



Fondo
CONACYT
CONAFOR



UJED
Universidad Juárez
del Estado de Durango



CONAFOR



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



inifap
Instituto Federal de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave americana* *L. subsp. protoamericana* H. Gentry en el estado de Tamaulipas



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 Serrano¹, M.C. Adrián Hernández Ramos², Dr. Jorge Méndez González³, Dr. Martín Martínez Salvador⁴, Dr. Oscar Aguirre Calderón⁵, Dr. Benedicto Vargas Larreta⁶ y Dr. José Javier Corral Rivas¹.

¹Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ⁴Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y ⁵Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), ⁶Instituto 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 *Agave americana* L. subsp. protoamericana H. Gentry., en el estado de Tamaulipas. 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 *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry por su importancia en la elaboración de bebidas alcohólicas que 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 *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., en el estado de Tamaulipas”, 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.....	6
2.	LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE.....	8
2.1.	Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del <i>Agave americana</i> L. subsp. <i>protoamericana</i> H. Gentry.....	8
2.2.	Leyes y normas.....	10
3.	INVENTARIO FORESTAL CON FINES DE MANEJO	17
3.1.	Técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie.....	17
4.	MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO	22
4.1.	Mejoras en las técnicas de aprovechamiento de la especie	22
4.2.	Mejoras en las técnicas de extracción y beneficio del producto final	23
4.3.	Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales .	25
5.	ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA	29
5.1.	Ecuaciones de biomasa	32
6.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE	39
7.	CONCLUSIONES.....	42
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	43
9.	GLOSARIO.....	45
10.	SIGLAS Y ACRÓNIMOS	46

1. INTRODUCCIÓN.

El *Agave americana* L. subsp. *protoamericana* H. Gentry., comúnmente llamado “maguey cenizo”, es una planta formada por rosetas acaulescentes desde 1 hasta 12 o más verticilos de acuerdo a su edad; cada verticilo está formado por hojas anchas lanceoladas de hasta 135 centímetros de largo. Las hojas o pencas son de un color glauco gris a un verde pálido; espinosas a lo largo de los márgenes y terminando en un gran agujón. Es una planta que crece bastante rápido alcanzando la madurez en pocos años, llega a medir hasta 223 centímetros de altura o más de acuerdo con el hábitat en donde se desarrolla. *Agave americana* L. subsp. *protoamericana* H. Gentry., se desarrolla en planicies, lomeríos y laderas sobre suelos arenosos, arcillosos, así como sus combinaciones hasta los franco-arcillosos. Esta especie se desarrolla en sitios con abundante piedra, en roquerío e incluso donde hay mucha laja con bajo a alto contenido de materia orgánico. La podemos encontrar de manera natural desde los 284 hasta los 2,084 metros sobre el nivel del mar distribuyéndose principalmente en los municipios de Bustamante, Jaumave, Miquihuana, Palmillas, Tula, Victoria, Burgos, Jiménez, San Carlos y San Nicolás en el estado de Tamaulipas. Dentro de la región conocida como Sierra de San Carlos, principalmente en los municipios de San Nicolás y San Carlos. El maguey cenizo tiene gran importancia económica debido a que la piña del *Agave* es utilizada para la elaboración de un mezcal artesanal muy conocido en la región.

Su importancia ecológica tiene que ver con la inflorescencia del maguey, ya que tiene una alta producción de néctar y polen que alcanza para alimentar a las poblaciones de murciélagos, colibríes, carpinteros y otras aves, así como una amplia diversidad de insectos como las abejas, abejorros, avispa, moscas, hormigas, etcétera (Ramírez y Treviño, 2010; Castillo y Treviño, 2010). Además, es importante mencionar que los agaves por su capacidad para desarrollarse sobre afloramientos rocosos y áreas de suelo muy someros (poco profundos) actúan como generadores, conservadores y retenedores de suelo, ya que su presencia evita o disminuye la degradación del suelo.

2. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE

2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del *Agave americana* L. subsp. *protoamericana* H. Gentry.

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, por lo que la solicitud debe presentarse ante 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 *Agave americana* L. subsp. *protoamericana* H. Gentry., se muestran en la Figura 1.

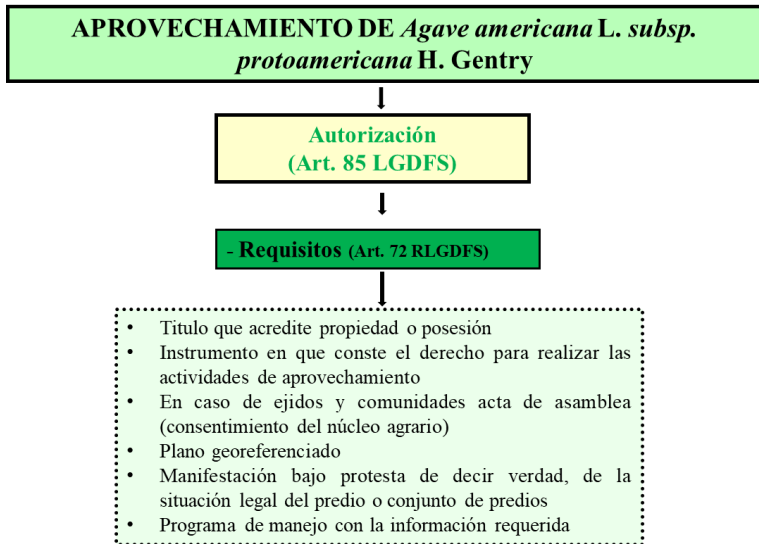


Figura 1. Requisitos para solicitar autorización de aprovechamiento de *Agave americana* L. subsp. *protoamericana* H. Gentry., en México.

2.2. Leyes y normas.

Leyes vigentes

La legislación vigente que se describe a continuación regula el aprovechamiento de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry.

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p>Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)</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>Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)</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>Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Reglamento de la LGDFS)</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>Ley General de Vida Silvestre (LGVS)</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>Ley Agraria</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>Ley Federal de Procedimiento Administrativo (LFPA).</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 *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry.

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 cortezas, tallos y plantas completas de vegetación forestal.

Apartado	Especificaciones
Aprovechamiento	<p>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.</p>
	<p>El aprovechamiento quedará sujeto a los siguientes criterios y especificaciones técnicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Sólo se podrán aprovechar plantas en la etapa de madurez de cosecha.

Apartado	Especificaciones
	<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>
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 de la Secretaría en la entidad federativa correspondiente, sobre las entradas y salidas del producto durante el trimestre inmediato anterior.</p>
Transporte	<p>El transporte de las 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</p>

Apartado	Especificaciones
	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 manejo.

Apartado	Especificaciones
Aprovechamiento no maderable	Cuando 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

Apartado	Especificaciones
	<p>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 manejo 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 *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., 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 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 las técnicas de muestreo, en este manual se recomienda utilizar la siguiente metodología de muestreo para *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry.

- 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 esta 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 and Hui, 1999).

- 4. Tamaño de los sitios expresados en metros cuadrados.** Las dimensiones de los sitios circulares recomendadas son 500 m^2 (radio = 12.6157 m) o de 1000 m^2 (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 (DC_{NS} , cm) y Diámetro de cobertura Este-Oeste (DC_{EO} , 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 propuestas de mejores prácticas se realizaron con base en el diagnóstico de cómo se aprovecha actualmente la especie de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., en el estado de Tamaulipas, 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 de la especie

La piña de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., es utilizada como materia prima para la elaboración de mezcal artesanal por algunos productores o maestros mezcaleros ubicados en ranchos o ejidos de los municipios del estado de Tamaulipas. Las actuales prácticas de aprovechamiento no requieren mejoría dados los resultados que se han tenido en la producción, sin embargo, para disminuir el impacto ambiental se proponen las siguientes actividades complementarias durante el aprovechamiento que permiten

maximizar el uso del recurso y contribuyen a lograr la sostenibilidad:

- Realizar recorridos de campo dentro de los rodales delimitados en la división dasocrática previo a la cosecha con la finalidad de seleccionar aquellos agaves que han iniciado el desarrollo de su escape floral para realizar el procedimiento de capado.
- Después de ser capados, los agaves se dejarán en campo para que los azúcares se acumulen en la piña en un periodo de 4 meses a un año antes de su cosecha.
- Es necesario cumplir estrictamente lo establecido en la NOM-005-SEMARNAT-1997 donde se establece que se dejará distribuido uniformemente un mínimo del 20% de las plantas en etapa de madurez de cosecha para propiciar la regeneración por semillas. Dado que las autorizaciones existentes en el estado de Tamaulipas están en un tipo de propiedad ejidal, es necesario fomentar el establecimiento de acuerdos de asamblea para el cumplimiento de las especificaciones de la Norma.

4.2. Mejoras en las técnicas de extracción y beneficio del producto final

Se propone lo siguiente en el proceso de extracción, una vez identificado la planta a aprovechar, el productor corta las hojas con el machete y coa o jima, para dejar expuesto la piña del agave (Figura 2). La separación de la piña de la raíz es necesario hacerla con la coa con la finalidad de evitar sacar toda la raíz y así contribuir con la erosión de suelo. Si la piña es muy

grande, es necesario partirla a la mitad o en las partes necesarias para facilitar su transporte. Las hojas o pencas del maguey se dejan distribuidas en el campo para su descomposición y posterior incorporación como materia orgánica en el suelo.



Figura 2. Combinación de las herramientas coa agavera y machete para la extracción de la piña.

4.3. Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales

Los pasos para el establecimiento de una reforestación de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., exitosa, con fines de enriquecimiento de rodales, son los siguientes:

1. **Selección de material para la reforestación:** para lograr que el establecimiento de una reforestación sea exitoso, se recomienda extraer los hijuelos de los individuos con mejores características fenotípicas que presenten los más altos rendimientos del área de aprovechamiento, asegurando así resistencia en el trasplante. Los hijuelos a seleccionar deben ser aquellos que provengan de plantas vigorosas, que sean nativas del lugar o por lo menos que ya estén bien adaptadas a él, de roseta bien formada y cogollo recto, de grandes dimensiones en cobertura y altura, además de presentar una gran piña, que presenten ausencia de plagas o enfermedades, factor importante en su sobrevivencia.
2. **Colecta de los hijuelos:** Deben ser colectados dos o tres semanas antes de realizar la reforestación con ayuda de un talacho o pico, cuidando dañar lo menos posible las raíces del hijuelo y plantas aledañas. Los hijuelos deben tener un tamaño de 20 a 30 cm de altura, razón por la cual se corta aproximadamente un cuarto de la hoja o penca comenzando de la punta hacia la base, para evitar daños físicos. También es recomendable realizar poda cortando las pencas secas e inferiores dejando entre 3 y

5 por planta, partiendo desde la base del individuo. El cuidado en el transporte de la planta es de vital importancia por lo que se debe cuidar no romper o mutilar su estructura. Como actividad complementaria se debe realizar el barbeo o poda de raíces hasta llegar a su base. Una vez preparada la planta debe permanecer de 2 a 3 semanas en condiciones ambiente en los terrenos donde se realizará la reforestación, lo que ayudará a la cicatrización de raíces y aumentará el éxito en el establecimiento (Figura 3).

- 3. Preparación del terreno:** Esta actividad asegura una gran parte del éxito esperado en el establecimiento de la reforestación por lo que se recomienda: si 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).
- 4. Densidad de reforestación:** la distancia promedio a la que debe estar separada una planta y otra es 3 m y 4 m entre bordes, con este método se obtendrá una densidad recomendada de 840 individuos por hectárea.

5. **El diseño de la reforestación puede ser a manera de:**
 - a) **Marco real:** en este diseño las plantas se colocan formando cuadros o rectángulos. Se recomienda utilizarlo en terrenos planos o con pendientes menores a 20%.
 - b) **Diseño a tresbolillo:** las plantas se colocan formando triángulos equiláteros (lados iguales). La distancia entre planta y planta dependerá del espaciamiento que la especie demande al ser adulta. Este arreglo se deberá utilizar en terrenos con pendientes mayores a 20%, aunque también se puede utilizar en terrenos planos. Las líneas deberán seguir las curvas de nivel. Con este tipo de diseño se logra minimizar el arrastre de suelo y a su vez aprovechar los escurrimientos.
6. **Establecimiento de la reforestación:** se deben considerar prioritarias aquellas áreas con registro de poblaciones naturales de la especie. La reforestación debe realizarse de dos a tres semanas antes de la época de lluvias que normalmente sucede en verano. Para la reforestación de los hijuelos se recomienda el método de cepa común que consiste en cavar un hoyo de 10 a 15 cm de profundidad y ancho acorde al individuo a plantar, esto con ayuda de un talache o pico. Después se coloca la planta y se cubre con tierra a nivel del cuello de la misma, se compacta el suelo para evitar bolsas de aire y posibles pudriciones.
7. **Reposición de plantas:** aunque los índices de supervivencia sean altos (entre 95 al 100%) en su etapa

inicial, pueden presentarse pérdidas de planta por diversos factores, como el mal manejo de la planta durante la extracción y transporte de la misma al lugar de reforestación o presencia de plagas. Por lo tanto, es recomendable realizar una evaluación de sobrevivencia y hacer reposición de las plantas afectadas.

8. **Deshije:** por razones fisiológicas de la planta a los pocos meses de realizada la reforestación empieza a surgir la regeneración mediante hijuelos a los cuales si se permite su desarrollo en el mismo lugar estará en competencia con la planta madre. Se recomienda retirar los hijuelos y usarlos para reposición de planta fallida dentro de la misma área reforestada.



Figura 3. Reforestación con hijuelos de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry.

5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

Los modelos de predicción presentados en este documento son ecuaciones alométricas que proporcionan estimaciones fiables de biomasa de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry. 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, 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: cogollo, pencas verdes y pencas secas. Cada fracción se pesó en verde utilizando una báscula con una precisión de ± 1 g (Figura 4). 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 (cogollo, pencas verdes y peso total) 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 4. Muestreo realizado en el estado de Tamaulipas. A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Medición de cobertura, D) Medición de piña, E) Medición de peso de las pencas y F) Medición de peso de la piña.

5.1. Ecuaciones de biomasa

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (piña y pencas verdes) 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 Tamaulipas. En la Figura 5, 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 *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., colectada en el estado de Tamaulipas.

Variable	No. Obs	Media	Std	Min.	Max.
<i>DC (cm)</i>	150	172.76	57.69	59.0	365.0
<i>H (cm)</i>	150	128.10	35.71	45.0	223.0
<i>Peso piña (kg)</i>	150	35.15	40.49	0.552	320.52
<i>Peso penca(kg)</i>	150	47.71	48.65	0.560	287.62
<i>Peso total (kg)</i>	150	82.87	87.14	1.888	608.14

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

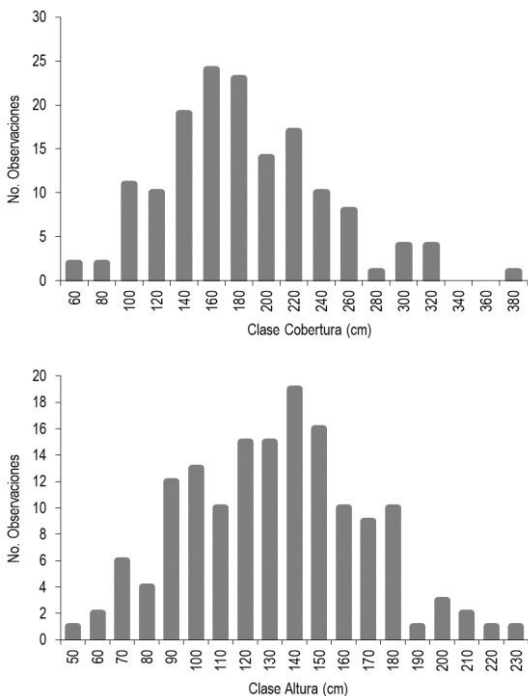


Figura 5. Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado.

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 *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., en el estado de Tamaulipas, se muestra en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., en el estado de Tamaulipas.

Componente	Modelo	No.
Piña verde	$W_c = \exp (b_0 + b_1 \ln(DC * H))$	(1)
Penca verde	$W_l = \exp (b_2 + b_3 \ln(DC * H))$	(2)
Peso total	$W_t = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H)) + \exp (b_2 + b_3 \ln(DC * H))$	(3)

Dónde: W_c = 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), H =altura total de cada planta (cm), exp =exponente, \ln =logaritmo natural.

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 y total de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., en el estado de Tamaulipas.

Componente	Parámetro	Estimación	Error estándar aprox.	t	Prob.		REMC (kg)
					Aprox	> t	
Piña verde	b ₀	-9.69613	0.7129	-14	<.0001	0.64	15.80
	b ₁	1.297437	0.0695	18.7	<.0001		
Penca verde	b ₂	-10.1966	0.4237	-24	<.0001	0.75	19.44
	b ₃	1.380835	0.0416	33.2	<.0001		
Peso total						0.72	33.62

t = estadístico de t de Student; R² = Coeficiente de determinación; REMC = Raíz del Error Medio Cuadrático

Ejemplo práctico de la aplicación de las ecuaciones alométricas:

Para estimar la biomasa total de la planta en el estado de Tamaulipas, sería como se explica a continuación. Supongamos que un agave tiene una altura total (H) de 180 cm y una cobertura (DC) de 220 cm; y si quisiéramos saber el volumen total, se aplicaría la ecuación 3 de Cuadro 3, como se muestra de la siguiente manera:

Información dasométrica: $H=180 \text{ cm}$; $DC= 220 \text{ cm}$

Ecuación para estimar el peso total de la planta de agave:

$W_t = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H)) + \exp(b_2 + b_3 \ln(DC * H))$, se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 3;

$$W_t = \exp(-9.69613 + 1.297437 \ln(220 * 180)) + \exp(-10.1966 + 1.380835 \ln(220 * 180))$$

$W_t = 140.02 \text{ kg}$; peso total de la planta, dadas esas condiciones de la planta.

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

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

Estado	Municipio	Pedio
Tamaulipas	Burgos	N.C.P.E. Maclovio Herrera
		PP Los Tanques
	Bustamante	N.C.P.E. Maclovio Herrera
		Ejido Gabino Vázquez-Santa Efigenia
		P.P. Mesa de Guadalupe
		Ejido Felipe Ángeles
		P.P. Innominado
		Ejido Joya de Herrera
	Jaumave	Ejido Las Antonias
		Ejido Plan de Ayala-Las Calabazas
		P. P. Las Maravillas
		Ejido Magdaleno Aguilar-Meca del Sur
	Miquihuana	Ejido La Reforma
		Ejido Francisco I. Madero
	Palmillas	Ejido Villa de Miquihuana
		Colonia Agrícola y Ganadera La Peña
Ejido Palmillas		
Ejido Seis de Abril		
		Ejido Llano de los Azuas
		Ejido San Vicente

Estado	Municipio	Predio
	San Carlos	Ejido El Carrizo de Uriegas
	San Nicolás	Ejido El Palmar
		Ejido Las Vírgenes
	Tula	P.P. Innominado
		Ejido La Cieneguita
		Ejido La Laguna
		P.P. Joya de Laurencia
		Ejido Santa Ana de Nahola
		Ejido Morelos (antes El Buey)
		Ejido La Tapona
	Victoria	Ejido El Huizachal

6. MAPA 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 *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry. 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 6 muestra el mapa del área de distribución potencial de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., 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.

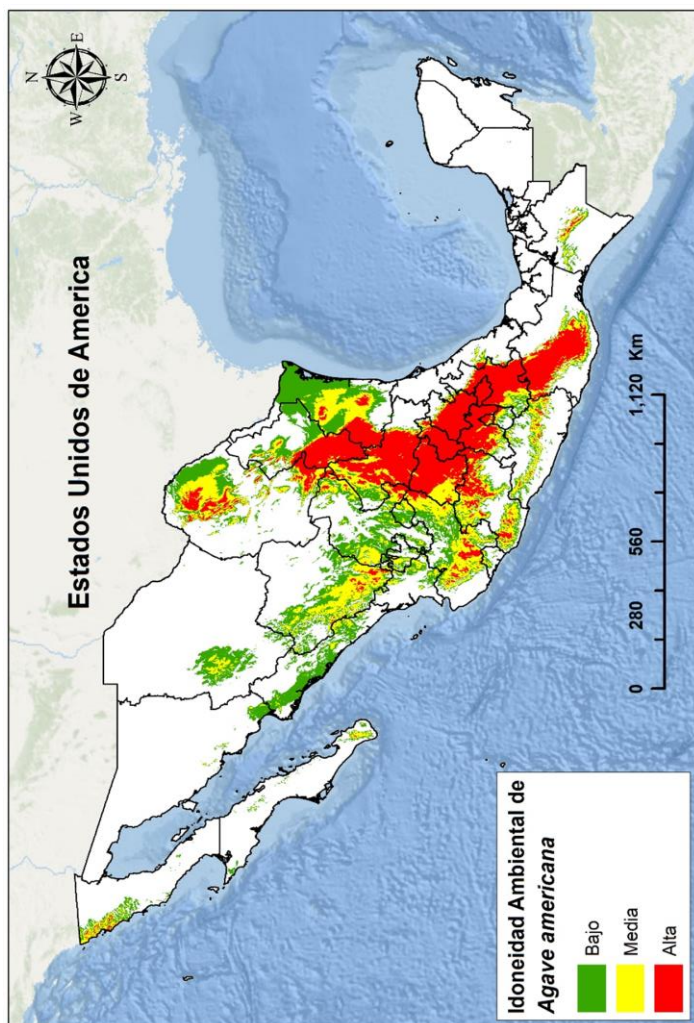


Figura 6. Clases de idoneidad ambiental para *Agave americana* L. subsp. *protoamericana* H. Gentry., generadas a partir de modelos de distribución potencial.

7. CONCLUSIONES.

- El aprovechamiento de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., en el estado de Tamaulipas tiene relevancia principalmente en la región, por el principal producto forestal no maderable del mezcal artesanal, obtenido del cocimiento, molienda, fermentación y destilado de esta especie, por lo que es importante generar prácticas para la evaluación y monitoreo de las poblaciones naturales en el estado.
- Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., generadas por estado, constituyen una herramienta útil para estimar con precisión la biomasa verde de la especie en la autorización de aprovechamiento, asegurando un menor sesgo en las estimaciones totales.
- El mapa de distribución potencial del *Agave americana* L. *subsp. protoamericana* H. Gentry., 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.

- Berlanga R., C. A., L. A. González L. y H. Franco L. 1992a. 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.
- Gadow, K. and Hui, G. 1999. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía; Nota técnica univariada. 17 p.
- Jacques-Hernandez, Cuauhtemoc & Herrera Pérez, Octavio & Ramírez de León, José. (2007). El maguey mezcalero y la agroindustria del mezcal en Tamaulipas.
- Leal-Nares, O., M. E. Mendoza, D. Pérez, D. Geneletti, E. López y E. Carranza. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinzii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. Revista Mexicana de Biodiversidad, 83: 1152-1170.
- LGDFS. 2021. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 26-04-2021.
- 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.
- Parsons, J. P. Los Agaves en la economía tradicional. Periódico La Jornada de fecha 18 de febrero de 2012. Recuperado de: <https://www.jornada.com.mx/2012/02/18/cam-economia.html>
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapired. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231-259.
- Ramírez M., H., Romahn de la V., C.F., 2010. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 294 p.
- RLGDFS. 2020 reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 09-12-2020.
- SAS Institute. 2009. SAS Proprietary Software Version 9.3. SAS Institute, Cary, NC.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2008. *Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima árido y semiárido.*

Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental, Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables. México. 107 p.

- Trejo, R., Eguiarte, L. E. y Medellín, R. A. El tequila y el murciélago: ¿todos somos *Leptoycteris*! Los Agaves y el campo mexicano. Septiembre 2017. Recuperado de: <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/images/Pdfs/2017-02.pdf>.
- Treviño-Carreón, Jacinto, Mora-olivo, Arturo, Carreón-Pérez, Alejandro, Valiente-Bannuet, Alfonso, Descubriendo el valor de los agaves tamaulipecos. Ciencia UAT 2011. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942923001.pdf>

9. GLOSARIO

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.

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 perdidas 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

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