



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 salmiana* subsp.
crassispina Trel. ex L.H. Bailey Gentry,
en el estado de San Luis Potosí.**



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 *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., en el estado de San Luis Potosí. 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 del *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., por ser una fuente para la elaboración de bebidas alcohólicas del mezcal, este 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 salmiana subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., en el estado de San Luis Potosí”, 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 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 salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i> Trel. ex L.H. Bailey 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.....	24
5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA	27
5.1. Ecuaciones alométricas de biomasa	30
6. MAPA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE.....	36
7. CONCLUSIONES.....	39
8. BIBLIOGRAFÍA.....	40
9. GLOSARIO	43
10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	45

1. INTRODUCCIÓN

En el noreste de México, las especies forestales no maderables son fuente de ingresos económicos para pobladores de la región (Beltrán *et al.*, 2011) y el género *Agave* es una especie típica de estos ecosistemas, donde aproximadamente el 75 % de las especies son endémicas y algunas de ellas tienen relevancia antropogénica desde la época prehispánica (Parker *et al.*, 2010; Zizumbo-Villareal *et al.*, 2013). El *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., es una especie nativa, monocárpica; esta es la especie del género *Agave* con mayor distribución y la más abundante en el estado de San Luis Potosí; se desarrolla entre los 1800 y 2400 msnm (Trópicos, 2019). Las poblaciones se encuentran generalmente en pie de monte con ondulaciones moderadas y pendientes menores de 8% donde dominan sustratos aluviales (ígneo y sedimentario). Es elemento importante del matorral crasicaule y matorral micrófilo (Tello y García, 1988). Es una planta mediana a grande con un tallo pequeño y grueso, forman rosetas macizas de 1.5 a 2 m de alto con el doble de ancho; presenta hojas de 100-200 x 20-35 cm de amplitud, carnosas y macizas, verdes a grisáceas, profundamente convexas en la base, y cóncavas hacia arriba.

Actualmente este recurso forestal no maderable tiene una gran importancia socioeconómica y agroecológica, por los beneficios que trae a los pobladores del medio rural que se

dedican al aprovechamiento de esta especie en los municipios del suroeste de San Luis Potosí. Por tal razón, es de vital importancia que se apliquen prácticas de manejo que tiendan a promover un aprovechamiento sustentable y productivo de la especie.

2. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE

2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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 de una autorización de 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 salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry, se muestran en la Figura 1.

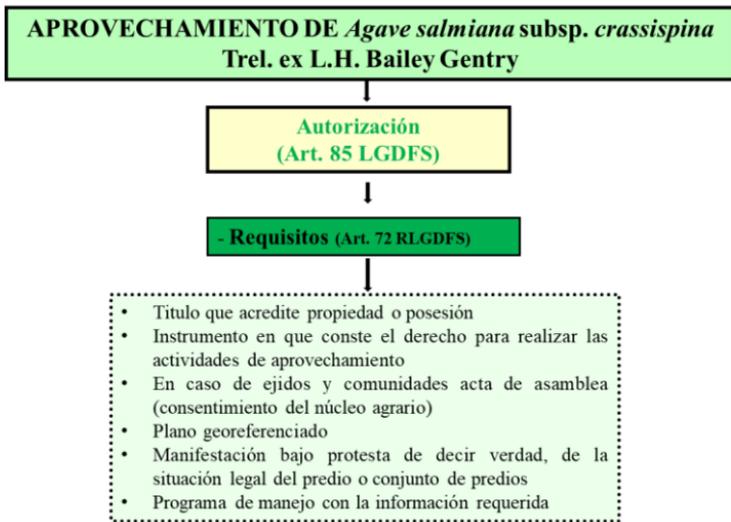


Figura 1. Requisitos para solicitar la autorización de aprovechamiento de *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry en México.

2.2. Leyes y Normas

Leyes vigentes

La legislación vigente que se describe a continuación regula el aprovechamiento del *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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</p>	<p>9, 10, 73, 116 y 119.</p>

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p>organización económica y social para el aprovechamiento de las tierras de uso común.</p>	
<p>Ley Federal de Procedimiento Administrativo (LFPA) 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 salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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 corteza, 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</p>

Apartado	Especificaciones
	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 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

Apartado	Especificaciones
	<p>(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 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 salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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 técnicas de muestreo, en este manual se recomienda

utilizar la siguiente metodología de muestreo para *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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 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^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 el tamaño del mismo 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 salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., en el estado de San Luis Potosí, 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 el 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

Actualmente se realiza un aprovechamiento intensivo sin repoblación. Al ser poblaciones naturales de las cuales se extrae el agave, las áreas de corta no se encuentran delimitadas con cercas y los hijuelos son consumidos o pisoteados por ganado. El problema radica en que la mayoría de los agaves se podan en su totalidad y por lo tanto no llegan a producir semilla. La escasa semilla que se produce es depredada por la fauna o no

encuentra microhábitat que permitan su germinación y establecimiento. Por lo que se propone fomentar la repoblación a partir de reforestaciones de la especie. La selección de hijuelos debe hacerse en febrero y marzo de cada año y ser extraídos en marzo y abril y almacenados por una semana. Al hacer la extracción, se debe procurar los hijuelos residuales esté escalonado de tamaños y distribuidos espacial en el rodal. Los hijuelos deben de provenir de plantas desarrolladas, sin daños y sin iniciar su fase reproductiva para evitar tener hijuelos débiles y con baja probabilidad de éxito al establecerlos. La reforestación con hijuelos preparados debe hacerse en mayo, antes del inicio de la temporada de lluvias. Por otro lado, no se tiene determinada una tasa de aprovechamiento de la especie en San Luis Potosí. Por lo que es necesario determinar la productividad de la especie por condición de crecimiento en el Estado.

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

Actualmente para extraer una piña por rodal al año ésta debe considerar al menos 16 plantas escalonadas en edad, mientras que si se extrae una cabeza cada dos años sólo se requieren ocho plantas mayores de 30 cm, bien distribuidas en 30 m². En el aprovechamiento *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry, se debe de considerar el tamaño de la

planta para la selección de individuos con mejores características aprovechables para la elaboración del mezcal, por lo que se recomienda la extracción de aquellos agaves de alturas de arriba de 1.50 m. Por otro lado, la temporalidad para aprovechar la planta debe de ser en otoño e invierno, ya que se reporta mayor peso de la piña.

4.3. Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales

Las formas de reproducción del *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., son por vía sexual y asexual. La primera se logra mediante las semillas y la segunda, a través de hijuelos que básicamente se consideran clones de la planta madre. Esto permite la distribución y permanencia de la especie en grandes extensiones, ya que es una especie altamente resistente a las sequías y se desarrolla en suelos calcáreos, delgados y tiene una gran capacidad de cosechar agua por sus hojas dispuestas en roseta. Sin embargo, el *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., sólo presenta una floración después de 8 a 12 años con una baja producción de semillas y baja capacidad para germinar (Illsley *et al.*, 2004; Arzate-Fernández y Mejía-Franco, 2011). Ante ello, algunos estudios señalan que es posible clonar masivamente plántulas de *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry. para producir semillas sintéticas con mayor capacidad de adaptación a las condiciones de campo a través de procedimientos como la apófisis y la multiplicación

in vitro de la especie, lo cual sería un tema de vanguardia si se utilizara para atender temas sobre repoblación de la especie en su área de distribución natural (Cervantes *et al.*, 2007; Arzate-Fernández *et al.*, 2016),

Los pasos a seguir para la reforestación con fines de enriquecimiento de rodales de *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., se describen a continuación:

- 1. Producción de planta.** La planta puede obtenerse de la propagación vegetativa a través de la producción de hijuelos de la planta madre, por lo que se recomienda el deshije de plántula y su posterior establecimiento en campo. El deshije se realiza en agaves con alturas menores a 50 cm, los cuales aún permanecen como agaves juveniles o chupones pegados a la planta madre a través de los rizomas. La segunda opción es la producción de planta en vivero a partir de la propagación por semilla. Para este procedimiento se recomienda seleccionar las mejores plantas para la colecta de semilla, a dicha semilla es importante dar tratamientos de estratificación con agua corriente por un periodo de 24 horas y posteriormente realizar la siembra de las semillas. La germinación de las semillas sucede aproximadamente 10 días posteriores a la siembra. Otro procedimiento, es a través de semillas somáticas utilizando la capacidad apomíctica de la

planta. Este procedimiento se realiza en laboratorio mediante el uso de soluciones nutritivas y siguiendo procedimientos de reproducción masiva. Tanto en la planta de reproducción por semilla o a través de procedimientos apomícticos, es necesario que la planta permanezca en el vivero con los cuidados necesarios de riego, fertilización y control de plagas y enfermedades, por un periodo mínimo de un año y posteriormente ser transportada al área de la plantación.

2. **Selección del sitio y establecimiento de la reforestación.** El sitio para el establecimiento de las reforestaciones, se recomiendan en terrenos abandonados al cultivo, en los que sea posible establecer obras como surcos o bordos a curvas de nivel en los cuales se establecerán cepas a una distancia aproximada de 1 a 1.5 metros, buscando una densidad de plantación aproximada de 4,000 a 5,000 plantas por hectárea.
3. **Labores culturales.** Es importante considerar que los procedimientos a seguir durante el desarrollo de la reforestación tienen que ver con el deshierbe, fertilización, control de plagas y control del fuego. Estas actividades se realizan por temporadas, buscando siempre la liberación de las plantas para que logren su desarrollo en el área de la reforestación.

5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

Los modelos de predicción presentados en este documento son ecuaciones alométricas que proporcionan estimaciones fiables de biomasa de *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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 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 verde y penca verdes. Cada fracción se pesó en verde utilizando una báscula con una precisión de ± 1 g (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 (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.

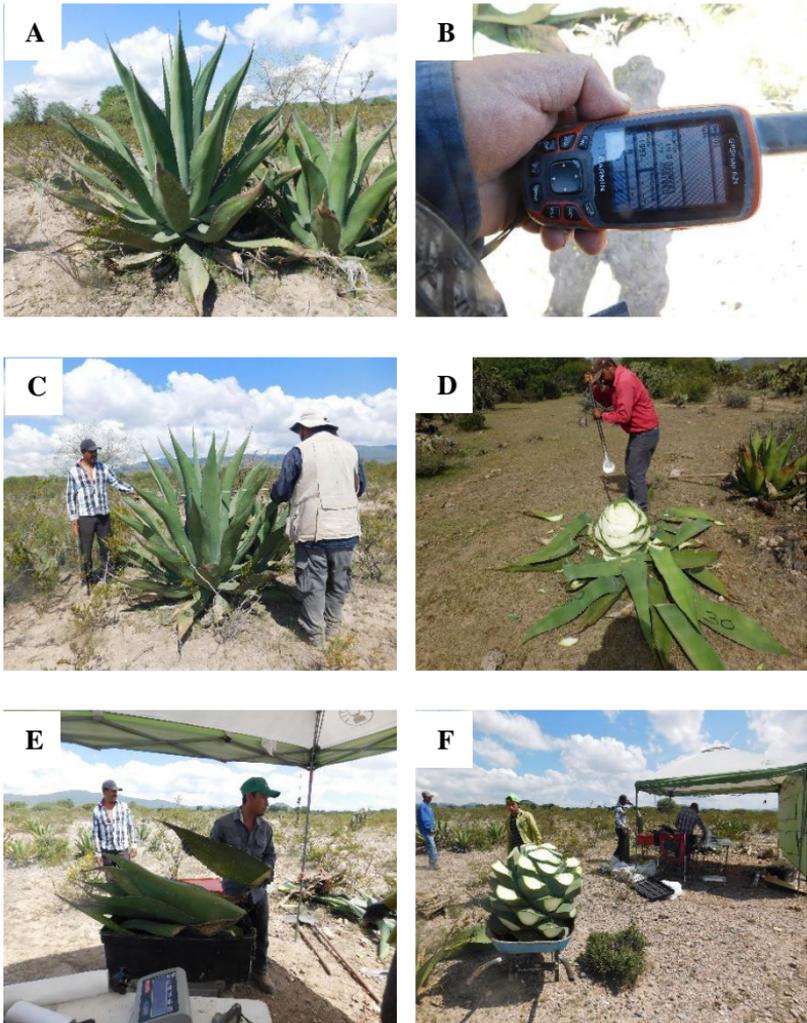


Figura 2. Muestreo realizado en el estado. A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Medición de cobertura, D) Separación de los componentes, E) Peso de los componentes y F) Traslado de la piña para su peso.

5.1. Ecuaciones alométricas de biomasa

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas de la 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 de San Luis Potosí. 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 *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry.

Variable	No. Obs	Media	Std	Min	Max
<i>D (cm)</i>	150	71.87	47.22	11.50	201.50
<i>H (cm)</i>	150	66.29	38.98	8.00	177.00
<i>Piña verde (kg)</i>	150	11.017	19.827	0.045	106.000
<i>Penca verde(kg)</i>	150	20.399	35.432	0.080	185.150
<i>Peso total (kg)</i>	150	31.416	53.921	0.125	269.300

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

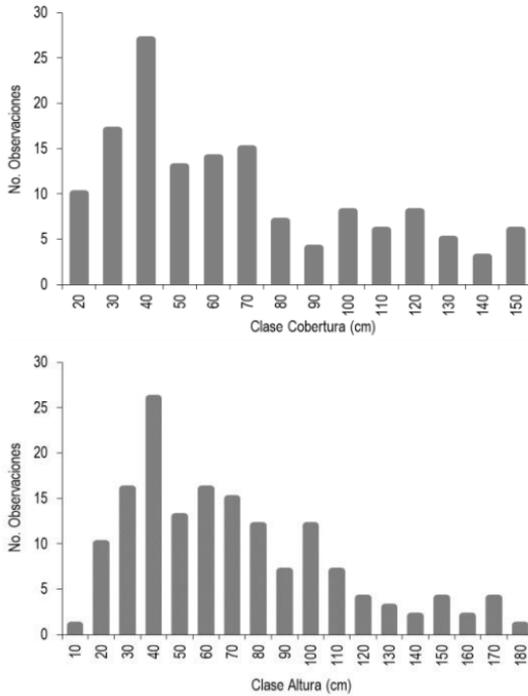


Figura 3. Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de San Luis Potosí.

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 salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., en el estado de San Luis Potosí, se muestra en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Resumen descriptivo de la muestra de *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., colectada en San Luis Potosí.

Componente	Modelo	No.
Piña verde	$W_c = b_0 H^2 * DC$	(1)
Penca verde	$W_l = b_1 H^2 * DC$	(2)
Total	$W_t = b_0 H^2 * DC + b_1 H^2 * DC$	(3)

Dónde: W_k = peso verde de los componentes o total (kg); b_j =parámetro j para la estimación de los pesos, D =diámetro de cobertura de cada planta (cm); H =altura total de cada planta (cm); ln = logaritmo natural; exp =exponente.

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 salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., en el estado de San Luis Potosí.

Componente	Parámetros	Estimación	Error estándar aprox.	t	Prob. Aprox. > t	R ²	REMC (kg)
Piña verde	b ₀	0.000015	3.40E-07	43.97	<.0001	0.8488	7.7258
Penca verde	b ₁	0.000029	7.62E-07	37.57	<.0001	0.9428	8.5599
Peso total						0.9475	12.5005

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 por componente (piña o penca verde) del agave en el estado de San Luis Potosí, sería como se explica a continuación. Supongamos que un sotol tiene una altura total (H) de 160 cm y una cobertura (D) de 210 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: $H=160\text{ cm}$; $D=210\text{ cm}$

Ecuación para estimar la biomasa verde de la piña:

$W_C = b_0 H^2 * DC$, se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 3;

$$W_C = 0.000015 * ((160)^2 * 210)$$

$W_C = 80.64\text{ kg}$; de biomasa de la piña verde dadas esas condiciones de la planta.

En el Cuadro 4, se muestra los predios en el estado de San Luis Potosí donde se llevó a cabo el muestreo.

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

Estado	Municipio	Predio
San Luis Potosí	Villa de Guadalupe	Ejido Santa Isabel
	Charcas	Ejido Elorza
	El Venado	La Trinidad
		Miguel Hidalgo

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 salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey

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 4 muestra el mapa del área de distribución potencial de *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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.

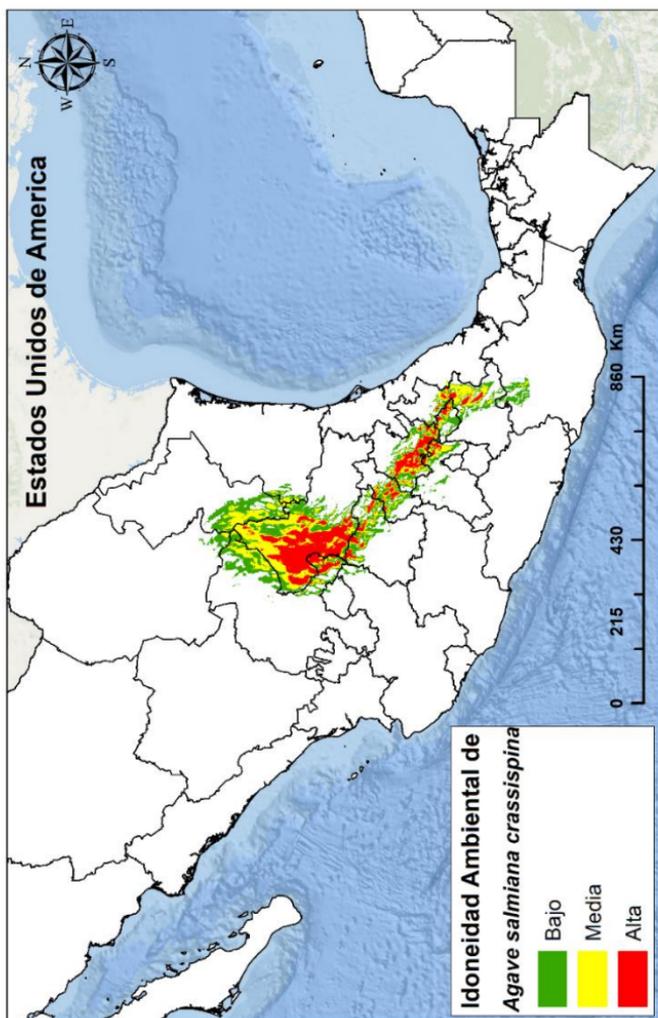


Figura 4. Clases de idoneidad ambiental para *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., generadas a partir de modelos de distribución potencial.

7. CONCLUSIONES

- La aplicación de la propuesta de mejores prácticas tiene la finalidad de mejorar las condiciones de manejo y aprovechamiento del *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., ya que han sido orientadas a obtener el máximo rendimiento mediante un sistema de manejo sustentable.
- El *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., se considera una especie de gran relevancia para la elaboración de mezcal.
- Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., generadas en el estado, constituyen una herramienta útil para estimar con precisión la biomasa verde de la especie en las autorizaciones de aprovechamiento, asegurando un menor sesgo en las estimaciones totales.
- El mapa de distribución potencial del *Agave salmiana subsp. crassispina* Trel. ex L.H. Bailey 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.
- Campos, H., C. Trejo, C. B. Peña-Valdivia, R. García-Nava, F. V. Conde-Martínez, M. R. Cruz-Ortega. 2014. Photosynthetic acclimation to drought stress in *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck seedlings is largely dependent on thermal dissipation and enhanced electron flux to photosystem I. *Photosynth Research* 122: 23-39.
- Castillo Q., D. y A. Cano P. 2006. Establecimiento y manejo de plantaciones comerciales de agave para la extracción de aguamiel en el sureste de Coahuila. Desplegable para productores Num. 6. INIFAP/ CIRNE/F. 46 p.
- Castillo Q., D., C. A. Berlanga R. y A. Cano P. 2005. Establecimiento y manejo de una plantación de lechuguilla. Campo Experimental, CIR-NORESTE. INIFAP. Desplegable para productores Núm 2. 2 p.
- Colpos, 2012. Identificación taxonómica de agaves (*Agave* spp.) utilizados para la elaboración del licor comiteco en Chiapas, México. *Agroproductividad* 5(4): 1-48.
- Gadow, K. and Hui, G. 1999. *Modelling forest development* (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- García M., A. J. 2007. Los agaves de México. *Revista Ciencias*, 87: 14-23.
- INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía; Nota técnica univariada. 17 p.
- Leal-Nares, O., M. E. Mendoza, D. Pérez, D. Geneletti, E. López y E. Carranza. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinezii*: 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.
- 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 S., M. 2005. Indicadores de índice de sustentabilidad para especies sujetas a aprovechamiento comercial: el caso de ecosistemas forestales. Tesis de Doctorado. Programa de Estudios de Posgrado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, B. C. S. México. 95 p.
- Martínez S., M., D. E. Hermosillo R., A. S. Mojica G. y J. A. Prieto A. 2015. Potencial productivo y zonificación para el uso y manejo de especies forestales de zonas áridas. Centro de Investigación Regional Norte-Centro, Sitio Experimental La Campana-Aldama. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Primera edición. Aldama, Chihuahua, México. 101 p.
- Morales C., N., J. C. Ledesma M., R. Ruiz G., C. Gallegos V., G. Esparza F. y F. J. Macías R. 2002. Aprovechamiento racional del agave (*Agave salmiana*) en San Martín, Pinos, Zacatecas. *Revista de Geografía Agrícola* 32: 75-94.
- Narváez S., A. U., T. Martínez S. y M. A. Jiménez V. 2016. El cultivo de agave pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales de altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*, 56: 33-44.
- Nieto A., R., J. Vargas M., J. C. Nieto A., A. Rodríguez O., V. M. Jiménez P., J. Hernández C. y M. Ortiz B. 2016. El cultivo del agave pulquero (*Agave salmiana*) en el valle del Mezquital. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. 55 p.
- Nobel, P. S. 1998. Los incomparables Agaves and cactos. Trillas. México. 211 p.

- Pérez R., A., A. Rodríguez O., J. C. Nieto A., J. Callejas H. y L. Portillo M. 2017. Comparación de dos sistemas de siembra de agave (*Agave salmiana*). Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. 71 p.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapired. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- 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

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 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.

Tresbolillo. Al tresbolillo, a tresbolillo o tresbolillo, es un sistema de plantación en que cada tres plantas forman un triángulo equilátero y que, como otros sistemas análogos, pueden trazarse sobre el terreno por medio de cuerdas determinando antes las distancias a que deben quedar las plantas entre sí.

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