



Fondo  
**CONACYT**  
**CONAFOR**



**inifap**  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

## Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Dasyllirion texanum* en el estado de Nuevo León.



Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal

## Comisión Nacional Forestal

Coordinación General de Producción y Productividad

Gerencia de Manejo Forestal Comunitario

Unidad de Educación y Desarrollo Tecnológico

Periférico Poniente 5360

Colonia San Juan de Ocotán Zapopan, Jalisco C.P. 45019

Tel: 01 (33) 3777 7000

## Proyecto apoyado a través del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT-CONAFOR:

2017-4-292674

Mejores prácticas de manejo y generación de tablas de volumen y biomasa para las principales especies forestales no maderables de importancia económica en los ecosistemas áridos y semiáridos de México.

**Autores:** Dr. Pablito Marcelo López Serrano<sup>1</sup>, M.C. Adrián Hernández Ramos<sup>2</sup>, Dr. Jorge Méndez González<sup>3</sup>, Dr. Martin Martínez Salvador<sup>4</sup>, Dr. Oscar Aguirre Calderón<sup>5</sup>, Dr. Benedicto Vargas Larreta<sup>6</sup> y Dr. José Javier Corral Rivas<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), <sup>3</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), <sup>4</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y <sup>5</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), <sup>6</sup>Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

Impreso en México

Primera edición, 2021.

### Forma de citar:

López-Serrano, P.M., Hernández-Ramos, A., Méndez-González, J., Martínez-Salvador, M., Aguirre-Calderón, O., Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas J.J. 2021. Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Dasyliirion texanum* en el estado de Nuevo León. Proyecto: 2017-4-292674. CONAFOR-CONACYT. México.

## PRESENTACIÓN

En la última década se ha visto reflejada la importancia del estudio, manejo y aprovechamiento de especies provenientes de zonas áridas y semiáridas de México, en especial las que poseen interés comercial, por ser pioneras en el sustento de las familias que habitan en estas regiones y realizan su aprovechamiento como una de las fuentes para mejorar su ingreso familiar. En este documento se hace referencia a la especie *Dasyllirion texanum* por poseer la principal fuente de abastecimiento para la producción de la bebida alcohol denominada sotol. Dicho producto forestal no maderable representa el principal interés económico para empresas comercializadoras.

Dependencias gubernamentales como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), instituciones educativas y de investigación como la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y el Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), en su afán de contribuir a mejorar el manejo y aprovechamiento de los recursos forestales no maderables, han diseñado el presente documento denominado “Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de

*Dasyilirion texanum* en el estado de Nuevo León.”, con el fin de que se utilice como una herramienta técnica de apoyo para los técnicos y productores de zonas áridas, promoviendo su aprovechamiento con el mínimo impacto ambiental en zonas donde habita la especie. Al mismo tiempo se busca aprovechar el máximo potencial productivo (dadas las condiciones medioambientales), favoreciendo las condiciones de vida de los habitantes de las zonas áridas y semiáridas, aplicando criterios que logren la máxima productividad, prospere la regeneración y mantenga la conservación de dicha especie.

El interés colectivo para el desarrollo y generación de herramientas tecnológicas (como mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa) es un paso significativo para quienes trabajan activamente en el cuidado del medio ambiente y la conservación de los recursos aprovechando su máximo potencial productivo.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE .....	7
2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del <i>Dasyliirion texanum</i> ....	7
2.2. Leyes y normas .....	9
3. INVENTARIO FORESTAL CON FINES DE MANEJO .....	16
3.1. Técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie .....	16
4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO.....	21
4.1. Mejoras en las técnicas de aprovechamiento, extracción y beneficio del producto final.....	21
4.2. Reforestación con fines de enriquecimiento de rodales .....	22
5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA .....	26
5.1. Ecuaciones de biomasa para el estado .....	29
6. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE.....	35
7. CONCLUSIONES.....	38
8. BIBLIOGRAFÍA.....	39
9. GLOSARIO .....	42
10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	44

## 1. INTRODUCCIÓN

Para la evaluación de los recursos forestales, según lo estipulado en la Ley Forestal, se debe contemplar información estadística y cartográfica, donde se considere la dinámica del cambio de la vegetación para conocer la situación actual del recurso y su sostenibilidad en corto, mediano y largo plazo. Con ese fin, en este documento se presentan las mejores prácticas de manejo para la especie *Dasylyrion texanum* (sotol) en el estado de Nuevo León. Entre otros aspectos, se dan a conocer las actuales técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie, se presentan propuestas de mejores técnicas para la extracción y beneficio del producto final y se hace una descripción de los modelos de biomasa, que pueden utilizarse para la cuantificación de su aprovechamiento con el fin de optimizar el manejo forestal de dicho recurso. El *Dasylyrion texanum* pertenece a la familia de las *Noliaceae*, las cuales se clasifican en árboles y arbustos, aunque algunas son escasamente reminiscentes de las *Lilaceae* (Benson y Darrow, 1944).

El género *Dasylyrion* se caracteriza por tener una raíz fibrosa poco profunda ramificada y extendida, la cual surge del tronco o cabeza, que es gruesa, carnosa y de tamaño regular (Velásquez, 1983). Son plantas caulescentes; con tronco de 1 a 1.5 m de alto; hojas de 20mm de ancho, ascendentes, de hasta 1 m de largo, ligeramente laciniadas, glaucas, ligeramente guillado, rugosas, opacas; espinas generalmente separadas de 10 a 15mm, y de 2 a 5 mm de largo, amarillas, haciéndose rojas

hacia arriba; inflorescencia de 5 m de alto; fruto muy estrechamente elíptico, de 4-9 m; el estilo apenas de la mitad de largo de la muesca; semillas 2 por 3.5 mm (SEMARNAT, 2001). Las hojas son arrosetadas con espinas pequeñas y encorvadas en los bordes y una púa terminal, que los asemeja a los magueyes (Agaves), pero a diferencia de estos, son delgadas, angostas y rígidas, con la forma de espada, aproximadamente de un metro de largo por 2 a 3 centímetros de ancho, adelgazadas hacia el ápice y ensanchadas en la base.

El *Dasyilirion texanum* tiene tallo corto o tronco enterrado. Hojas de 10 a 15 mm de ancho y de un metro de largo terminando en ligero pincel; espinas distantes de 5 a 10 mm y de 2 a 3 mm de largo. Inflorescencia de 3 a 5 metros de alto. Fruto elíptico (Trelease, 1911). Espinas pequeñas (Johnston, 1944).

## 2. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE

### 2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del *Dasyilirion texanum*

De acuerdo con el artículo 85 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2021), y el artículo 72 del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS, 2020), este recurso forestal no maderable requiere autorización para su aprovechamiento, que deberá ser entregado a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), mediante un formato que contenga el nombre, denominación o razón social y domicilio del propietario o poseedor del predio o conjunto de predios y, en su caso, número de oficio de la autorización en materia de impacto ambiental. El procedimiento y requisitos para la autorización del aprovechamiento de *Dasyilirion texanum*, se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Requisitos que debe contener la autorización para el aprovechamiento de *Dasyliirion texanum* en México.

## 2.2. Leyes y normas

### Leyes vigentes

La legislación vigente que se describe a continuación regula el aprovechamiento *Dasyliirion texanum*.

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p><b>Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)</b></p> <p>Esta Ley hace referencia a temas del aprovechamiento sustentable y la preservación de este recurso forestal no maderable.</p>	<p>1, 3, 15, 84, 87 y 100.</p>
<p><b>Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)</b></p> <p>Legisla el fomento a la silvicultura, el manejo y regulación del aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables. Así como los documentos que se considerarán para acreditar la posesión o derecho para realizar las actividades mencionadas. Además de la ejecución, desarrollo y cumplimiento de los programas de manejo forestal y los estudios técnicos.</p>	<p>1, 3, 5, 7, 10, 21, 31, 39, 50, 53, 54, 55, 56, 59, 70, 84, 85, 91 y 97.</p>

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p><b>Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Reglamento de la LGDFS)</b></p> <p>Menciona los procedimientos y requisitos para las autorizaciones y avisos de aprovechamientos no maderables ante la Secretaría, quien resolverá las solicitudes de conformidad con lo dispuesto en la LGDFS y el presente Reglamento.</p>	<p>1, 2, 4, 12, 14, 18, 27, 30, 32, 33, 34, 38, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 98, 141, 164, 165 y 166.</p>
<p><b>Ley General de Vida Silvestre (LGVS)</b></p> <p>Legisla el aprovechamiento sustentable y conservación por parte de los propietarios de un predio, de la vida silvestre que se desarrolla libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como las especies domésticas que, al quedar fuera de control del hombre, se establecen en el hábitat natural.</p>	<p>1, 3, 18, 19, 56, 83, 84 y 97.</p>
<p><b>Ley Agraria</b></p> <p>Estos artículos hacen mención a la personalidad jurídica de los núcleos de población ejidales o ejidos. Así como su organización económica y social para el aprovechamiento de las tierras de uso común.</p>	<p>9, 10, 73, 116 y 119.</p>

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p><b>Ley Federal de Procedimiento Administrativo (LFPA)</b></p> <p>Menciona los actos, procedimientos y resoluciones administrativas de orden e interés públicos ante una Administración Pública Federal centralizada, sin perjuicio de lo dispuesto en los Tratados Internacionales de los que México sea parte. La Administración Pública Federal no podrá exigir más formalidades que las expresamente previstas en la ley. Se menciona de los requisitos de las promociones que realice el interesado o su representante legal.</p>	<p>1, 15, 15-A, 17-A, 19 y 43.</p>

## Normas vigentes.

Las Normas Oficiales Mexicanas vigentes que se describen a continuación regulan el aprovechamiento del *Dasyllirion texanum*.

### NOM-005-SEMARNAT-1997

Norma Oficial Mexicana **NOM-005-SEMARNAT-1997** que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de abril de 2003.

Apartado	Especificaciones
Aprovechamiento	Para realizar el aprovechamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal, el dueño o poseedor del predio correspondiente, deberá presentar una notificación por escrito ante la Delegación Federal o Secretaría en la entidad federativa correspondiente, misma que podrá ser anual o por un periodo máximo de 5 años.
	El aprovechamiento de cogollos quedará sujeto a los siguientes criterios y especificaciones técnicas:

Apartado	Especificaciones
	<p>I. Sólo se podrán aprovechar plantas en la etapa de madurez de cosecha.</p> <p>II. Deberá dejarse distribuido uniformemente, en el área de aprovechamiento sin intervenir, como mínimo el 20% de las plantas en etapa de madurez de cosecha, para propiciar la regeneración por semillas;</p> <p>Cuando se aprovechen plantas completas de otras especies diferentes a las mencionadas en la presente Norma, el responsable técnico establecerá los criterios y especificaciones técnicas en la notificación respectiva.</p>
Del almacenamiento	<p>Los responsables de los centros de almacenamiento deberán:</p> <p>I. Solicitar la inscripción de los mismos en el Registro Forestal Nacional, acreditando su personalidad.</p> <p>II. Informar trimestralmente dentro de los primeros 10 días hábiles de los meses de abril, julio, octubre y enero de cada año, a la Delegación Federal</p>

Apartado	Especificaciones
	de la Secretaría en la entidad federativa correspondiente, sobre las entradas y salidas del producto durante el trimestre inmediato anterior.
Transporte	El transporte de corteza, tallos y plantas completas, desde el predio bajo aprovechamiento, hacia los centros de almacenamiento o de transformación, se realizará al amparo de remisión o factura comercial, expedida por el dueño o poseedor del recurso, o el responsable del centro de almacenamiento, siempre y cuando dicho producto se transporte en cualquier vehículo automotor.

## NOM-152-SEMARNAT-2006

Norma Oficial Mexicana **NOM-152-SEMARNAT-2006**, que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas.

En el apartado 5 de la Norma, se describen los criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo,

así como en el apartado 6, se hace mención de la estructura para la presentación del programa de manejojo.

Apartado	Especificaciones
Aprovechamiento no maderable	<p>Quando se pretenda solicitar una autorización de aprovechamiento de Recursos Forestales No Maderables, para los recursos indicados en el artículo 85 de la Ley (LGDFS). De acuerdo con el artículo 72 del Reglamento (RLGDFS), las solicitudes se presentarán ante la Secretaría y contendrán el nombre o denominación o razón social y domicilio del interesado. En su caso, se señalará el número de oficio y fecha de la autorización en materia de impacto ambiental. Asimismo, con la solicitud a que se refiere el presente artículo deberá presentarse un programa de manejojo forestal (Artículo 72, fracción VI), con los requisitos que se establecen en el artículo 73 del Reglamento (RLGDFS).</p>

### 3. INVENTARIO FORESTAL CON FINES DE MANEJO

La planificación para el manejo de cualquier recurso requiere en primer lugar un conocimiento del mismo, de las restricciones posibles para su utilización y de los medios disponibles. Con ello se pueden evaluar, en pasos sucesivos, alternativas de manejo que conduzcan al logro de los objetivos planteados. La planificación forestal se inicia, por tanto, con una toma de datos a través de un inventario (Madrigal, 1994). Para hacer extensivo el aprovechamiento de las especies no maderables de zonas áridas y semiáridas de manera sustentable, es indispensable el desarrollo de un inventario que proporcione datos confiables de ubicación, existencias reales y magnitud del recurso, así como la estimación y monitoreo de la tasa de crecimiento anual, biomasa y la productividad (López, 2005).

#### 3.1. Técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie

Los programas de manejo para el aprovechamiento forestal de esta especie no maderable requieren del uso de técnicas de muestreo que permitan la estimación de la estructura poblacional y existencias reales de acuerdo con las especificaciones que se mencionan en la NOM-152-SEMARNAT-2006.

Para el inventario de *Dasyllirion texanum* se debe de entrar al contexto de las técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie, es necesario enfatizar primero los conceptos de catastro y división dasocrática. Donde

en el primer concepto se busca recabar toda la información necesaria acerca de un área o superficie de estudio conjuntando la documentación legal y planos geográficos para ubicarla en un espacio municipal, regional, estatal y nacional. Este procedimiento conlleva al análisis espacial de los vértices, linderos, superficies con apoyo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), con reconocimiento en campo, si es necesario, para finalmente elaborar la cartografía temática del área de estudio. Por otra parte, el término de división dasocrática hace referencia a una unidad mínima de manejo que bien puede ser un rodal o un subrodal, entendiéndose a éstos como el área definida por características permanentes como el suelo, pendiente, parteaguas y arroyos. El rodal es la unidad básica de manejo y sobre todo de seguimiento a las variables forestales a través del tiempo y como tal, debe ser permanente a través de los ciclos de corta sucesivos, aun cuando haya cambios en la vegetación, tal como se establece en la NOM-152-SEMARNAT-2006.

Por múltiples circunstancias, las técnicas de muestreo de *Dasyllirion texanum*, generalmente se usa el muestreo sistemático con una malla de puntos equidistantes a nivel predial o de unidad mínima de manejo y el muestreo con cuadrantes del punto central (Berlanga *et al.*, 1992).

Por la forma de crecimiento de los individuos y la aplicabilidad que representa el muestreo sistemático en la evaluación de especies de zonas áridas y semiáridas, al representar menor costo y ser el de menor grado de dificultad comparado con el resto de técnicas de muestreo, en este manual se recomienda

utilizar la siguiente metodología de muestreo para *Dasyliirion texanum*:

- 1. Diseño de muestreo.** Un muestreo sistemático con base en cuadrículas o grillas (a nivel predial o de unidad mínima de manejo). El procedimiento que generalmente se emplea es el siguiente: 1) en la cartografía elaborada para el área de estudio y con apoyo de sistemas de información geográfica, se genera una malla de puntos regulares (cuadrículas o grillas) distribuidos a una distancia prefijada por el responsable de la planeación del muestreo considerando las características fisiográficas y topográficas del terreno.
- 2. Número total de sitios a muestrear.** Dado que se tienen los puntos de muestreo definidos en el apartado anterior, el responsable de realizar el muestreo definirá el número de sitios a muestrear que servirá como un pre-muestreo para obtener los parámetros y estimadores que nos permitan determinar el tamaño de muestra en la fórmula o ecuación, tomando en cuenta que la normatividad requiere una confiabilidad mínima del 95% y un error de muestreo máximo de 10%.
- 3. Forma de los sitios.** La forma de los sitios recomendada es circular por tener ésta figura geométrica la conjunción de dos criterios básicos de muestreo: por un lado, la relación perímetro-superficie del sitio es mínima; de este modo, se consigue reducir los problemas que se presentan en los bordes de las parcelas para determinar si una planta debe ser incluido

o no; por otro lado, el número de puntos de referencia (centro o esquinas) del sitio debe reducirse siempre y cuando esto no suponga un inconveniente para su replanteo (Gadow y Hui, 1999).

- 4. Tamaño de los sitios expresados en metros cuadrados.** Las dimensiones de los sitios circulares recomendadas son 500 m<sup>2</sup> (radio = 12.6157 m) o de 1000 m<sup>2</sup> (radio = 17.8412 m). Entre más pequeño sea un sitio, más fácil y precisa será su delimitación.
- 5. Intensidad de muestreo en porcentaje.** La intensidad o fracción de muestreo es la relación porcentual de la superficie de la muestra con respecto a la superficie total. Normalmente, en inventarios forestales se han utilizado intensidades de muestreo del orden de 1%, 0.5% y 0.1%, dependiendo de varios factores; superficie por inventariar, factores económicos, precisión requerida, etcétera. Por ello, podemos definir la intensidad de muestreo de acuerdo a la precisión con la que deseamos medir las características de la población de estudio y el costo que esto conlleva, recomendándose en base a la experiencia de los autores una intensidad de muestreo mayor de 1% y hasta el 3%.
- 6. Información a medir.** En cada uno de los sitios se medirán las siguientes variables: Diámetro de cobertura Norte-Sur (D<sub>NS</sub>, cm) y Diámetro de cobertura Este-Oeste (D<sub>EO</sub>, cm) y Altura total (H, cm). En gabinete se obtendrá el diámetro promedio de cada una de las plantas evaluadas. Empleando la ecuación alométrica

generada en el presente documento, se sustituye el valor de las variables indicadas y se obtiene el volumen o biomasa por individuo, por sitio o hectárea. Para ello, en el caso de estimaciones de biomasa o volumen promedio por sitio, se realiza la sumatoria de la biomasa o volumen total de cada sitio y se divide entre el número de ellos. Para estimaciones de biomasa o volumen promedio por hectárea ( $\text{Ha}^{-1} = 10,000 \text{ m}^2$ ), el volumen o biomasa promedio por sitio se multiplica por un factor de superficie que depende del tamaño del sitio y se obtiene el correspondiente a una hectárea (Berlanga *et al.*, 1992).

## 4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO

Las siguientes mejores prácticas se realizaron en base al diagnóstico de cómo se aprovecha actualmente la especie de *Dasyilirion texanum* en el estado de Nuevo León, dentro del proyecto “Mejores prácticas de manejo y generación de tablas de volumen y biomasa para las principales especies forestales no maderables de importancia económica en los ecosistemas áridos y semiáridos de México” y estas son propuestas por un grupo de investigadores de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y el Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

### 4.1. Mejoras en las técnicas de aprovechamiento, extracción y beneficio del producto final

Dado que el *Dasyilirion texanum* es una especie poco aprovechada por las comunidades rurales de las zonas áridas y semiáridas del estado de Nuevo León, solo se recomienda para su aprovechamiento y extracción del producto, es jimar la piña manteniéndola siempre con un ángulo de inclinación de  $45^\circ$  en referencia al cuerpo del jimador para que sea más fácil manejar la coa.

## 4.2. Reforestación con fines de enriquecimiento de rodales

En las áreas con aprovechamiento del sotol se ha observado la regeneración natural del recurso, sin embargo, este es un proceso lento por naturaleza y dado que estas áreas no cuentan con un programa de ordenamiento del territorio, dichas superficies se encuentran abiertas al pastoreo, lo que dificulta aún más el éxito de la regeneración natural del sotol. Así mismo existe poca información en cuanto a la regeneración, propagación y uso del sotol como materia prima para reforestaciones ya sea con fines económicos, culturales o ecológicos, siendo que la propagación *in vitro* de esta especie a partir de tejidos y uso de técnicas biotecnológicas, es el único avance en esta materia. Para el establecimiento de reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales de *Dasyilirion texanum* se ha realizado una serie de recomendaciones prácticas que aseguran un mejor resultado de las mismas y que pueden ser aplicadas en cualquier condición favorable de la especie (Castillo *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2012), por lo que, se recomienda su uso, seguimiento y aplicación de acuerdo con los mapas de distribución potencial mostrados en el presente documento, que indican los lugares con mayor idoneidad climática para el desarrollo de la especie. Estos lugares poseen suelos regularmente poco profundos, lomeríos pedregosos con pendientes suaves o bien suelos planos ligeramente pedregosos con buenas condiciones de drenaje y libres de salinidad. Los pasos a seguir para la

reforestación con fines de enriquecimiento de rodales de *Dasyliirion texanum* se describen a continuación:

- 1. Selección de material para la reforestación:** para lograr que la planta sobreviva en campo, se recomienda extraer las semillas de los individuos con buenas características fenotípicas del área de aprovechamiento, asegurando así la resistencia en de la misma. El sotol es una planta perenne, de reproducción por semilla de origen sexual. Desde la germinación hasta la primera floración, al contrario de lo que ocurre el agave, las plantas de sotol continúan vivas después de la floración, lo que permite que ocurra un número indeterminado de veces durante su ciclo de vida. Su función reproductiva requiere la presencia de plantas pistiladas y estaminadas, lo cual hace que la reproducción cruzada sea obligada (Figura 2).
- 2. Preparación del terreno:** Esta actividad asegura una gran parte del éxito esperado en el establecimiento de la reforestación por lo que se recomienda: sí el lugar de establecimiento fuera inclinado o presentara pendientes ligeras, realizar la reforestación en línea a una zanja bordo con terraza individual, realizar cajete o media luna opuesta a la pendiente con el fin de asegurar la captación de agua. Si el lugar de establecimiento fuera casi plano se recomienda realizar obras de subsuelo como el barbecho, rastreo y surcos a nivel, ubicando la planta aguas arriba del surco. Realizar un barbecho y rastreo en el terreno, favorece el crecimiento y

desarrollo de la planta; dichas acciones contribuyen a elevar la producción de fibra y reducir el turno técnico (Castillo *et al.*, 2005; Berlanga *et al.*, 1992).

3. **Densidad de reforestación:** en este punto es importante optimizar el espacio de producción para que las plantas crezcan a su máximo potencial, y para que ocupen el sitio de manera óptima, la distancia de reforestación recomendada será de 1.5 metros entre plantas, buscando al menos una densidad de reforestación de 4500 plantas por hectárea.
4. **Establecimiento de la reforestación:** Antes de establecer la planta en campo, se sugiere elaborar terrazas individuales a cada planta para la colecta de humedad, así como el procedimiento de cepa común. Se extrae la planta de la bolsa, cortando la bolsa con un cutter o navaja filosa, y colocando la planta con mucho cuidado en la cepa. Posteriormente aplicar un riego. O realizar la reforestación durante la temporada de lluvias.
5. **Labores culturales (Riegos, fertilización y deshierbe).** La fertilización es recomendable hacerla aplicando nitrógeno y fosforo para mantener sana a la planta. La dosis de fertilización es recomendable consultarla posterior a un análisis de fertilidad de suelos. Si es posible realizar riegos, estos deben realizarse durante la época de sequía entre los meses de febrero y julio. Al menos dos riegos por año.

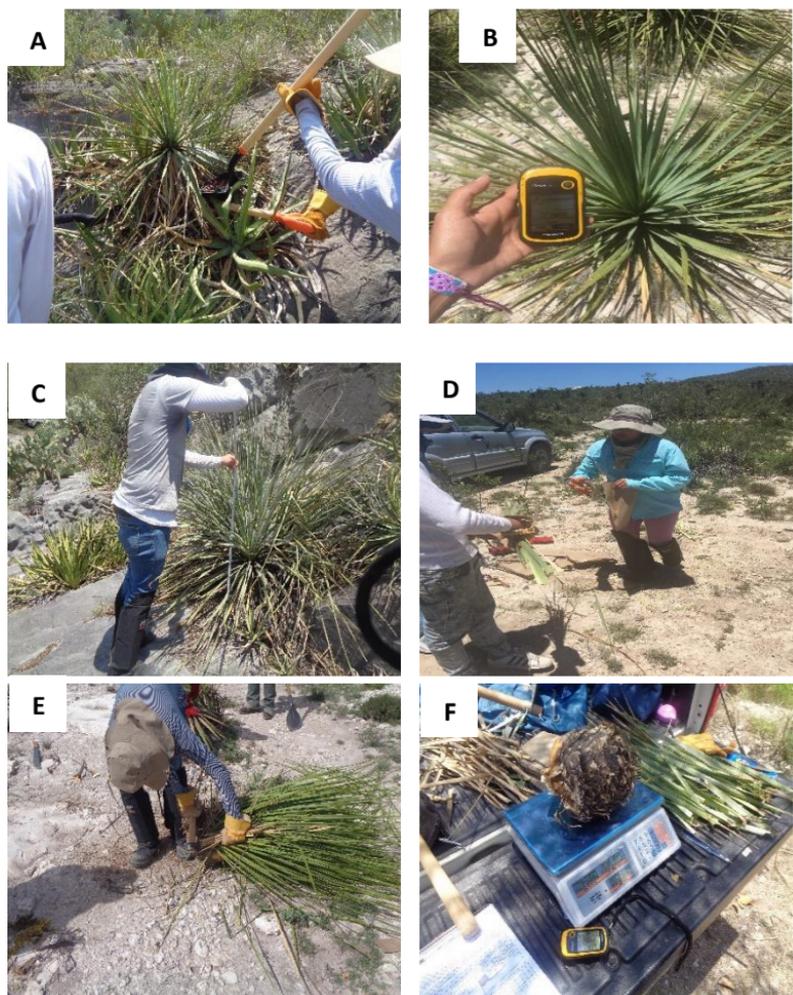
6. **Control de plagas y enfermedades.** Es importante estar en constante monitoreo de las plantas de sotol, para evitar que pudieran enfermarse o generar umbrales riesgosos de plagas. En caso de la presencia de alguna plaga o enfermedad será muy importante atenderla, consultado a técnicos especializados en el control de plagas y enfermedades agrícolas.
7. **Mantenimiento de la reforestación.** En los primeros años, será importante realizar reposición de planta, y durante el crecimiento de la misma es importante, continuar con las labores culturales para que la reforestación se mantenga sana.

## 5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

Los modelos de predicción presentados en este documento son ecuaciones alométricas que proporcionan estimaciones fiables de biomasa de *Dasyllirion texanum*. Representan una herramienta útil para la gestión forestal, ya que permiten la estimación de la biomasa total en kilogramos o por fracciones (componentes), con variables fáciles de medir en campo, como la altura y cobertura de la planta. El uso y aplicación de estas ecuaciones permiten estimar el valor de cada componente de manera indirecta antes del aprovechamiento de la planta, y dado que se trata de un método de cuantificación no destructivo, su impacto ecológico es prácticamente nulo.

El muestreo utilizado para el desarrollo de las ecuaciones alométricas de biomasa consistió en seleccionar aleatoriamente 150 individuos en el estado, los cuales fueron muestreados considerando sus dimensiones estructurales (altura de la planta y diámetros de cobertura) siguiendo una distribución uniforme; es decir tratando que fuera la misma cantidad de individuos en todas las categorías de diámetro de cobertura y altura. Para cada individuo se midieron en pie la altura total (H, cm) y el diámetro de la cobertura (DC, cm). Una vez derribados, se separaron las siguientes fracciones de biomasa: piña, pencas verdes y pencas secas. Cada fracción se pesó en verde utilizando una báscula con una precisión de  $\pm 1$  g (ver Figuras 2). Para el desarrollo de las ecuaciones se probaron diferentes combinaciones de variables predictivas o independientes

(diámetro de cobertura (DC) y altura (H)). Se ajustaron diferentes modelos lineales y no lineales por el método mínimos cuadrados empleando el procedimiento MODEL del programa SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2009); y el método iterativo de Gauss-Newton. Posteriormente, se seleccionaron los mejores modelos por componente en peso verde de la piña y pencas, y se ajustaron simultáneamente para garantizar la aditividad, característica que se recomienda en las ecuaciones desarrolladas para la estimación de biomasa de los distintos componentes, y que implica que la suma de las estimaciones de los diferentes componentes sea igual a la estimación de biomasa total del propio sistema.



**Figura 2.** Muestreo realizado en el estado de Nuevo León. A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Medición de altura, D) Peso de pencas verdes, E) Separación de componente y F) Peso de la piña.

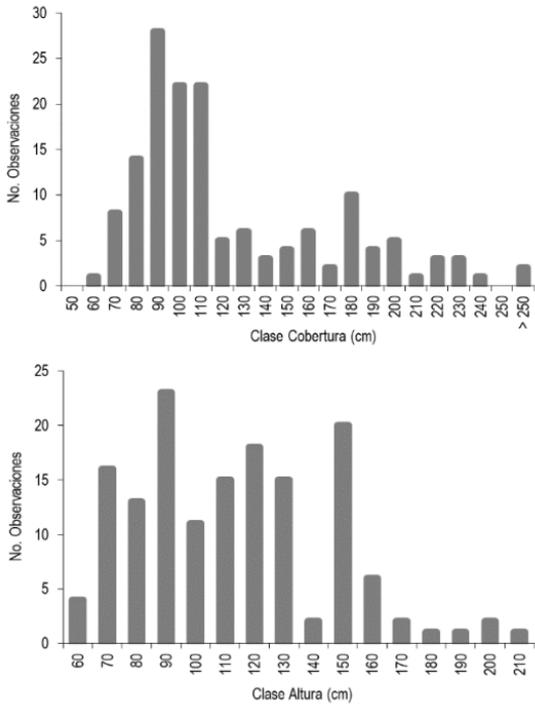
## 5.1. Ecuaciones de biomasa para el estado

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (piña verde, penca verde y pesto total) de los individuos muestreados para desarrollar las ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa por componente y/o total de la planta en el estado de Nuevo León. En la Figura 3, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas.

**Cuadro 1.** Resumen descriptivo de la muestra de *Dasyllirion texanum* colectada en el estado de Nuevo León.

<b>Variable</b>	<b>No. Obs</b>	<b>Media</b>	<b>Std</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
<i>D (cm)</i>	150	118.43	47.01	58.5	282.5
<i>H (cm)</i>	150	108.48	31.98	51.0	202.0
<i>Piña verde (kg)</i>	150	4.813	5.60	0.96	65.13
<i>Penca verde (kg)</i>	150	1.531	1.63	0.27	12.15
<i>Peso total (kg)</i>	150	6.345	6.83	1.55	77.29

Dónde: No. Obs= número de observaciones; Std= desviación estándar; Min= valor mínimo; Max= valor máximo.



**Figura 3.** Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Nuevo León.

Las expresiones matemáticas, la estimación de los parámetros y los estadísticos de ajuste de las ecuaciones alométricas aditivas desarrolladas para estimación de peso verde por componente y total de *Dasyliirion texanum* en el estado de Nuevo León se muestra en los Cuadros 2 y 3.

**Cuadro 2.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente de la piña del *Dasyilirion texanum* en el estado de Nuevo León.

<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>No.</b>
Piña verde	$W_c = b_0D + b_1$	(1)
Penca verde	$W_l = b_2 + b_3D$	(2)
Peso total	$W_t = b_0D^2 + b_1 + b_2 + b_3D$	(3)

Dónde:  $W_i$ = peso verde de los componentes o total (kg),  $b_j$ =parámetro j para la estimación de los pesos,  $DC$ =diámetro de cobertura de cada planta (cm).

**Cuadro 3.** Estimación de los parámetros, contrastes de significación aproximados, y estadísticos de bondad de ajuste para las ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación de peso verde por componente de *Dasyllirion texanum* en el estado de Nuevo León.

Componente	Parámetro	Estimación	Error estándar aprox.	t	Prob.	
					Aprox	R <sup>2</sup>
Piña verde	b <sub>0</sub>	0.090896	0.0278	3.27	<.0001	0.61
	b <sub>1</sub>	0.797851	0.0628	12.7	<.0001	
Penca verde	b <sub>2</sub>	-0.79115	0.1878	-4.2	<.0001	0.61
	b <sub>3</sub>	0.018312	0.00159	11.5	<.0001	
Peso total						0.74
						1.10

t = estadístico de t de Student; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; REMC = Raíz del Error Medio Cuadrático.

## Ejemplo práctico de la aplicación de las ecuaciones alométricas:

Para estimar la biomasa por componente (piña o penca verde) del sotol en el estado de Nuevo León, sería como se explica a continuación. Supongamos que un sotol tiene una altura total (H) de 80 cm y una cobertura (DC) de 120 cm; y si quisiéramos saber la biomasa de la piña, se aplicaría la ecuación del componente piña verde, como se muestra de la siguiente manera:

Información dasométrica:  $H=80 \text{ cm}$ ;  $DC= 120 \text{ cm}$

Ecuación para estimar la biomasa de la verde la piña:

$W_C = b_0 D + b_1$ , se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 3;

$$W_C = (0.90896 * 120) + 0.797851$$

$$W_C = \mathbf{10.91 \text{ kg}}$$

En el Cuadro 4 se muestra los predios del estado de Nuevo León donde se llevó a cabo el muestreo.

**Cuadro 4.** Municipios y predios en donde se llevó a cabo el muestreo en el estado de Nuevo León.

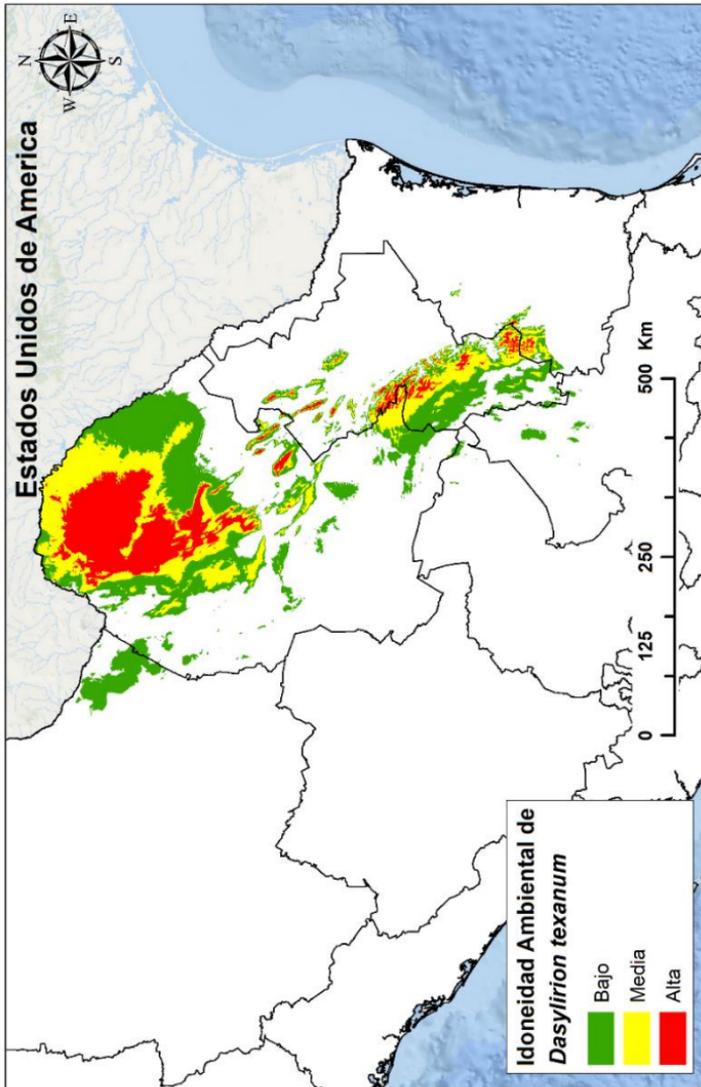
<b>Estado</b>	<b>Municipio</b>	<b>Predio</b>
Nuevo León	Aramberri	La Soledad
	Bustamante	San Lorenzo
	Doctor Arroyo	La Chiripa
		El Refugio de Cedillo
		La Lajita
	Galeana	El Cristal
	García	Icamole

## 6. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE

Los modelos de distribución potencial de las especies son de gran relevancia en la actualidad ya que emplean información característica del sitio y registros de su presencia. El principio de máxima entropía trata de encontrar aquellas zonas del terreno en las cuales se encuentran las condiciones óptimas para que las especies sobrevivan, mostrando una aproximación de su distribución que es útil en áreas de la conservación como la biología y la biogeografía (Phillips *et al.*, 2006). La importancia de los modelos de nicho ecológico, así como los mapas de distribución y su proyección al espacio geográfico son importantes en ecología, puesto que por medio de estas herramientas es posible conocer los requerimientos ecológicos de las especies (Leal-Nares *et al.*, 2012), y otras zonas con condiciones climáticas similares que puedan favorecer su establecimiento. Lo anterior puede ser aplicado tanto a especies de zonas boscosas, tropicales o zonas áridas, en especial especies endémicas o en algún grado de riesgo. Sin embargo, la aplicación de los modelos de distribución en el manejo de especies de importancia económica es de gran relevancia, por ubicar áreas o regiones con diferentes grados de potencial productivo, en este caso las áreas de mayor potencial son las más atractivas para el establecimiento de áreas de conservación y plantaciones forestales o programas de reforestación de *Dasyilirion texanum*. A pesar de que los modelos de distribución pueden ser muy robustos en la ubicación de sitios

potenciales, se recomienda considerar terrenos con condiciones de suelo y relieve similares a zonas donde la especie se desarrolla de manera natural.

La Figura 4 muestra el mapa del área de distribución potencial de *Dasyllirion texanum*, el cual fue construido por los autores de este documento utilizando variables bioclimáticas como predictores, lo que resulta en áreas que son climáticamente adecuadas para el desarrollo la especie. El mapa cuenta con una escala de idoneidad que va desde 0 a 1 (cero es inexistencia de condiciones adecuadas para la especie y 1 es presencia de condiciones óptimas). Posteriormente, se reclasificaron estos valores mediante el procedimiento estadístico de Método de Cuantiles Relativos (INEGI, 2010), para obtener las regiones de clases de idoneidad ambiental de potencial Bajo, Media y Alta. Entendiéndose por “Alta” aquellas áreas donde existen las mejores condiciones climáticas para la especie.



**Figura 4.** Áreas de distribución potencial para *Dasyilirion texanum* en el Estado de Nuevo León.

## 7. CONCLUSIONES.

Las especies no maderables de Nuevo León, representan una importante fuente de ingresos económicos para los habitantes de las regiones Norte y Sur del Estado, debido al alto potencial y valor que tienen tanto en mercados nacionales como extranjeros. En la historia reciente del estado se ha documentado que por lo menos cuatro generaciones de los pobladores de las regiones áridas y semiáridas de Nuevo León, han subsistido gracias al aprovechamiento de los recursos forestales no maderables. Sin embargo, debido a la falta de información para potenciar el aprovechamiento de estos recursos, a la mala valoración económica de los productos obtenidos y la falta de apoyo para desarrollar mejores procesos de producción y comercialización, se ha perdido el interés en su manejo y aprovechamiento. Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Dasyllirion texanum*, generadas para el estado, constituyen una herramienta útil para estimar con precisión la biomasa verde de la especie en los programas de manejo, asegurando un menor sesgo en las estimaciones totales. El mapa de distribución potencial del *Dasyllirion texanum*, presentado en este documento representa un esquema gráfico de áreas o regiones con diferente grado de potencial productivo, para el establecimiento de áreas de conservación y programas de reforestación de la especie.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Benson, L. y Darrow, L.A. 1944. "Manual of Southwestern Desert Trees and Shrubs." Biological Science Bulletin #6, University of Arizona.
- Berlanga R., C. A., L. A. González L. y H. Franco L. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Campo Experimental "La Saucedá". CIRNE. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 1. Saltillo, Coahuila, México. 22 p.
- Castillo Q., D. 1995. Establecimiento de plantaciones de cortadillo en la región ixtlera del sur del municipio de Saltillo, Coah. Resumen. En: Memoria del Taller de identificación de proyectos productivos para el Programa de Desarrollo Regional Sustentable de las Zonas Ixtleras y Candelilleras. CONAZA. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 153 p.
- Castillo Q.D. y Cano P.A. 2005. Guía técnica para el establecimiento de plantaciones de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) para la producción de fibras duras en el estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 16. Coahuila, México. 23 p.
- Gadow, K. and Hui, G. 1999. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- Johnston I.M. 1944. Plants of Coahuila eastern Chihuahua and adjoining Zacatecas and Durango, V. Journal of the Arnold Arboretum 25:133–182.
- Kleinn, C. y D. Morales. 2002. Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o plantaciones forestales. Revista Forestal Centroamericana 39-40: 6-12.
- LGDFS. 2021. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 26-04-2021.
- Loetsch, F., Zöhner, F. y Haller, K. E. 1973. Forest Inventory. Volume II. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München. 469 pp.

- López B. L. A. 2005. El sotol en Coahuila, potencialidades y limitaciones. Capítulo 3. In: Contreras D., C. e I. Ortega R. 2005. Bebidas y Regiones: Historia e impacto de la cultura etílica en México. Plaza y Valdés, S.A de C.V. 200p.
- Madrigal Collazo, A. 1994. Ordenación de montes arbolados.
- Martínez B., O. U. y Lara G., G. J. 2003. Potencial productivo de áreas de temporal en el estado de Coahuila. Una propuesta de conversión productiva. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación Especial Núm. 1. Coahuila, México. 89p.
- Ortiz, T.C. 1990. Índices agroclimáticos y su aplicación en la agricultura. Metodología de la Investigación en RASPA. CENIDRASPA. Gómez Palacio, Dgo. p. 35-60.
- Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4): 573–593.
- RLGDFS. 2020 reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 09-12-2020.
- Ruiz C., J. A.; Medina G., G.; González A., I. J.; Ortiz T., C.; Flores L., H. E.; Martínez P., R. A. y Bierly M., K. F. 1999. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Centro de Jalisco. Libro Técnico Núm. 3. Conexión Gráfica, Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- Salas C. 2002. Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de Roble-Laurel-Lingue. *Bosque* 23(2): 81-92.
- SAS Institute. 2009. SAS Proprietary Software Version 9.3. SAS Institute, Cary, NC.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2001. [www.SEMARNAT.gob.mx/pfnm3/fichas/dasylyrioncedrosanu m.2001](http://www.SEMARNAT.gob.mx/pfnm3/fichas/dasylyrioncedrosanu m.2001)

- Segura M, H Andrade. 2008. ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas* 46: 89-96.
- Trelease W. 1911. *The Desert Group Nolinae*. Lima, Perú. P.14 ed. Herrera Vol. #200. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Velásquez Q.J.A.. 1983. *El sotol*. Agricultura de zonas áridas. Chapingo. México.

## 9. GLOSARIO

**Dioecia.** Fenómeno que presentan las plantas con flores unisexuales en las que las femeninas y las masculinas se encuentran dispuestas sobre distintos individuos o pies de planta.

**Ecuación alométrica.** Fórmula matemática que representa la relación entre la biomasa y el diámetro o la altura de la planta y permite realizar predicciones con bajos requerimientos de datos.

**Especie.** Unidad básica de clasificación de los organismos; incluye a todos los individuos que se parecen entre sí más que a otros y que producen descendencia fértil.

**Flores pistiladas.** Dícese de las flores femeninas o flores hembras. Son las que tienen un pistilo funcional capaz de producir semillas, pero o no tiene estambres o tienen estambres con anteras que son incapaces de producir polen.

**Flores estaminadas.** Dícese de las flores masculinas o flores macho. Son flores que tienen estambres funcionales, capaces de producir polen, pero no tienen ovario, o tienen un ovario que no es fértil.

**Grados Brix.** El Brix es una medida de la cantidad de sólidos disueltos que hay en un líquido, que se obtiene a través de la gravedad específica y se usa sobre todo para medir la azúcar disuelta. Un grado Brix es un gramo de sacarosa en 100 gramos de solución.

**Manejo forestal sustentable.** Es el proceso que comprende el conjunto de acciones y procedimientos que tienen por objeto la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal, considerando los principios ecológicos, respetando la integralidad funcional e interdependencia de recursos y sin que disminuya o ponga en riesgo la capacidad productiva de los ecosistemas y recursos existentes en la misma.

**Norma Oficial Mexicana.** La regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias competentes, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas

relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

**Regeneración.** Capacidad natural del bosque para reproducirse o capacidad de un organismo vivo para recuperar por sí mismo sus partes pérdidas o dañadas.

**Rodalización.** Proceso que consiste básicamente en definir los rodales que tiene en un área, entendiendo como rodal el espacio continuo en el que la disposición de la vegetación dominante responde a unas mismas características en cuanto a su grado de cubierta, composición específica, regularidad, tamaño de los individuos, densidad y patrón de distribución de estos caracteres.

## 10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>CONABIO</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
<b>CONACYT</b>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
<b>CONAFOR</b>	Comisión Nacional Forestal.
<b>INIFAP</b>	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
<b>ITES</b>	Instituto Tecnológico de El Salto.
<b>LFPA</b>	Ley Federal de Procedimiento Administrativo.
<b>LGDFS</b>	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
<b>LGEEPA</b>	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
<b>LGVS</b>	Ley General de Vida Silvestre.
<b>NOMs</b>	Normas.
<b>RLGDFS</b>	Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<b>UAAAN</b>	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
<b>UACH</b>	Universidad Autónoma de Chihuahua.
<b>UANL</b>	Universidad Autónoma de Nuevo León.
<b>UJED</b>	Universidad Juárez del Estado de Durango.



Fondo  
**CONACYT**  
**CONAFOR**

**Fondo Sectorial para la  
Investigación, el Desarrollo y la  
Innovación Tecnológica Forestal**



**CONAFOR**  
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



**CONACYT**  
*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*