muerta no solo implica la sustitución por plantas vivas, es importante la inclusión de especies intermedias que mejoren las condiciones del sitio, por lo que desde la planeación de la restauración, se programa el establecimiento de dichas especies, las cuales pueden ser de un ciclo de producción mayor a los 12 meses.



**Figura 94.** Identificación de una cepa con planta muerta.

### 4.3.2 Rehabilitación de cajetes

Esta actividad consiste en retirar el azolve acumulado dentro del cajete o reconstruirlo (en caso de presentar deslaves) para restablecer sus funciones de captación de agua (Figura 95). Esta actividad debe realizarse previo a la temporada de lluvias.

Es importante determinar la cantidad de estas obras mediante la supervisión en campo de la reforestación, ya que se debe evaluar su funcionalidad durante la temporada de lluvias.



Figura 95. Reconstrucción del cajete.

### 4.3.3 Control de malezas

El objetivo de esta actividad es eliminar la competencia por agua, luz y nutrientes entre las plantas establecidas en la reforestación, para favorecer el desarrollo de las plantas de la reforestación. Es importante tener en cuenta que, la limpieza de cajetes contribuye al control de malezas; sin embargo, también hay que considerar que muchas de las especies consideradas como “malezas”, son especies pioneras y cumplen una función dentro del proceso de restauración, por lo que el control de malezas debe tener una orientación a disminuir la competencia directa con la planta establecida.

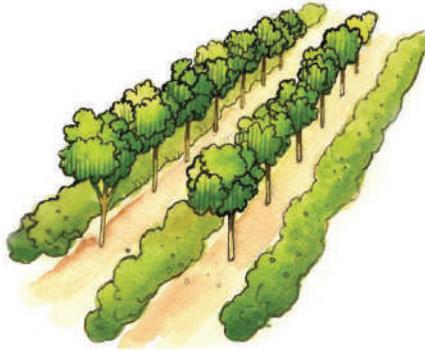
De acuerdo con las necesidades del sitio pueden realizarse las siguientes modalidades:

**Control focalizado:** consiste en la eliminación de la vegetación arbustiva y/o herbácea presente en el cajete. Requiere de la localización de cada una de las cepas con planta para realizar la limpieza (Figura 96).



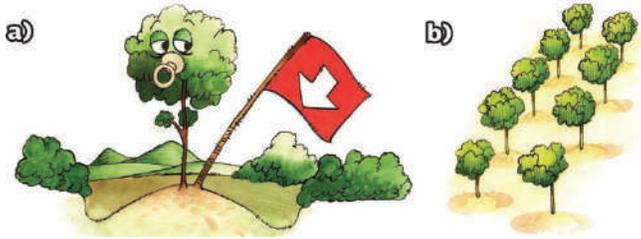
**Figura 96.** Eliminación de malezas en el cajete.

**Control en banda:** consiste en la eliminación de la vegetación no deseada en la superficie ocupada por líneas, para ellos requiere primeramente la localización de las líneas de plantación, para ello, es necesario marcar con estacas el inicio y término de cada línea con el fin de evitar daños involuntarios a las plantas. Posteriormente, se realiza el control sobre la superficie ocupada por la línea (Figura 97).



**Figura 97.** Eliminación de maleza en líneas de plantación.

**Control total:** consiste en la eliminación de toda la vegetación presente en el predio (a excepción de la planta de la reforestación). Requiere la localización y marcado de las cepas con planta para excluirlas del tratamiento. Este método no se recomienda para reforestaciones con fines de conservación debido a que expone el suelo a la erosión y tiene un alto costo e impacto, dado que el resultado expone el suelo a la intemperie; sin embargo, es una opción para plantaciones con objetivos comerciales.



**Figura 98.** Proceso de control total: a) Marqueo de planta, b) Eliminación total de la maleza en el predio.

Para zonas con alto índice de evaporación y temperaturas extremas, la maleza removida puede ser acumulada y distribuida en la base del tallo de la planta, cumpliendo una función de “arropo” para almacenar humedad en el suelo. Así mismo, en regiones con bajas temperaturas, esta práctica puede cumplir una función reguladora de temperatura.

De acuerdo con el tipo de herramienta utilizada para su ejecución, el control de malezas podrá ser:

a) **Control manual:** se utilizan generalmente machetes o herramientas punzo cortantes para la remoción de maleza (Figura 99), esto dependerá del tipo y grado de incidencia de las malezas. Para la realización de esta actividad, es necesario mano de obra, por lo que a mayor superficie, mayor requerimiento de ésta.



**Figura 99.** Remoción o chapeo manual con machete.

b) **Control mecánico:** se utilizan equipos especializados, como desmalezadoras motorizadas y desbrozadoras de tractor (Figura 100). Esta actividad requiere de menor mano de obra pero funciona con combustible, depende de la disponibilidad de la maquinaria y de la topografía del terreno. Esta actividad no es recomendable en plantaciones con fines de restauración, dado que dicha maquinaria puede llegar a dañar las obras de conservación de suelos.



**Figura 100.** Control mecánico mediante desbrozadora.

c) **Control químico:** Este método es de uso reservado y prácticamente no recomendable para reforestaciones con fines de restauración dado que requiere de la aspersión de agroquímicos que, en la mayoría de las ocasiones, resulta dañino para el suelo y el medio ambiente.

En la actualidad, en el mercado existen productos con ingredientes biodegradables, aunado a ello está la existencia variada de herbicidas para el control de malezas a nivel de especie, grado de incidencia y tipo de cultivo. Para su aplicación es recomendable contar con una asesoría técnica adecuada ya que requiere de manejo de dosis para la disolución en agua, equipos de protección personal, etc.

Se recomienda realizar este tipo de control preferentemente por la mañana o tarde, evitando horas con mayor temperatura y viento.

#### 4.3.4 Fertilización

La fertilización de las reforestaciones ayuda a incrementar el desarrollo de los árboles, aumenta la resistencia a plagas y enfermedades, sobre todo en el segundo año de su establecimiento. Esto cobra importancia debido a que la restauración se realiza en terrenos degradados, lo que

implica una menor disposición de nutrimentos. No obstante, si van a utilizarse compostas o estiércoles maduros, se recomienda que su aplicación se realice desde el establecimiento o plantación inicial y con los tratamientos necesarios para evitar la proliferación de plagas que pudiesen afectar el desarrollo de la planta, de tal manera que los nutrientes se aporten desde que la planta entra en contacto con el sitio definitivo de plantación

Esto puede realizarse mediante la utilización de 2 tipos de fertilizantes:

a) **Orgánicos o naturales:** los abonos orgánicos conforman una de las maneras de proporcionar nutrientes al suelo que se pretende restaurar, estos pueden ser estiércol, gallinaza, composta o residuos de cosechas anteriores. Los estiércoles y la gallinaza deberán haber pasado por un periodo de maduración que garantice que no quemarán a la planta, incluso, pueden ser ingredientes de compostas enriquecidas.

b) **Químicos:** Son sustancias ricas en nutrientes que se utilizan para mejorar las características del suelo. Dentro de los fertilizantes químicos están los elaborados con “nutrientes principales” para la tierra, que son nitrógeno, fósforo y potasio. Pueden encontrarse de dos tipos:

- **Químicos solubles:** Se disuelven en agua y los absorbe la planta; sin embargo, parte del fertilizante no es aprovechado debido a que penetra las zonas del suelo de manera rápida y las raíces de la planta no pueden alcanzarlo.
- **Lenta liberación:** Tienen una presentación en sólido como gránulos o pastillas llamadas pico-módulos, los cuales se disuelven lentamente en agua conforme la planta los va adquiriendo. Generalmente se aplican en la cepa en torno a la proyección vertical de la copa del brinjal o latizal, según sea la edad de la planta.

Para su aplicación se siguen las recomendaciones del proveedor del producto y las instrucciones de la etiqueta del fabricante. La mejor época de fertilización es cuando la humedad en el ambiente es alta, preferentemente próximo a la temporada de lluvias. Se recomienda la aplicación en la mañana o la tarde, favoreciendo la fijación del fertilizante.

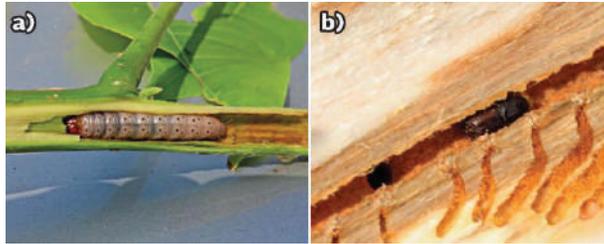
### 4.3.5 Control de plagas y enfermedades

El manejo de plagas y enfermedades en la reforestación, inicia antes de su establecimiento en campo, por lo cual es muy importante verificar que la planta salga libre de plagas y enfermedades del vivero de procedencia. En este sentido, en el vivero deberá llevarse un programa de monitoreo permanente de plagas y enfermedades hasta el último día de permanencia de la planta en el vivero, para garantizar la entrega de planta sana y libre de patógenos. Se han observado casos en el que la planta producida en contenedor o charolas de plástico o poliestireno expandido, son atacadas por gallina ciega (*Phyllophaga* spp) posterior a su plantación en campo, debido a que salieron del vivero con huevecillos que ovipositó el “mayate de junio”, cuando la planta ya se iba a entregar para su plantación.

Diversos agentes dañinos como insectos, virus y hongos, pueden afectar una o más partes de las plantas, provocando una reducción en el crecimiento o en casos severos, la muerte del individuo. Estos agentes pueden ser más intensos en plantaciones mono específicas (donde solo se establece una especie), ya que encuentran condiciones idóneas para desarrollarse, un ejemplo notable es el del barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*) y las gallinas ciegas (*Phyllophaga* spp.) o la presencia de descortezadores en especies de pinos (*Pinus* sp.) (Figura 101), sobre todo cuando en el terreno de plantación se ha abonado con estiércol de vaca o fue algún área de pastoreo y hubo concentración de estiércol.

Por este motivo es muy importante implementar un programa de manejo integral de plagas y enfermedades que contemple acciones de prevención, monitoreo y control. El monitoreo implica realizar recorridos de campo frecuentes durante todas las etapas de la plantación para la detección oportuna de síntomas o signos. Esto ayudará a detectar la presencia de hormigas arrieras, insecto que puede generar la pérdida total de la plantación en poco tiempo.

El manejo integrado de plagas y enfermedades puede y debe asociarse con la actividad del control de malezas y malas hierbas, dado que algunas de estas plantas funcionan como hospederos de agentes patógenos para las especies de interés.



**Figura 101.** Ejemplos de plagas que afectan las reforestaciones. a) Barrenador de meliáceas como cedro rojo (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) y b) descortezador de pinos (*Pinus spp.*) y abetos (*Pseudotsuga menziesii*).

A continuación se describen de forma general, las principales medidas preventivas y de control que pueden realizarse como parte del manejo integrado de plagas y enfermedades.

**Medidas preventivas:** el manejo integrado de plagas y enfermedades en la reforestación inicia con la implementación de acciones que prevengan y eviten, en la medida de lo posible, la aparición de patógenos que afecten el desarrollo de la misma.

a) **Eliminación de hospederos alternos:** se trata de la eliminación de plantas dentro del terreno y sus alrededores que pueden ser hospederas alternas de las plagas o enfermedades.

b) **Zanjas de drenaje:** La construcción de canales de drenaje, evita la anegación de las zonas bajas de la reforestación, dificultando así el desarrollo de plagas o enfermedades (Figura 102).



**Figura 102.** Zanja de desagüe pluvial como medida preventiva.

## Medidas de control

a) **Aislamiento:** esta acción consiste en delimitar con barreras físicas una o varias partes de la plantación para evitar la dispersión de la plaga o enfermedad, restringiendo el tráfico humano, animal, vehículos o cualquier suceso o material que facilite la dispersión (Figura 103).



**Figura 103.** Cercado del perímetro para limitar el acceso al área afectada.

b) **Remoción y destrucción manual:** Cuando se encuentre la presencia de insectos en sus distintas etapas (larva, pupa, adulto) en ramas, corteza o suelo, se tendrá que hacer la remoción manual de la pupa o insecto para posteriormente destruirla para cortar el ciclo reproductivo (Figura 104).



**Figura 104.** Insecto barrenador en estado de pupa.

c) **Control mecánico y físico:** Incluye una serie de prácticas que pueden eliminar directamente las plagas o bien, cambiar las condiciones del medio que favorecen el desarrollo de las mismas (Andrews, 1989).

d) **Tala de salvamento:** Consiste en la eliminación total del arbolado en una o más áreas de la reforestación, denominados como focos de infección, con el fin de erradicar la plaga o enfermedad. Los árboles derribados y el material secundario (ramas) deberán ser tratados (quemados) en el sitio (Figura 105). Esto puede suceder en cualquier etapa de la vida de la plantación.



**Figura 105.** Árboles infectados por plagas dispuestos para su eliminación.

e) **Poda sanitaria:** Es la remoción de una o más partes del árbol que han sido afectadas por plagas o enfermedades. Su aplicación dependerá del tipo de agente causal y de la edad de la planta afectada.

f) **Raleo sanitario:** Es el derribo o eliminación de individuos aislados dentro de la reforestación que están afectados severamente y cuya condición no puede revertirse (Figura 106). Éstos deberán ser extraídos e incinerados fuera de la plantación, para evitar la dispersión de la plaga o enfermedad.

En las reforestaciones con fines de restauración, dado que la planta es pequeña, las principales amenazas provienen de las hormigas arrieras (*Atta mexicana* y *Atta cephalote*), de los roedores como ratas, conejos; incluso, si no se aseguró la sanidad desde el vivero de procedencia, pueden ser atacados por gallina ciega, ya sea traída del vivero o aportada por el estiércol de vaca sin madurar que puede haberse aplicado como composta.



**Figura 106.** Identificación de individuos para aplicación de raleo sanitario en un bosque natural. En una plantación con fines de restauración, la identificación puede ser más sencilla.

El manejo y control de las plagas o enfermedades deberá realizarse conforme a las metodologías establecidas para la sanidad forestal, información disponible en la página de la CONAFOR <http://sivicooff.cnf.gob.mx/frmManuales.aspx>

## 4.4 Actividades complementarias al mantenimiento

### 4.4.1 Podas

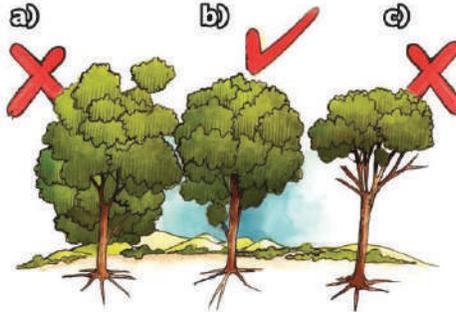
La aplicación de esta práctica, dependerá del objetivo de la reforestación, de las especies forestales utilizadas y de la edad de la planta. No todas las plantas deben ser podadas, pues habrá aquellas que fueron elegidas para brindar cobertura y aporte de materia orgánica, en tal caso, la poda no será necesaria.

Esta actividad consiste en la eliminación de las ramas vivas o muertas de la parte inferior del fuste o tronco del árbol, utilizando técnicas y herramientas adecuadas. Las podas se realizan para conseguir diferentes objetivos, entre los más comunes se encuentran la producción de madera de calidad (evitando la formación de nudos), reducir el riesgo de incendios (al reducir la continuidad de material combustible) y facilitar el acceso y las maniobras de mantenimiento en las plantaciones (Davel *et al.* 2009).

El principal objetivo de la poda en árboles forestales es la de adelantarse a la poda natural y prevenir la formación de nudos muertos, los cuales constituyen uno de los defectos más indeseables en la madera aserrada, ya que es más difícil de trabajar, menos resistente y tiene menor valor en el mercado, por lo tanto, esta actividad es muy importante en aquellas especies que tendrán un aprovechamiento maderable (Ramírez s/f; Davel *et al.* 2009).

Para realizar una poda correctamente se deben considerar los siguientes aspectos:

- La altura de la poda dependerá de la altura total de cada árbol y del objetivo de esta actividad. En general se recomienda no podar más de un tercio de la copa, pues una poda excesiva puede frenar el crecimiento del árbol (Figura 107) (CONAFOR, 2009)



**Figura 107.** Poda en árboles forestales. a) Árbol sin poda, b) poda adecuada y c) poda excesiva.

- Se deben utilizar herramientas limpias y afiladas. La elección de una herramienta u otra dependerá del diámetro o grosor de las ramas que se van a eliminar, y por lo general, se pueden usar tijeras manuales o serruchos. No es recomendable utilizar machete, ya que sus cortes suelen ser de mala calidad y dejar heridas sobre el tronco o la corteza, bajando la calidad de la madera o permitiendo la entrada de agentes patógenos (virus, bacterias, hongos, etc.) que pueden enfermar al árbol (CONAFOR, 2009).
- Los cortes deben ser lisos (sin rasgaduras o quiebres), sin dejar restos de corteza o partes de la rama (en caso contrario se retrasa el proceso de cicatrización). Deben hacerse ligeramente arriba del cuello o collar de la rama, casi al ras del tronco; si se cortan ramas gruesas y pesadas, primero se deberá hacer un corte en la parte inferior, luego cortar por arriba para evitar que la rama se quiebre con el peso y arranque parte de la corteza y finalmente hacer un corte para retirar el muñón del tronco (Figura 108) (CONAFOR, 2009; Davel *et al.* 2009).



**Figura 108.** Poda en árboles forestales. a) Corte incorrecto hecho con machete y b) técnica de tres cortes. Fuente: Manual para beneficiarios: aclareos y podas.

La mejor época para la aplicación de podas es otoño e invierno, épocas en las que baja el ritmo de crecimiento del árbol. La poda de ramas secas o vivas de 2 centímetros de diámetro o menos, se puede realizar sin problemas en cualquier época del año, puesto que la cicatrización es rápida. En ramas verdes de mayor grosor, es aconsejable aplicar la poda al final del invierno (CONAFOR, 2009).

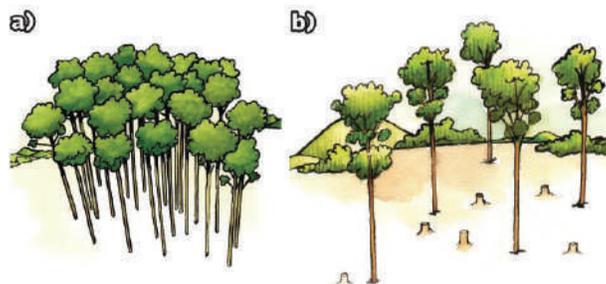
#### 4.4.2 Aclareos

Los aclareos son cortas que se realizan en etapas juveniles de la plantación para eliminar los árboles defectuosos, subdesarrollados o de menor calidad en una plantación y así controlar la densidad y estimular el crecimiento de los árboles que quedan en pie (reduciendo la competencia por nutrientes, agua y luz).

Al igual que las podas, el aclareo es una práctica muy importante en plantaciones que tendrán un aprovechamiento maderable, ya que su aplicación permite el incremento de diámetro en los árboles que quedan en pie, lo que a su vez mejora la calidad de los productos forestales maderables (Figura 109). Aunque también puede realizarse con otros objetivos, como reducir el riesgo de incendios (al disminuir la continuidad del material combustible), permitir la entrada de luz en el suelo para mantener la cobertura herbácea y controlar la erosión, y aumentar las corrientes internas de aire, entre otras.

En plantaciones con fines de restauración, los aclareos pueden aplicarse a los 7 o 10 años de establecida la planta, esto dependerá de distintos factores como la densidad de plantación, diseño, etc. Con una buena planeación de todo el proceso y bajo una estrategia de intervención que considera la sucesión ecológica de las especies, no es necesaria esta práctica.

En plantaciones de restauración que a largo plazo se aprovecharán como maderables, deberá considerarse esta práctica dentro del programa de manejo.



**Figura 109.** Estatus de la planta: a) Sin aclareo, b) Con aclareo.

## Ejemplos de casos exitosos de restauración forestal



Estado de Oaxaca.



Estado de Oaxaca.



Estado de Oaxaca.



Estado de Oaxaca.



Estado de Guerrero.



Estado de Puebla.



Estado de Puebla.



Estado de San Luis Potosí.



Estado de San Luis Potosí.



Estado de Nuevo León.

## Referencias bibliográficas

Botero R. y Russo R. O. (2016). Sistemas silvopastoriles en Me-soamérica para la restauración de áreas degradadas. En Sanchún A., Botero R., Morera B. A., Obando G., Russo R. O., Scholz C. y Spindola M. (2016). Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas. Serie técnica: Gobernanza Forestal y Economía, No 3. UICN, San José Costa Rica.

Castillo Q. D., Cano P. A. y Berlanga R. C. A. (2012). Establecimiento y aprovechamiento de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). Comisión Nacional Forestal-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2009). Aclareos y Podas. Manual para beneficiarios. Jalisco, México.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2018). Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales. Manual de Obras y Prácticas. Quinta edición. Jalisco, México.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). Programa Nacional Forestal 2020-2024.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2022). Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2022.

Cortina, J., Navarro, R.M. & and Campo, A.D. (2006). Evaluación del éxito de la reintroducción de especies leñosas en ambientes Mediterráneos. Cap. 1. In Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes Mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Cortina, J., Peñuelas, J.L., Puértolas, J., Vilagrosa, A., and Savé, R. (Coord.). Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

Cruz J. y Nieuwenhuys A. (2008). El establecimiento y manejo de leguminosas arbustivas en bancos de proteína y sistemas en callejones. Primera Edición. Manual Técnico No. 86. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Davel M., Tejera L., y Honorato M. (2009). Poda y raleo a desecho en plantaciones de pinos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). Argentina.

Diario Oficial de la Federación (DOF). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Ciudad de México, México. Publicada el 05 de junio de 2018 (Última reforma publicada 28-04-2022).

Duarte N., Cuesta F. y Arcos I. (2018). Selección y establecimiento de estrategias y prácticas de restauración. En Proaño R., Duarte N., Cuesta F. y Maldonado G. (Eds.), (2018). Guía para la restauración de bosques montanos tropicales. CONDESAN. Quito-Ecuador.

Fernández R. D. S., Martínez M. M. R., Ramírez C. H. y Luis M. B. (2017). Diseño y construcción de Jagüeyes". Segunda edición. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Colegio de posgraduados (COLPOS).

Gann G.D., McDonald T., Walder B., Aronson J., Nelson C.R., Jonson J., Hallett J.G., Eisenberg C., Guariguata M.R., Liu J., Hua F., Echeverría C., Gonzales E., Shaw N., Decler K., Dixon K.W. (2019). Principios y estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica. Segunda edición. Restoration Ecology S1–S46.

Jiménez F. y Muschler R. (2001). Introducción a la agroforestería. En Jiménez F., Muschler R. y Köpsell E. (Eds.). (2001). Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Módulo No. 6. Serie Materiales de enseñanza No. 46. Centro agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

McDonald T., Gann G. D., Jonson J. y Dixon K.W. (2016). Estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica, incluyendo principios y conceptos clave. Primera edición. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.

Musálem S. M. A. (2002). Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 8(2), 91-100.

Newton A. C. y Tejedor, N. (Eds.). (2011). Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: estudios de caso en las zonas secas de América Latina. Gland, Suiza: UICN y Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (FIRE).

Oficina Nacional Forestal, Costa Rica (ONF). (2013). Guía Técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables.

Prieto R. J. A., García R. J. L., Mejía B. J. M. Huchín A. S. y Aguilar V. J. L. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación especial No. 28. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Durango, México.

Proaño R. y Duarte N. (2018). Planificación para la implementación de prácticas de restauración a escala local. En Proaño R., Duarte N., Cuesta F. y Maldonado G. (Eds.), (2018). Guía para la restauración de bosques montanos tropicales. CONDESAN. Quito-Ecuador.

Ramírez s/f; Unidad III: Silvicultura y manejo integral de los recursos forestales.

Rivera V. A. N. y Reyes O. K. D. (2022). Una nueva casa para los dueños de la noche: refugios artificiales para murciélagos. *Therya ixmana*, 1(1), 18-19. DOI: 10.12933/therya\_ixmana-22-183

Russo R. O. (2016). Restauración en terrenos de vocación agrícola. En Sanchún A., Botero R., Morera B. A., Obando G., Russo R. O., Scholz C. y Spindola M. (2016). Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas. Serie técnica: Gobernanza Forestal y Economía, No 3. UICN, San José Costa Rica.

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), Isla Urbana (IU) Instituto Internacional de Recursos Renovables (IRRI). (2020). Cosechar la lluvia, Manual para instalarlo en tu vivienda. México.

Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Brasil. (2011). Restauração ecológica. Sistemas de nucleação. Primera edición. São Paulo, Brasil.

Society for Ecological Restoration International (SER). (2004). Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de SER International sobre la restauración ecológica.

Soto P. L., Anzueto M. M., y Quechulpa S. (2011). El acahual mejorado un prototipo agroforestal. El colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chiapas, México.

Terán V. A., Duarte N., Pérez A., Cuesta F. y Pinto E. (2018). Selección de especies potenciales para la restauración. En Proaño R., Duarte N., Cuesta F. y Maldonado G. (Eds.), (2018). Guía para la restauración de bosques montanos tropicales. CONDESAN. Quito-Ecuador.

Thomas E., Jalonon R., Loo J. y Bozzano M. (2015). Cómo evitar el fracaso en la restauración forestal: la importancia de disponer de un germoplasma genéticamente diverso y adaptado a los sitios de plantación. *Unasylva*. 66(3), 29-36.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2017). El desafío de Bonn: catalizando liderazgo en América Latina. *Forest Brief*, (14). Recuperado de [https://enbcr.go.cr/sites/default/files/bonn\\_challenge\\_20170222\\_iucn-forest-brief-no-14\\_20x20\\_final\\_es\\_print\\_8.pdf](https://enbcr.go.cr/sites/default/files/bonn_challenge_20170222_iucn-forest-brief-no-14_20x20_final_es_print_8.pdf)

Vargas O. (ed). (2007). Guía metodológica para la restauración del bosque alto andino (Primera edición). Universidad Nacional de Colombia.

Vargas R. O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta biológica Colombiana*, 16 (2), 221-246.

Esta publicación se editó en la Comisión Nacional Forestal  
en enero de 2023 y la impresión  
consta de 1000 ejemplares.

La edición digital está disponible en  
[gob.mx/Conafor](https://gob.mx/Conafor)

Distribución gratuita.



[gob.mx/conafor](http://gob.mx/conafor)