



Fondo  
**CONACYT**  
**CONAFOR**



**UJED**  
Universidad Juárez  
del Estado de Durango



**CONAFOR**  
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



**CONACYT**  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



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

## Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave cupreata* en el estado de Guerrero



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. Martín 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 *Agave cupreata* en el estado Guerrero. 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 cupreata* por su importancia para la elaboración de mezcal. 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 *Agave cupreata* en el estado de Guerrero”, 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....	6
2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del <i>Agave cupreata</i> .....	6
2.2. Leyes y normas .....	7
3. INVENTARIO FORESTAL CON FINES DE MANEJO .....	12
3.1. Técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie	12
4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO .....	15
4.1. Mejoras en las técnicas de aprovechamiento de la especie .....	15
4.2. Mejoras en las técnicas de extracción y beneficio del producto final. ....	17
4.3. Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales .....	18
5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA.....	20
5.1. Ecuaciones alométricas para el estado.....	22
6. MAPA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE .....	25
7. CONCLUSIONES.....	27
8. BIBLIOGRAFÍA .....	28
9. GLOSARIO .....	29
10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....	31

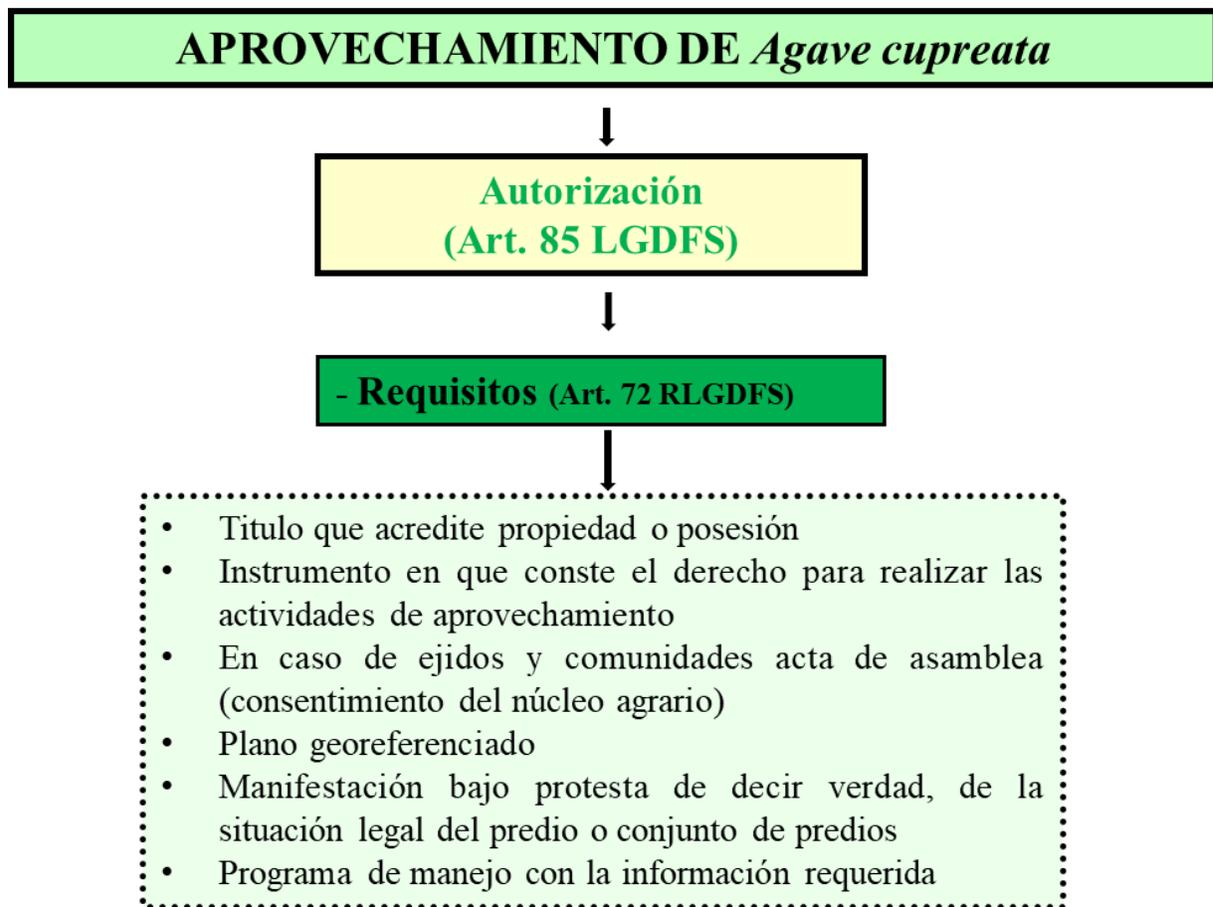
## 1. INTRODUCCIÓN

El uso del género agave en México es amplio, pues son utilizados como alimento para el ser humano y el ganado, como materia prima para producir bebidas fermentadas, destiladas y fibras, como medicamento (insulina y esteroides), mieles, jarabes, material para la construcción, cobertura viva para la retención del suelo y sustratos, entre muchos otros usos. En México, los agaves tienen una gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas, que los han aprovechado durante siglos como fuente de alimento, bebida, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas, entre otros usos. Estos fueron una de las primeras plantas aprovechadas por los pobladores de Mesoamérica para alimentarse, como prueba de ello, se han encontrado restos en cuevas en el Valle de Oaxaca, el de Tehuacán y en Coahuila, en este último sitio, además de restos de fibras mascadas, se recuperaron cordeles de ixtle y sandalias elaboradas con fibras de agave. El empleo como alimento y fibras pervive en nuestro país desde hace por lo menos siete mil años. El *Agave cupreata* (agave papalote) es una especie endémica del estado de Guerrero y se reproduce exclusivamente por semilla. Esta especie se encuentra solo en las laderas de las montañas de la cuenca del Río Balsas en los estados mexicanos de Michoacán y Guerrero en elevaciones de 1,200 a 1,800 metros. En el estado de Guerrero, se emplea el agave papalote (*Agave cupreata*) principalmente para la elaboración de mezcal, que es una especie silvestre endémica de la cuenca del río Balsas, y a baja escala el agave delgado (*Agave angustifolia*).

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

### 2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del *Agave cupreata*

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 el aprovechamiento, que se obtiene mediante solicitud que se presenta 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 para el aprovechamiento de *Agave cupreata*, se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Requisitos que debe contener la autorización para el aprovechamiento del *Agave cupreata* en México.

## 2.2. Leyes y normas

### Leyes vigentes

La legislación vigente que se describe a continuación regula el aprovechamiento del *Agave cupreata*.

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>
<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</p>	<p>1, 3, 18, 19, 56, 83, 84 y 97.</p>

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p>las especies domésticas que, al quedar fuera de control del hombre, se establecen en el hábitat natural.</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>
<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 *Agave cupreata*.

**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"> <li>I. Sólo se podrán aprovechar plantas en la etapa de madurez de cosecha.</li> <li>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;</li> </ol>
Almacenamiento	<p>Los responsables de los centros de almacenamiento deberán:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Solicitar la inscripción de los mismos en el Registro Forestal Nacional, acreditando su personalidad.</li> <li>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</li> </ol>

Apartado	Especificaciones
	Federal de la Secretaría en la entidad federativa correspondiente, sobre las entradas y salidas del producto durante el trimestre inmediato anterior.
Transporte	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 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, 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 oficio y fecha de la autorización en materia de impacto ambiental. Asimismo, con la solicitud a que se refiere el presente artículo deberá presentarse

Apartado	Especificaciones
	<p>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 cupreata*, 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 técnicas de muestreo, en este manual se recomienda utilizar la siguiente metodología de muestreo para *Agave cupreata*.

- 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 and 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 ( $DC_{NS}$ , cm), 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 ( $Ha^{-1} = 10,000 m^2$ ), 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 de manejo se realizaron con base en el diagnóstico de cómo se aprovecha actualmente la especie de *Agave cupreata* en el estado de Guerrero, dentro del marco 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 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

Para el aprovechamiento del *Agave cupreata* en el estado de Guerrero se propone la siguiente clasificación de etapas de crecimiento de la especie:

1. Agave de etapa 1. En esta etapa el agave es un plántula o hijuelo y su edad varia de entre 1 y 3 años. Una de las características de esta etapa es que el agave, puede ser trasplantado a otra área que tenga características similares y sobrevivir sin ningún problema.
2. Agave de etapa 2. En esta etapa el agave ya es considerado tierno o joven y su edad oscila entre los 4 y 6 años. En esta etapa el agave cumple la función de retención de suelo.
3. Agave de etapa 3. El agave en esta etapa ya es considerado adulto o maduro y su edad varía entre los 7 y 9 años. En esta edad el agave, desarrolla su etapa de reproducción.
4. Agave de etapa 4. Esta es la última etapa del agave y su edad oscila de 10 a 14 años, aunque en algunas ocasiones esta edad es superior, es esta etapa se desarrolla su escapo o calehual, por ende, su florecimiento y posteriormente las semillas, se reproduce y muere.

Por otro lado, se proponen las siguientes actividades complementarias durante el aprovechamiento que permiten maximizar el uso del recurso y contribuyen a lograr la sostenibilidad:

- Marcar el 20% de agaves de etapa 2, para garantizar su función ecológica, su desarrollo hasta la madurez y la regeneración natural (Figura 2A).
- Llevar a cabo un acomodo de desperdicio (pencas) en curvas de nivel en los rodales donde se haya realizado el aprovechamiento, con la finalidad ecológica de retener el suelo y evitar su erosión (Figura 2B).
- Realizar un cercado (con alambre de púas), en aquellas áreas donde exista regeneración natural.
- Escarificación del suelo en una circunferencia de 2 a 3 metros al ruedo del agave (Figura 3).



**Figura 2.** Actividades complementarias durante el aprovechamiento del *Agave cupreata*. A) Marcado de agave de etapa 2. B) Acondonamiento con pencas después del aprovechamiento del agave.



**Figura 3.** Escarificación del suelo en el *Agave cupreata*.

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

Para la elaboración de mezcal se extrae el individuo completo. Para la recolección de la materia prima de agave son necesarias ciertas condiciones o características visuales tales como las siguientes: coloración verde-amarillenta en la base de las pencas y parda en la base del agave, así como la presencia de pencas secas en esta zona (Figura 4). Bajo estas generalmente el agave se encuentra en un estado de madurez apropiado y que contiene alto contenido de azúcares que garantizan una mejor calidad del mezcal. Las siguientes técnicas son las más utilizadas y se proponen seguir utilizando en el estado para el *Agave cupreata*, ya que son estrategias para mejorar la calidad del mezcal:

- **Capado:** Consiste en cortar el vástago floral a una altura menor a 1.5 metros, después de caparlo se deja en pie el agave por un tiempo no mayor a un año para que éste tenga una mayor concentración de azúcares en la piña o cabeza.
- **Velilla:** Esta consiste en labrar o cortar el agave cuando llega a un punto que se le conoce como “velilla”, que es cuando alcanza su madurez de cosecha exacta, es decir, es cuando el agave se prepara para sacar el vástago.



**Figura 4.** Características visuales para la selección del individuo para su aprovechamiento del *Agave cupreata*.

#### 4.3. Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales

La implementación de estas propuestas de reforestación se debe de realizar en zonas donde los rodales cuenten con alto potencial (como se muestra en el mapa de distribución potencial para el estado). Esto permitirá contribuir en la disminución del déficit de abasto de materias primas y productos para la industria mezcalera. Además de disminuir la presión del aprovechamiento las poblaciones naturales. Por otro lado, permitirá la incorporación de una mayor superficie a la producción sustentable. Los pasos a seguir para la reforestación con fines de enriquecimiento de rodales de *Agave cupreata*, se describen a continuación:

- 1. Selección de material para reforestación:** dadas las características de la especie, se propone el establecimiento de rodales semilleros del *Agave cupreata* para mejorar la

calidad de semilla, lo que contribuye al mejoramiento genético de la misma en el estado de Guerrero.

2. **Preparación del terreno:** Con esta actividad se 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 escarificación del suelo.
3. **Densidad de reforestación:** la distancia promedio a la que debe estar separada una planta y otra es 3 m y 4 m entre líneas, con este método se obtendrá una densidad recomendada de 840 individuos por hectárea.
4. **Establecimiento de la reforestación:** se deben considerar prioritarias aquellas áreas con registro de poblaciones naturales de la especie. Al realizar el establecimiento de la reforestación durante un periodo de 10 años y que cada año se establezca una superficie adecuada de la plantación de *Agave cupreata*, para el onceavo año, la reforestación establecida en el primer año estará en la etapa de aprovechamiento y una vez aprovechada se podrá volver a establecer la reforestación y seguir con el ciclo de producción de materia prima, la superficie a establecer será de acuerdo con la capacidad de producción y elaboración del producto final.

## 5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

Los modelos de predicción presentados en este documento son ecuaciones alométricas que proporcionan estimaciones fiables de biomasa de *Agave cupreata*. 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: piña verde y penca verdes. Cada fracción se pesó en verde utilizando una báscula con una precisión de  $\pm 1$  g (Figura 5). 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 (piña verde, 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 5.** Muestreo realizado en el estado de Guerrero, A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Medición de cobertura, D) Separación de los componentes, E) Medición de la piña verde y F) Peso de la penca verde.

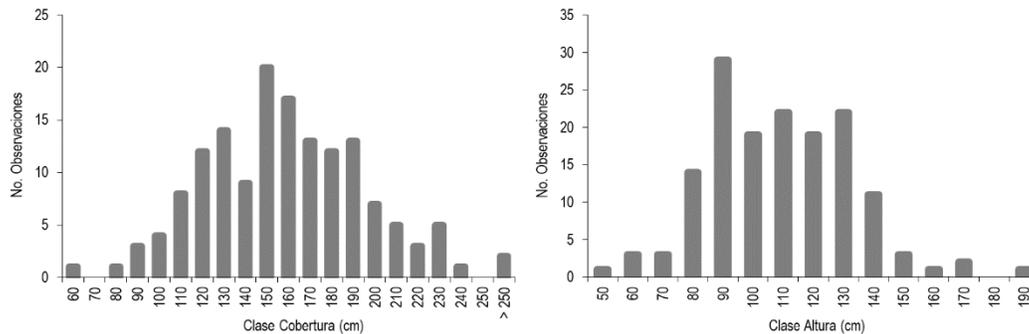
### 5.1. Ecuaciones alométricas para el estado

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas del componente de piña verde, penca verde y peso 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. En la Figura 6, 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 cupreata*, colectada en el estado.

Variable	No. Obs	Media	Std	Min.	Max.
<i>DC (cm)</i>	150	154.7	38.3	62.5	310.0
<i>H (cm)</i>	150	106.1	23.5	50.0	190.0
<i>Piña verde (kg)</i>	150	26.7	19.0	4.0	108.0
<i>Penca verde (kg)</i>	150	49.7	41.3	4.4	352.4
<i>Peso total (kg)</i>	150	76.4	58.5	8.4	460.4

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



**Figura 6.** 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 cupreata*, en el estado de Guerrero se muestra en los Cuadros 2 y 3.

**Cuadro 2.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso de la piña verde, la penca verde y peso total del *Agave cupreata* en el estado de Guerrero.

Componente	Modelo	No.
Piña verde	$W_c = b_0DC^2 + b_1H + b_2$	(1)
Penca verde	$W_l = b_3DC + b_4DC$	(2)
Pesto total	$W_t = b_0DC^2 + b_1H + b_2 + b_3DC + b_4DC$	(3)

Dónde:  $W_k$ = 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).

**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 piña verde, penca verde y peso total del *Agave cupreata* en el estado de Guerrero.

Componente	Parámetro	Estimación	Error estándar aprox.	t	Prob. Aprox >  t	R <sup>2</sup>	REMC (kg)
Piña verde	b <sub>0</sub>	0.000897	0.000079	11.4	<.0001	0.66	9.2114
	b <sub>1</sub>	0.120527	0.0369	3.26	<.0001		
	b <sub>2</sub>	-10.3084	3.2649	-3.2	<.0001		
Penca verde	b <sub>3</sub>	0.308681	0.0458	6.74	<.0001	0.63	17.0786
	b <sub>4</sub>	0.633424	0.0406	15.6	<.0001		
Peso total						0.69	23.9543

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 de la piña del *Agave cupreata* en el estado de Guerrero, se explica a continuación: supongamos que un agave tiene una altura (H) de 180 cm y una cobertura (DC) de 250 cm:

Información dasométrica:  $H=180\text{ cm}$ ;  $D= 250\text{ cm}$

Ecuación para estimar la biomasa verde de la piña:

$W_c = b_0DC^2 + b_1H + b_2$  , se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 3:

$$W_c = 0.000897(250)^2 + 0.120527 (180) + (-10.3084)$$

$W_c = 45.98\text{ kg}$  de biomasa de la piña verde, dadas las condiciones de la planta.

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

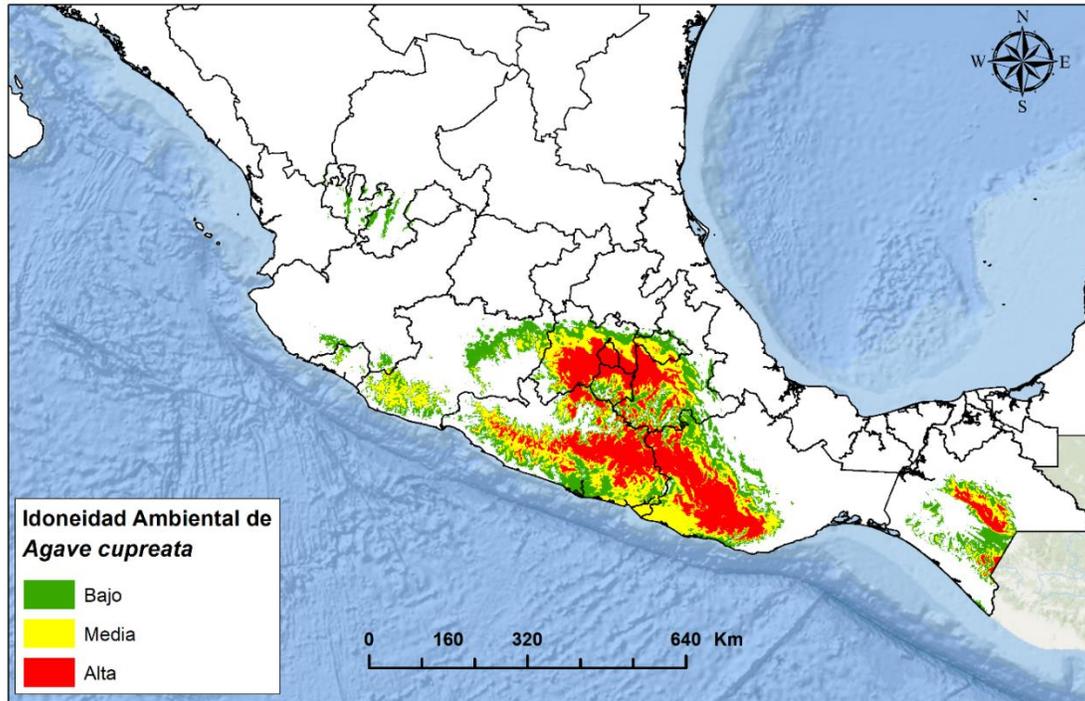
**Cuadro 4.** Municipios y predios en donde se llevó a cabo el muestreo en el estado de Guerrero.

Estado	Municipio	Predio
Guerrero	Ahuacuotzingo	Ejido Acateyahualco
		Ejido Pochutla
		Ejido Tecuanapa
	Mártir de Cuilapan	Ejido La Esperanza
		Ejido Hueyitlalpan
	Quechultenango	El Palmar O Barrio Nuevo
		Ejido Astatepec
		Jocutla
	Chilpancingo De Los Bravo	Ejido Tolixtlahuaca
		Ejido Palo Blanco
		Predio Particular "Los Sabinos"
	Eduardo Neri	Petaquillas
		Apango
		Tlanipatla
		Ejido axacualco
		Tlanipatla
		Ejido El Palmar O Barrio Nuevo
		Bienes Comunales de Huitziltepec
	Ejido Tlanipatla	
	Huitzuc de Los Figueroa	Bienes Comunales de Tuliman
Ejido Tecoaquilco		
Ejido Tuliman		
Copalillo	Ejido Copalillo	
Mártir de Cuilapan	Ejido Ayxcualco	
	Ejido Apango	
Tixtla de Guerrero	Ejido Almolonga	
	Ejido Omeapa	
	Ejido Plan de Guerrero	
Leonardo Bravo	Ejido Atlixnac	
	Chichihualco	
	Chichihualco	
		Ejido Atlixnac

## 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 o programas de reforestación del *Agave cupreata*. 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 7, muestra el mapa del área de distribución potencial de *Agave cupreata*, 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 7.** Clases de idoneidad ambiental para *Agave cupreata* generadas a partir de modelos de distribución potencial.

## 7. CONCLUSIONES

El *Agave cupreata* es una especie endémica del estado de Guerrero. Su importancia radica en la elaboración de mezcal en la entidad en su mayoría por destilerías artesanales. Sin embargo, sus poblaciones están diezmadas debido a que los individuos maduros se cosechan justo antes de su floración, cuando la concentración de azúcar está en su máximo, para producir mezcal. Es por ello, que la aplicación de las propuestas es de suma importancia para mejorar las condiciones de manejo y aprovechamiento de este recurso. Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave cupreata*, generadas por estado, constituyen una herramienta útil para estimar con precisión la biomasa verde de la especie en las autorizaciones del aprovechamiento, asegurando un menor sesgo en las estimaciones totales. El mapa de distribución potencial del *Agave cupreata*, 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. 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.
- Gadow, K. and Hui, G. 1999. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- 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.
- 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.
- Madrigal Collazo, A. 1994. Ordenación de montes arbolados.
- 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.

## 9. GLOSARIO

**Acahual:** Hierba alta y silvestre, de tallos algo gruesos, que suele cubrir los terrenos cultivados o los que están en barbecho.

**Capado:** Consiste en cortar el vástago floral a una altura menor a 1.5 metros, después de caparlo se deja en pie el agave por un tiempo no mayor a un año para que éste tenga una mayor concentración de azúcares en la piña o cabeza.

**Cogollera.** Herramienta que se utiliza para la extracción del cogollo de la lechuguilla.

**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.

**Hijuelos:** Son plantas que se desarrollan a partir del tallo principal de la planta madre, cada uno de ellos cuenta con su propio sistema radicular y características fenotípicas similares a las de la progenitora.

**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.

**Velilla:** Esta consiste en labrar o cortar el agave cuando llega a un punto que se le conoce como “velilla”, que es cuando alcanza su madurez de cosecha exacta, es decir, es cuando el agave se prepara para sacar el vástago.

## 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*