



Fondo  
**CONACYT**  
**CONAFOR**



**UJED**  
Universidad Juárez  
del Estado de Durango



**CONAFOR**



**CONACYT**



**Mejores prácticas de manejo y ecuaciones  
alométricas de biomasa de *Agave lechuguilla*  
Torr., en los estados de Chihuahua, Coahuila,  
Durango, Nuevo León, San Luis Potosí,  
Tamaulipas y Zacatecas**



## 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 lechuguilla* Torr., en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. 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 lechuguilla* Torr. (Lechuguilla) por poseer propiedades de resistencia y maleabilidad en su principal producto conocido como ixtle (fibra). 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 lechuguilla* Torr., en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas”, 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 el aviso del aprovechamiento forestal no maderable del <i>Agave lechuguilla</i> Torr .....	8
2.2. Leyes y normas.....	10
3. INVENTARIO FORESTAL CON FINES DE MANEJO .....	16
3.1. Técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie.....	16
4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO.....	21
4.1. Mejoras en las técnicas de aprovechamiento de la especie.....	21
4.2. Mejoras en las técnicas de extracción y beneficio del producto final.....	24
4.3. Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales.....	30
4.4. Limpieza de las áreas de aprovechamiento.....	36
5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA .....	37
5.1. Ecuaciones por estado.....	44
6. MAPA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE .....	77
7. CONCLUSIONES.....	80
8. BIBLIOGRAFÍA.....	82
9. GLOSARIO .....	84
10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	86

## 1. INTRODUCCIÓN.

Las zonas áridas y semiáridas albergan una gran variedad de plantas y animales que juegan un papel muy importante en el bienestar de las personas que ahí residen (Rzedowski y Rzedowski, 1990). Una de las especies de interés social, ambiental y económico es la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), la cual es también conocida en el norte de México como ixtle y se considera una especie indicadora del Desierto Chihuahuense por ser endémica y tener una amplia distribución natural (Freeman, 1973; Berlanga *et al.*, 1992b).

Actualmente en México se emplean dos métodos de tallado, el método manual, donde, con ayuda de un tallador, banco de madera y un bolillo se logra separar la fibra del guishe, obteniendo la fibra o ixtle; mientras que el método de tallado mecánico es a base de un motor que hace girar un rodillo o tambor con clavos (Berlanga *et al.*, 1992b). En el desfibrado manual la calidad de la fibra es buena, ya que no presenta grumos de bagazo a diferencia de la tallada por máquina que presenta residuos y provoca manchas, lo cual es motivo de un menor precio, aunque se obtiene un mayor rendimiento (15 – 18 kg/h) con respecto al tallado manual (1.87 kg/h) (Mayorga-Hernández *et al.*, 2004; Rossel *et al.*, 2004).

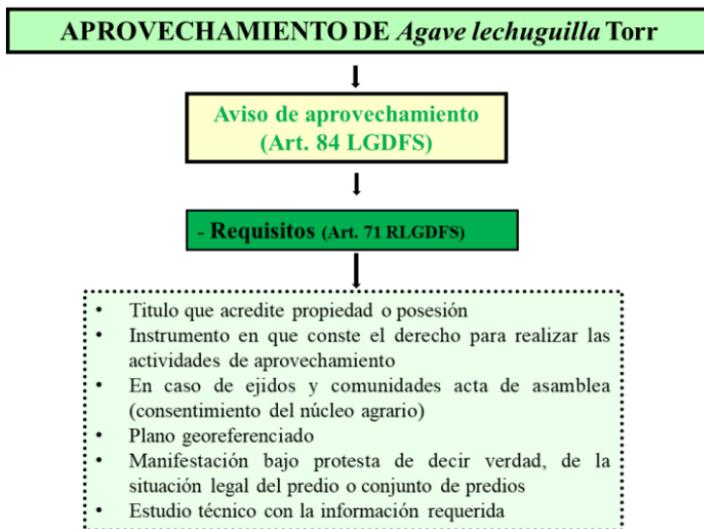
El *Agave lechuguilla* Torr., en algunas de regiones áridas y semiáridas ha sido considerado como la única fuente de recursos que tienen los habitantes para generar ingresos económicos para aproximadamente 52,000 familias (Berlanga *et al.*, 1992a; Pando-Moreno *et al.*, 2004; Hernández *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2011).

Por las razones antes plasmadas, es necesario encaminar la búsqueda de nuevas alternativas para la extracción de fibra y la manera de dar valor agregado a los productos elaborados con fibra de *Agave lechuguilla* Torr., que mejoren la calidad de vida de las personas que se dedican a su aprovechamiento en zonas áridas y semiáridas de México. Bajo este contexto, el objetivo del presente documento es proponer mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave lechuguilla* Torr., para los técnicos y productores de zonas áridas en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.

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

### 2.1. Procedimientos legales para el aviso del aprovechamiento forestal no maderable del *Agave lechuguilla* Torr

De acuerdo con el artículo 84 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2021), y el artículo 71 del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS, 2020), este recurso forestal no maderable requiere de un aviso de aprovechamiento, que deberá ser entregado a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), mediante un formato que contenga el nombre, denominación o razón social y domicilio del propietario o poseedor del predio o conjunto de predios y, en su caso, número de oficio de la autorización en materia de impacto ambiental. El procedimiento y requisitos para la obtención del código de identificación para el aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr., se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Requisitos que debe contener el aviso de aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr., en México.

## 2.2. Leyes y normas

### Leyes vigentes

La legislación vigente que se describe a continuación regula el aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr.

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

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p><b>Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Reglamento de la LGDFS)</b></p> <p>Menciona los procedimientos y requisitos para las autorizaciones y avisos de aprovechamientos no maderables ante la Secretaría, quien resolverá las solicitudes de conformidad con lo dispuesto en la LGDFS y el presente Reglamento.</p>	<p>1, 2, 4, 12, 14, 18, 27, 30, 32, 33, 34, 38, 62, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 98, 141, 164, 165 y 166.</p>
<p><b>Ley General de Vida Silvestre (LGVS)</b></p> <p>Legisla el aprovechamiento sustentable y conservación por parte de los propietarios de un predio, de la vida silvestre que se desarrolla libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como las especies domésticas que, al quedar fuera de control del hombre, se establecen en el hábitat natural.</p>	<p>1, 3, 18, 19, 56, 83, 84 y 97.</p>
<p><b>Ley Agraria</b></p> <p>Estos artículos hacen mención a la personalidad jurídica de los núcleos de población ejidales o ejidos. Así como su organización económica y social para el aprovechamiento de las tierras de uso común.</p>	<p>9, 10, 73, 116 y 119.</p>

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

## Normas vigentes

La Norma Oficial Mexicana vigente que se describe a continuación regula el aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr.

### NOM-008-SEMARNAT-1996

Norma Oficial Mexicana **NOM-008-SEMARNAT-1996** que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos.

Apartado	Especificaciones
Aprovechamiento	Para realizar el aprovechamiento de cogollos, el dueño o poseedor del predio correspondiente, deberá presentar una notificación por escrito ante la Delegación Federal o Secretaría en la entidad federativa correspondiente, misma que podrá ser anual o por un periodo máximo de 5 años.
	El aprovechamiento de cogollos quedará sujeto a los siguientes criterios y especificaciones técnicas: <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="433 1155 919 1270">I. Sólo se podrán aprovechar plantas en la etapa de madurez de cosecha.</li> <li data-bbox="433 1286 919 1362">II. Deberá distribuirse uniformemente en el área de</li> </ol>

Apartado	Especificaciones
	<p>aprovechamiento sin intervenir, como mínimo el 20% de las plantas en etapa de madurez de cosecha, para propiciar la regeneración por semillas.</p> <p>IV. Para el aprovechamiento de lechuguilla, la madurez de cosecha se identificará por la longitud de cogollo, que debe ser mínimo de 25 cm y,</p> <p>V. Para el corte del cogollo se deberá utilizar la herramienta adecuada (cogollera), evitando dañar la zona de crecimiento terminal y los hijuelos.</p> <p>Cuando se aprovechen cogollos de plantas con características diferentes a las mencionadas en los puntos anteriores, el responsable técnico establecerá los criterios y especificaciones técnicas en la notificación respectiva.</p>

Apartado	Especificaciones
Del almacenamiento	<p>Los responsables de los centros de almacenamiento de cogollos e ixtles, 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 Federal de la Secretaría en la entidad federativa correspondiente, sobre las entradas y salidas del producto durante el trimestre inmediato anterior.</li> </ol>
Transporte	<p>El transporte de cogollos e ixtles, 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.</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 estudios técnicos 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.

Para el inventario de *Agave lechuguilla* Torr., 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.

Por múltiples circunstancias, las técnicas de muestreo de *Agave lechuguilla* Torr., difieren entre estados, utilizándose principalmente el muestreo sistemático con una malla de puntos equidistantes a nivel predial o de unidad mínima de manejo y el muestreo con cuadrantes del punto central (Berlanga *et al.*, 1992).

Por la forma de crecimiento de los individuos y la aplicabilidad que representa el muestreo sistemático en la evaluación de especies de zonas áridas y semiáridas, al representar menor costo y ser el de menor grado de dificultad comparado con el resto de técnicas de muestreo, en este manual se recomienda utilizar la siguiente metodología de muestreo para *Agave lechuguilla* Torr.:

- 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  $500 \text{ m}^2$  (radio = 12.6157 m) o de  $1000 \text{ m}^2$  (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 ( $D_{NS}$ , cm) y Diámetro de cobertura Este-Oeste ( $D_{EO}$ , 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).

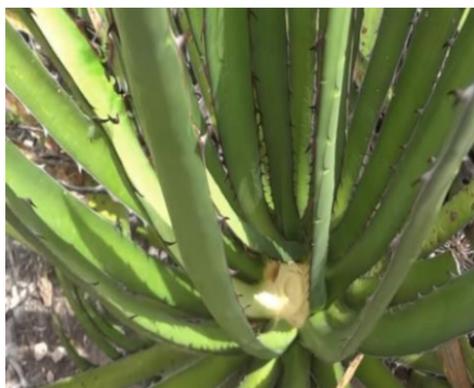
## 4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO

La siguiente propuesta de mejores prácticas se realizó con base en el diagnóstico de cómo se aprovecha actualmente de manera sustentable la especie *Agave lechuguilla* Torr., en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Zacatecas 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”. Representan un planteamiento de 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

El proceso actual de aprovechamiento de las plantas de *Agave lechuguilla* Torr., implica la cosecha del cogollo pues contiene la fibra de mayor calidad y por lo tanto de mejor precio. Bajo esta forma de aprovechamiento, la planta permanece intacta en el resto de sus estructuras vegetativas (hojas) y permite prolongar su vida, y a su vez realizar más ciclos de corta (Figura 2). Las técnicas de aprovechamiento del cogollo,

deberán ajustarse a lo estipulado en la NOM-008-SEMARNAT-1996, la cual especifica que el criterio utilizado para seleccionar las plantas en la etapa de madurez de cosecha es la altura, por tanto, deberán ser aprovechadas aquellas que alcancen una altura mínima de 25 cm, lo que permite un incremento en el rendimiento y facilita el manejo del cogollo (durante la etapa de desfibrado). Por otro lado, también se especifica que se puede aprovechar el cogollo de hasta el 80% de las plantas existentes en etapa de madurez en el predio; aunque en el presente documento recomendamos aprovechar un 60% con el objetivo de conservar la estabilidad estructural de la población en lo referente a la regeneración.



**Figura 2.** Planta de *Agave lechuguilla* Torr., después del aprovechamiento del cogollo.

Actividades complementarias durante el aprovechamiento que permiten maximizar el uso del recurso y contribuyen a lograr la sostenibilidad:

- Delimitar las áreas de aprovechamiento en base a su rodalización y realizar el cultivo mediante intervenciones intermitentes (un año de aprovechamiento y un año de descanso) para garantizar la regeneración del cogollo en las plantas de *Agave lechuguilla* Torr aprovechadas.
- Que las áreas reforestadas de *Agave lechuguilla* Torr., sean cercadas y permanezcan así durante dos o tres años, con la finalidad de excluirlas del pastoreo y ramoneo que en su caso pudieran perjudicar y reducir la sobrevivencia de la planta.
- Definir en el estudio técnico un plan de contingencia para las áreas de aprovechamiento y aquellas con plantación de la especie, en caso de que se presente un incendio o el ataque de alguna plaga o enfermedad que cause daño a la población.
- Separar un área especial para elaboración de composta a partir de los residuos del tallado (guishe).
- Realizar obras de conservación de suelo y agua para fomentar la regeneración de las especies, captura y retención de agua y la infiltración de suelos.
- Generar esquemas de evaluación y monitoreo del aprovechamiento de las poblaciones naturales de *Agave lechuguilla* Torr., incluyendo desde la etapa de

regeneración (hijuelos) hasta llegar a su etapa de madurez, con la finalidad de evaluar y registrar el cumplimiento de las especificaciones y criterios de la NOM-008-SEMARNAT-1996. Otro punto importante es monitorear el tiempo que la planta necesita para su recuperación después de extraer su cogollo. En condiciones silvestres, este periodo oscila entre 14 y 22 meses, según la temperatura y precipitación (Narcia *et al.*, 2012).

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

Actualmente, en algunos lugares los métodos de extracción de fibra de *Agave lechuguilla* Torr., continúan siendo rudimentarios, siendo prácticamente de forma manual y los mismos que se han utilizado desde las primeras generaciones (Figuras 3, 4 y 5). Por lo que en este documento se recomienda el uso de las talladoras mecánicas de motor eléctrico convencional que se han usado recientemente (Figura 6), con la finalidad de mejorar la eficiencia de la extracción y el beneficio del producto final. Los productos independientemente del método de extracción del cogollo son los mismos: estropajos, sogas, cepillos, entre otros artículos.

También se recomienda utilizar los residuos (pulpa) que queda después de extraer la fibra del cogollo para los cuales se ha reportado que contiene altas concentraciones de compuestos fenólicos con actividad antioxidante. La pulpa también se ha

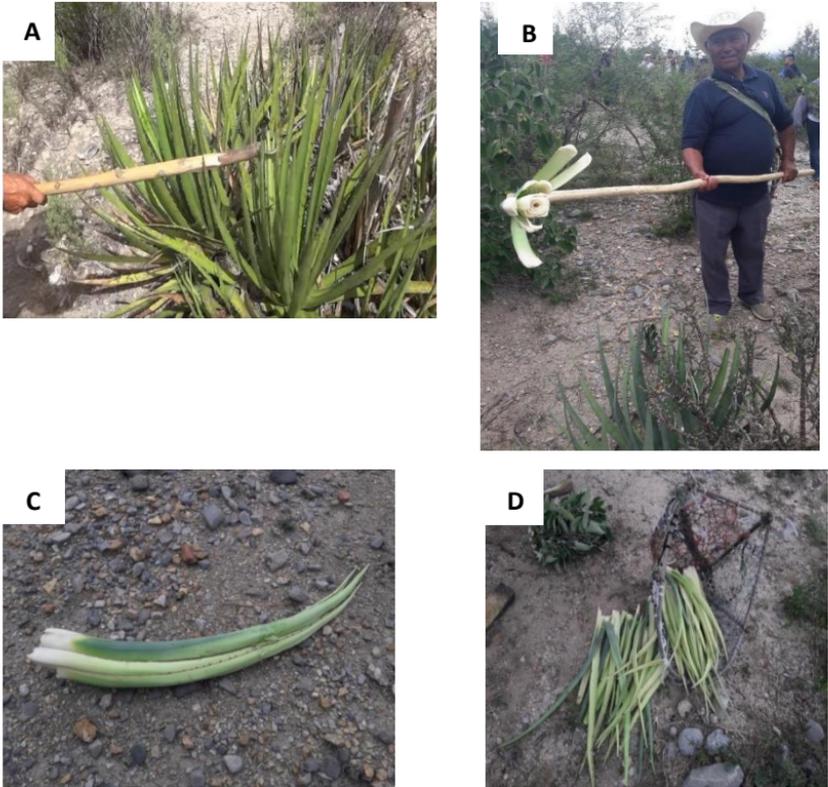
utilizado para la elaboración de jabones. Algunas investigaciones reportan el potencial que tiene la fibra de *Agave lechuguilla* Torr., al mezclarse con resinas sintéticas, la fabricación de muebles, cordeles, relleno de muebles para automóviles, entre otros (Rössel *et al.*, 2003).

Actividades complementarias para mejorar la extracción y beneficio del producto final:

- Capacitación técnica en el uso de las máquinas para tallar el *Agave lechuguilla* Torr., ya que demandan menor esfuerzo físico, aumenta la producción y por consiguiente aumentan los ingresos económicos en menor tiempo.
- Recolectar solo el cogollo de la planta y no la planta completa, con el fin de garantizar la regeneración natural (Figura 4).
- Formalizar la conformación de grupos de trabajo para que los procesos de extracción y comercialización se realicen de forma organizada y eficiente.
- Recolectar los residuos y someterlos a un proceso manual de desfibrado con el objetivo de eliminar las partes de hoja no removidas
- Diseñar tambores desfibradores dotados de navajas (clavos o tornillos afilados a lo largo), una vez que se logre incrementar la eficiencia del proceso de desfibrado de cogollos es posible dar un valor agregado a la fibra seca de *Agave lechuguilla* Torr.



**Figura 3.** A) Cogollera y huajaca utilizado en la recolección de cogollos de *Agave lechuguilla* Torr. B) Herramienta para el tallado manual de los cogollos.



**Figura 4.** A) Extracción del cogollo con la cogollera. B) Cogollo extraído de la planta. C) Cogollo completo. D) Recolecta de cogollos.



**Figura 5.** A) Tallado manual de la fibra. B) Fibra o ixtle de *Agave lechuguilla* Torr., producto del tallado manual



**Figura 6.** A) Tallado mecánico de los cogollos. B) Fibra o ixtle de *Agave lechuguilla* Torr., producto del tallado mecánico.

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

El *Agave lechuguilla* Torr., puede desarrollarse en condiciones críticas de temporal, permitiendo que se recuperen las áreas lechuguilleras de mayor producción y parcelas de cultivo abandonadas. Por su naturaleza xerofita, las pequeñas plantas de *Agave lechuguilla* Torr., pueden sobrevivir hasta varios meses sin estar enterradas y por lo tanto sin recibir agua (Castillo *et al.*, 2012). Así, se recomienda, fomentar la reforestación de la especie usando los hijuelos (reproducción vegetativa) con el propósito de incrementar el número de individuos en las áreas bajo aprovechamiento. El *Agave lechuguilla* Torr., se reproduce principalmente de manera asexual a través de los rizomas, lo cual ayuda a recolonizar el terreno en pocos años. La propagación sexual no es muy exitosa, pues la escasez de semilla y su baja viabilidad se deben a las pobres condiciones de humedad en el suelo (sequía) donde esta especie se distribuye. Al realizar reforestaciones de *Agave lechuguilla* Torr., se logra reducir la presión en ciertas zonas, reduciendo también el tiempo de colecta y transporte, además de incrementar la cosecha.

Para el establecimiento de reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales de *Agave lechuguilla* Torr., se ha realizado una serie de recomendaciones prácticas que aseguran un mejor resultado de las mismas y que pueden ser aplicadas en cualquier condición favorable de la especie (Castillo *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2012), por lo que, se recomienda su uso,

seguimiento y aplicación de acuerdo con los mapas de distribución potencial mostrados en el presente documento, que indican los lugares con mayor idoneidad climática para el desarrollo de la especie. Estos lugares poseen suelos regularmente poco profundos, lomeríos pedregosos con pendientes suaves o bien suelos planos ligeramente pedregosos con buenas condiciones de drenaje y libres de salinidad (Cuadro 1). Los pasos a seguir para la reforestación con fines de enriquecimiento de rodales de *Agave lechuguilla* Torr., se describen a continuación:

- 1. Selección de material para la reforestación:** para lograr que la planta sobreviva en campo, se recomienda extraer los hijuelos de los majuelos con buenas características fenotípicas del área de aprovechamiento, asegurando así la resistencia en el trasplante. Los hijuelos a seleccionar deben ser aquellos que provengan de plantas que presenten cogollos rectos, que su altura sea mayor a 25 cm, que hayan sido aprovechadas con anterioridad; es decir, que sean plantas caponas o capón apuntaladas, que regularmente son las que presentan mayor producción y calidad de fibra. Los hijuelos y su majuelo deben estar libres de plagas y enfermedades, factor importante en su sobrevivencia. Para la colecta de hijuelos es importante contar con la opinión de los recolectores de fibra, ellos poseen experiencia para seleccionar las plantas con las mejores características, ya que año con año colectan los cogollos. La mayoría

de las veces, los productores son capaces de identificar visualmente las plantas con buenas características; evitando colectar hijuelos con fibra quebradiza y con menor peso, lo que a la larga provocarían un bajo rendimiento y baja calidad de la fibra en la plantación.

2. **Colecta de los hijuelos:** los hijuelos deben ser colectados de dos a tres días antes de realizar la reforestación con ayuda de un talacho o pico, cuidando dañar lo menos posible las raíces del hijuelo y plantas aledañas. Una vez extraídos los hijuelos deben permanecer de 24 a 36 horas en el terreno de plantación lo que ayudará a la cicatrización de raíces. El cuidado en el transporte de la planta es de vital importancia por lo que se debe cuidar no romper o mutilar su estructura. Este método presenta ventajas en cuanto a la resistencia al trasplante y a la velocidad de desarrollo inicial de la planta; la implementación de este método asegura el éxito en una reforestación de *Agave lechuguilla* Torr., siempre y cuando se seleccionen hijuelos con buena forma de la planta, con cogollo recto, libre de plagas o enfermedades y con excelente vigor (Berlanga *et al.*, 1992).
3. **Preparación del terreno:** la preparación del terreno asegura una gran parte del éxito esperado en el establecimiento de la reforestación por lo que se recomienda: sí el lugar de establecimiento fuera inclinado o presentara pendientes ligeras, realizar la reforestación en línea a una zanja bordo con terraza

individual, realizar cajete o media luna opuesta a la pendiente con el fin de asegurar la captación de agua. Si el lugar de establecimiento fuera casi plano se recomienda realizar obras de subsoleo 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 0.50 m y 1 m entre líneas, con este método se obtendrá una densidad recomendada de 20,000 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. **Desahije:** 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 (Figura 7). Se

recomienda retirar los hijuelos y usarlos para reposición de planta fallida dentro de la misma área reforestada.

**Cuadro 1.** Características deseables para los sitios destinados a establecimiento de reforestaciones con fines de enriquecimiento de *Agave lechuguilla* Torr.

Tipo de suelo	Tipo de terreno	Pendiente (%)	Temperatura Media Anual (°C)	Altitud (msnm)	Precipitación Anual (mm)
Pedregosos	Lomeríos Laderas de cerros	8-15	16-26	950-1900	200-500



**Figura 7.** Hijuelos de *Agave lechuguilla* Torr.

#### 4.4. Limpieza de las áreas de aprovechamiento

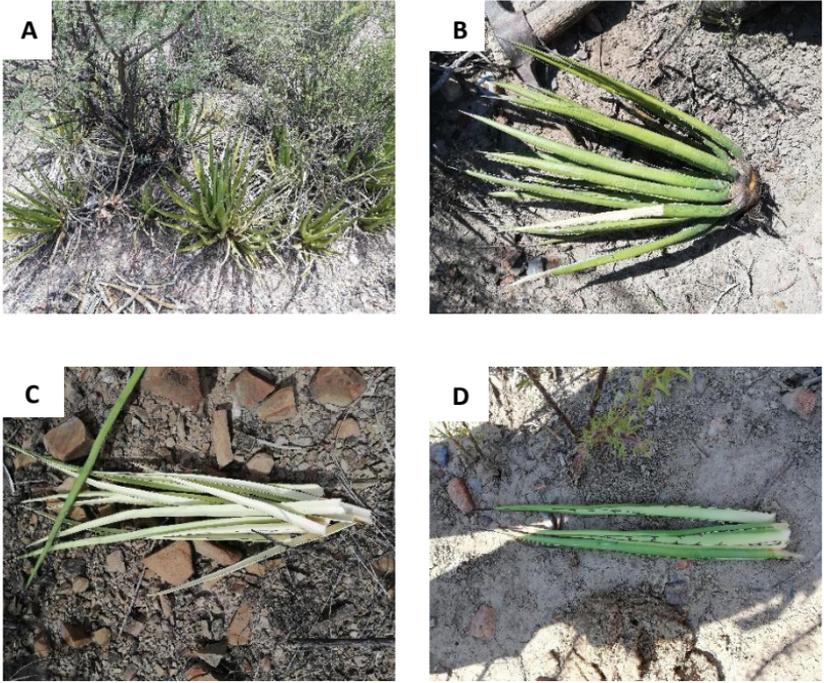
Las actividades del aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr., generan residuos en las áreas de extracción, como envases de plástico o de vidrio, metal, fibras no degradables, lubricantes, gasolina y grasas. Estos materiales son contaminantes que no son parte del bosque, por lo que no deben ser dejados en las áreas de aprovechamiento una vez concluidas las actividades de cosecha o de tallado. Por tanto, se recomienda mantener los campamentos y las áreas de aprovechamiento libres de desechos, residuos y basura de cualquier tipo, a través del uso contenedores para su almacenamiento, los cuales de preferencia deberán estar etiquetados según la naturaleza de la basura como papeles y cartones, vidrios, plásticos, líquidos, piezas mecánicas, entre otras. Dichos residuos deberán ser después trasladados a instalaciones finales de depósito y manejo como los rellenos sanitarios. La realización de esta práctica permitirá ofrecer un hábitat de calidad para especies de flora y fauna dentro de las áreas de aprovechamiento y evitar riesgos de incendios o de muerte de animales por el consumo de residuos tóxicos.

## 5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

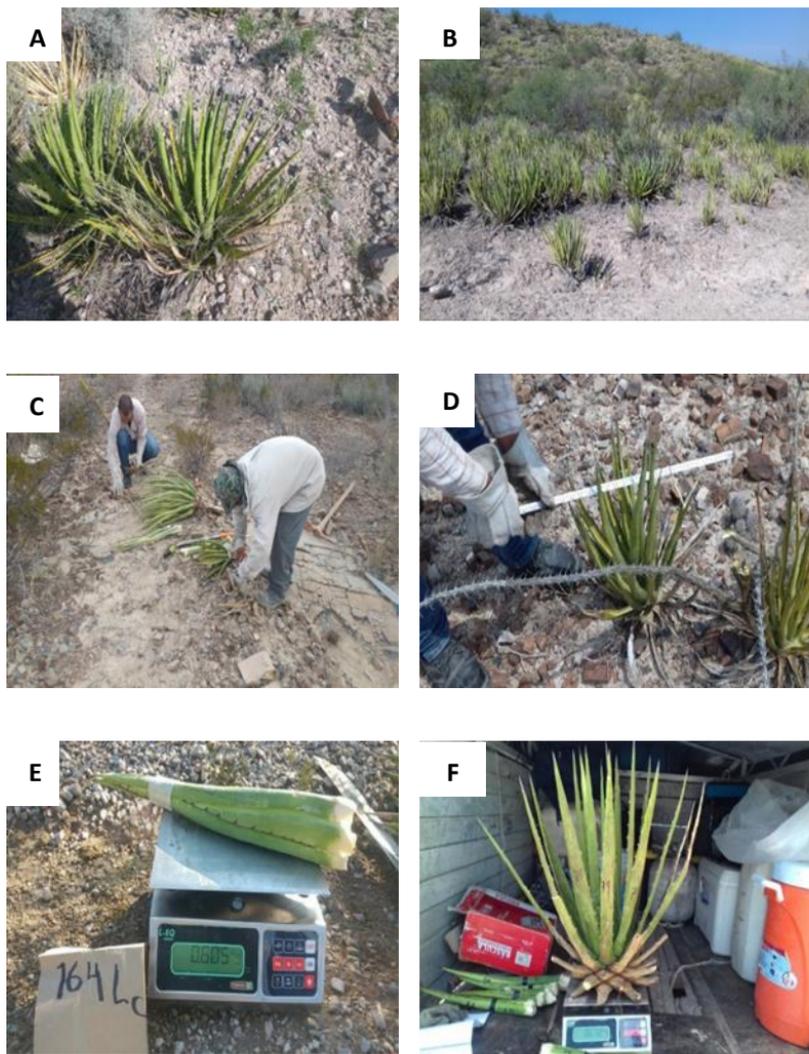
Los modelos de predicción presentados en este documento son ecuaciones alométricas que proporcionan estimaciones fiables de biomasa de *Agave lechuguilla* Torr. Representan una herramienta útil para la gestión forestal, ya que permiten la estimación de la biomasa total en kilogramos o por fracciones (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 por estado (un total de 1050 individuos por los siete estados), 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  $\pm 1$  g (ver Figuras 8-12). Para el desarrollo de las ecuaciones se probaron diferentes combinaciones de variables predictivas o

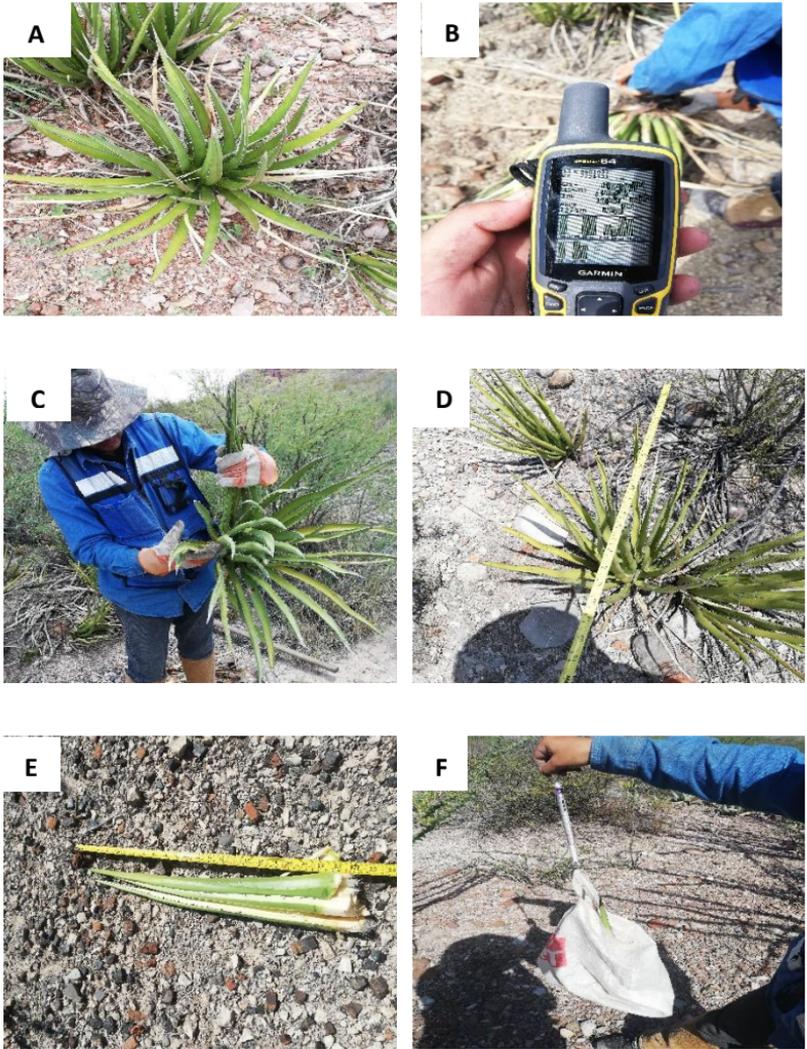
independientes (diámetro de cobertura (DC) y altura (H)). Se ajustaron diferentes modelos lineales y no lineales por el método mínimos cuadrados empleando el procedimiento MODEL del programa SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2009); y el método iterativo de Gauss-Newton. Posteriormente, se seleccionaron 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 8.** Muestreo realizado en el estado de Chihuahua. A) Planta completa de *Agave lechuguilla* Torr., muestreada, B) Planta completa extraída, C) Pencas verdes y D) Cogollo verde.



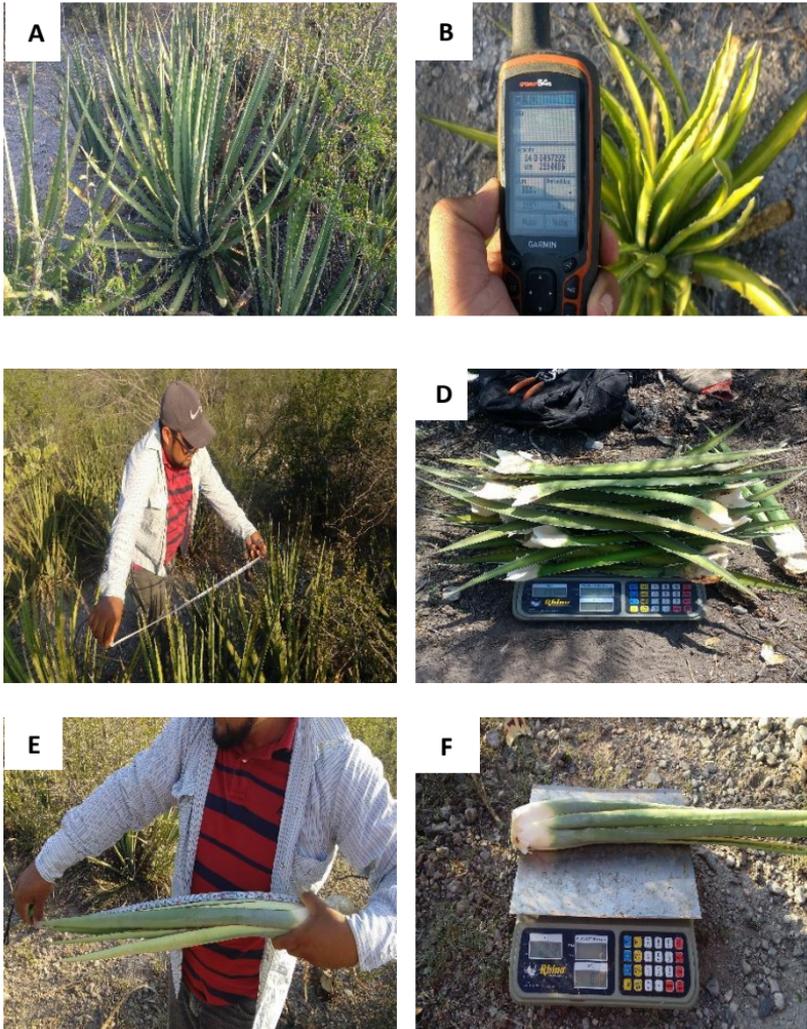
**Figura 9.** Muestreo realizado en el estado de Coahuila, San Luis Potosí y Zacatecas. A) Planta completa muestreada, B) Planta completa con hijuelos, C) Extracción de la planta, D) Medición de cobertura, E) Peso y etiquetado del cogollo verde y F) Peso total de la planta



**Figura 10.** Muestreo realizado en el estado de Durango. A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Separación de las pencas verdes, D) Medición de cobertura, E) Medición del cogollo y F) Peso de las pencas verdes.



**Figura 11.** Muestreo realizado en el estado de Nuevo León. A) Separación de los componentes, B) Ubicación de la planta, C) Captura de información, D) Medición de las pencas verdes, E) Peso pencas secas y F) Toma de muestra para secado.



**Figura 12.** Muestreo realizado en el estado de Tamaulipas. A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Medición de cobertura, D) Peso pencas verdes, E) Medición de la longitud del cogollo y F) Peso del cogollo.

## 5.1. Ecuaciones por estado

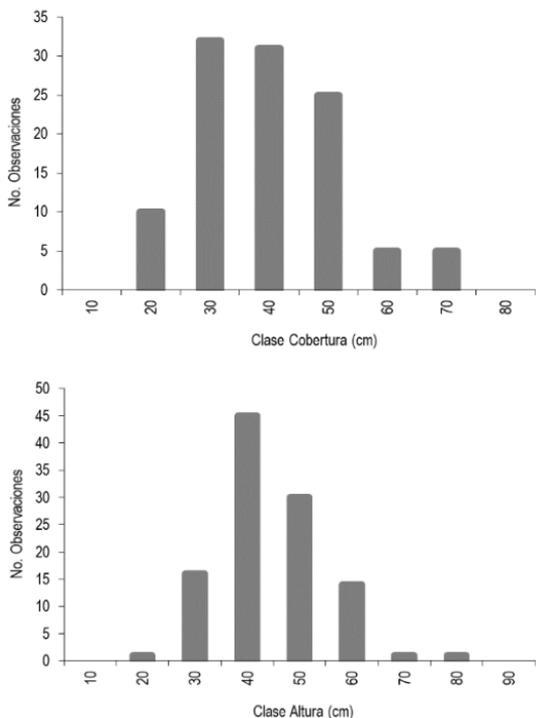
### Para el estado de Chihuahua

En el Cuadro 2, se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo 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 Chihuahua. En la Figura 13, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas.

**Cuadro 2.** Resumen descriptivo de la muestra de *Agave lechuguilla* Torr., colectada en el estado de Chihuahua.

Variable	No. Obs	Media	Std	Min.	Max.
<i>DC (cm)</i>	150	34.77	11.54	14.50	63.00
<i>H (cm)</i>	150	40.16	10.16	20.00	75.00
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	0.16	0.09	0.03	0.43
<i>Penca verde (kg)</i>	150	1.18	0.83	0.14	4.50
<i>Peso total (kg)</i>	150	1.34	0.91	0.20	4.75

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



**Figura 13.** Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Chihuahua.

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 lechuguilla* Torr., en el estado de Chihuahua se muestra en los Cuadros 3 y 4.

**Cuadro 3.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Chihuahua.

Componente	Modelo	No.
Cogollo 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)

Donde:  $W_i$ = peso verde de los componentes o total (kg),  $b_j$ =parámetro  $j$  para la estimación de los pesos,  $DC$ =diámetro de cobertura de cada planta (cm),  $H$ =altura total de cada planta (cm),  $\exp$ =exponente,  $\ln$ =logaritmo natural.

**Cuadro 4.** 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 lechuguilla* Torr., en el estado de Chihuahua.

Componente	Parámetro	Estimación	Error estándar	t	Prob.	
					Aprox	R <sup>2</sup>
Cogollo verde	b <sub>0</sub>	-7.62615	0.1903	-40	<.0001	0.67
	b <sub>1</sub>	0.794758	0.0252	31.5	<.0001	0.11
Penca verde	b <sub>2</sub>	-7.96499	0.4190	-19	<.0001	0.75
	b <sub>3</sub>	1.109772	0.0565	19.6	<.0001	15.81
Peso total						0.69
						0.51

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

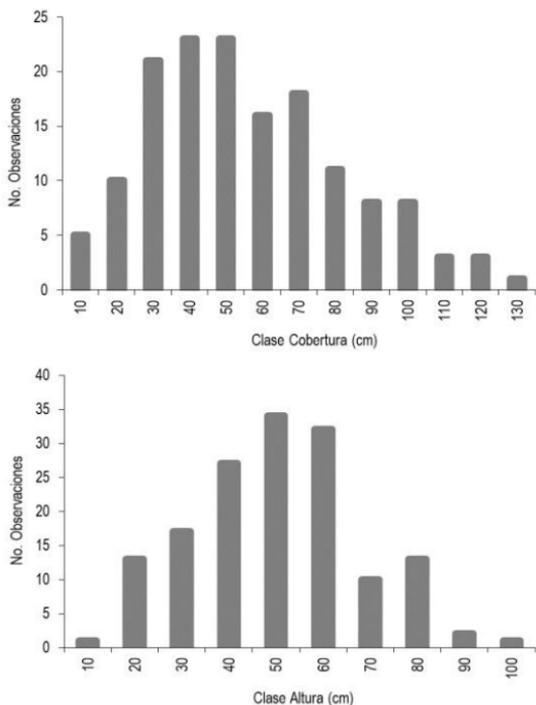
## Para el estado de Coahuila

En el Cuadro 5 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo 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 Coahuila. En la Figura 14, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas

**Cuadro 5.** Resumen descriptivo de la muestra de *Agave lechuguilla* Torr., colectada en el estado de Coahuila.

<b>Variable</b>	<b>No. Obs</b>	<b>Media</b>	<b>Std.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
<i>DC (cm)</i>	150	50.63	26.88	4.10	128.50
<i>H (cm)</i>	150	45.19	17.43	6.50	95.00
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	0.21	0.17	0.01	0.76
<i>Penca verde (kg)</i>	150	1.41	1.52	0.01	8.86
<i>Peso total (kg)</i>	150	1.62	1.67	0.03	9.61

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



**Figura 14.** Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Coahuila.

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 lechuguilla* Torr., en el estado de Coahuila se muestra en los Cuadros 6 y 7.

**Cuadro 6.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Coahuila.

<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>No.</b>
Cogollo 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)

Donde:  $W_k$ = 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),  $\exp$ =exponente,  $\ln$ =logaritmo natural.

**Cuadro 7.** 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 lechuguilla* Torr., en el estado de Coahuila.

Componente	Parámetro	Estimación	Error		Prob.	R <sup>2</sup>	REMC (kg)
			estándar aprox.	t			
Cogollo verde	b <sub>0</sub>	-8.76628	0.3812	-22.99	<.0001	0.81	0.07
	b <sub>1</sub>	0.915276	0.0447	20.45	<.0001		
	b <sub>2</sub>	-8.98988	0.6629	-13.56	<.0001	0.72	0.80
Peso total	b <sub>3</sub>	1.17351	0.0768	15.29	<.0001		
						0.75	0.84

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

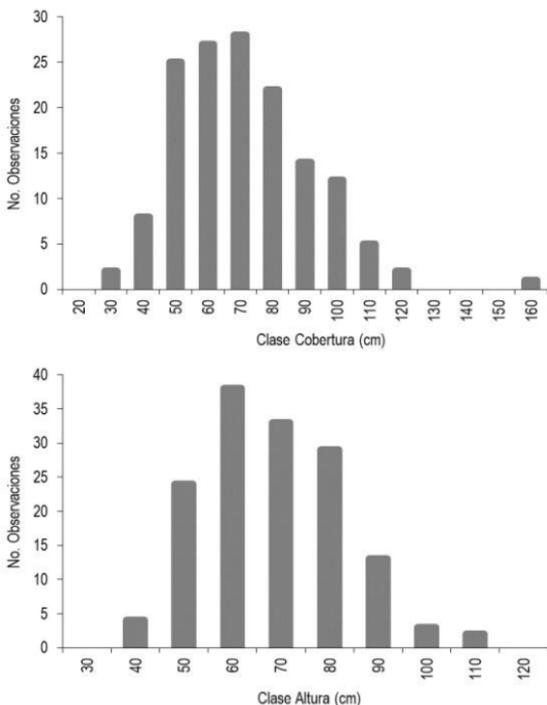
## Para el estado de Durango

En el Cuadro 8 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo 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 Durango. En la Figura 15, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas.

**Cuadro 8.** Resumen descriptivo de la muestra de *Agave lechuguilla* Torr., colectada en el estado de Durango.

Variable	No. Obs	Media	Std	Min.	Max.
<i>DC (cm)</i>	150	65.25	21.44	17.50	151.00
<i>H cm)</i>	150	63.43	14.47	31.00	110.00
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	0.28	0.16	0.04	0.85
<i>Penca verde (kg)</i>	150	2.77	1.75	0.20	11.70
<i>Peso total (kg)</i>	150	3.02	1.84	0.15	12.35

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



**Figura 15.** Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Durango.

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 lechuguilla* Torr., en el estado de Durango se muestra en los Cuadros 9 y 10.

**Cuadro 9.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Durango.

<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>No.</b>
Cogollo verde	$W_c = b_0 + b_1 DC * H$	(1)
Penca verde	$W_l = b_2 DC^2 + b_3 H$	(2)
Peso total	$W_t = b_0 + b_1 DC * H + b_2 DC^2 + b_3 H$	(3)

Donde:  $W_k$ = 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 10.** 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 lechuguilla* Torr., en el estado de Durango.

Componente	Parámetro	Estimación	Error estándar aprox.	t	Prob.	
					Aprox	R <sup>2</sup> >  t
Cogollo verde	b <sub>0</sub>	0.08844	0.0151	5.84	<.0001	0.61
	b <sub>1</sub>	0.000039	3.17E-06	-6.4	<.0001	
Penca verde	b <sub>2</sub>	0.00374	3.50E-05	10.6	<.0001	0.91
	b <sub>3</sub>	0.014549	0.00311	4.68	<.0001	
Peso total						0.70

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

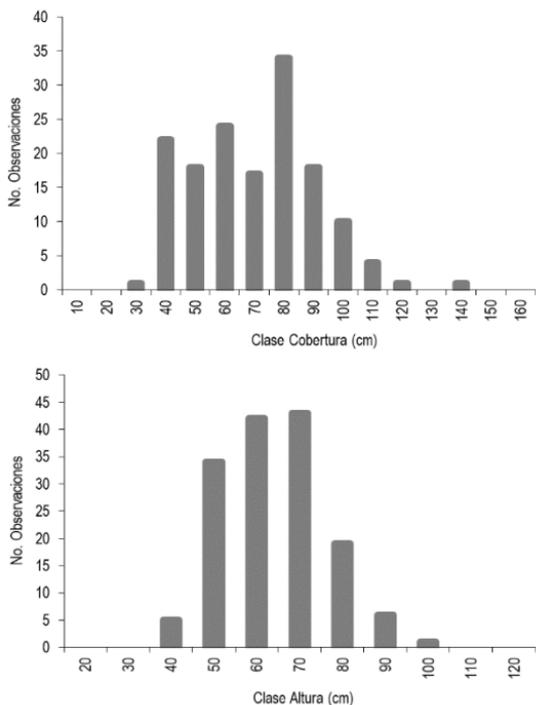
## Para el estado de Nuevo León.

En el Cuadro 11 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo 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 Nuevo León. En la Figura 16, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas.

**Cuadro 11.** Resumen descriptivo de la muestra de *Agave lechuguilla* Torr., para el estado de Nuevo León.

<b>Variable</b>	<b>No. Obs</b>	<b>Media</b>	<b>Std</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
<i>DC (cm)</i>	150	65.61	20.43	29.0	137.0
<i>H (cm)</i>	150	59.34	11.76	37.0	95.0
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	0.40	0.20	0.13	1.31
<i>Penca verde (kg)</i>	150	2.05	1.64	0.42	12.07
<i>Peso total (kg)</i>	150	2.46	1.77	0.56	13.02

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



**Figura 16.** Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Nuevo León.

Las expresiones matemáticas, la estimación de los parámetros y los estadísticos de ajuste de las ecuaciones alométricas aditivas desarrolladas para estimación de peso verde por componente y total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Nuevo León se muestra en los Cuadros 12 y 13.

**Cuadro 12.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Nuevo León.

<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>No.</b>
Cogollo verde	$W_c = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H))$	(1)
Penca verde	$W_l = b_2 D^2 + b_3 H$	(2)
Peso total	$W_t = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H)) + b_2 DC^2 + b_3 H$	(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),  $exp$ =exponente,  $ln$ =logaritmo natural.

**Cuadro 13.** 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 lechuguilla* Torr., en el estado de Nuevo León.

Componente	Parámetro	Estimación	Error estándar	t	Prob.	
					Aprox	R <sup>2</sup> >  t
Cogollo verde	b <sub>0</sub>	-6.15612	0.4478	-14	<.0001	0.63
	b <sub>1</sub>	0.625194	0.053	11.8	<.0001	0.08
Penca verde	b <sub>2</sub>	0.000187	0.000021	8.76	<.0001	0.61
	b <sub>3</sub>	0.013816	0.00197	7	<.0001	0.51
Peso total						0.65
						0.54

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

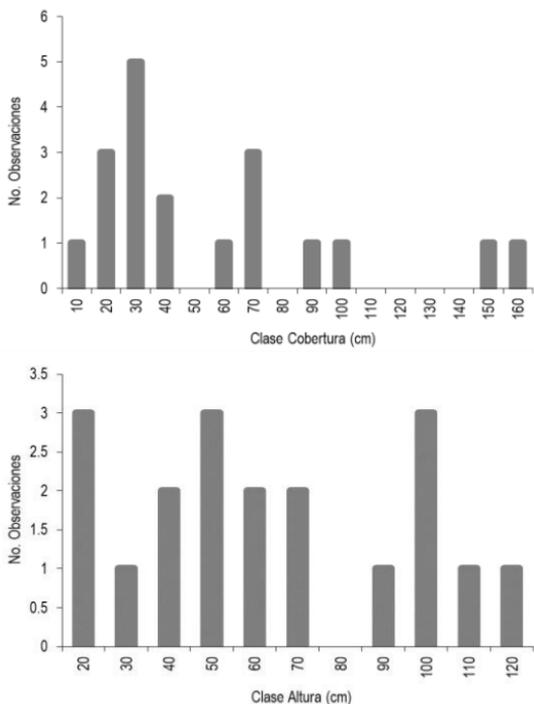
## Para el estado de San Luis Potosí.

En el Cuadro 14 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo 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 17, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas.

**Cuadro 14.** Resumen descriptivo de la muestra de *Agave lechuguilla* Torr., colectada en el estado de San Luis Potosí.

Variable	No. Obs	Media	DevStd.	Min.	Max.
<i>DC (cm)</i>	150	58.1	37.4	5.1	166.5
<i>H (cm)</i>	150	46.9	24.5	4.0	118.0
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	0.31	0.31	0.001	1.29
<i>Penca verde (kg)</i>	150	2.92	4.06	0.005	27.28
<i>Peso Total (kg)</i>	150	3.23	4.28	0.006	28.58

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



**Figura 17.** 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 lechuguilla* Torr., en el estado de San Luis Potosí se muestra en los Cuadros 15 y 16.

**Cuadro 15.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de San Luis Potosí.

Componente	Modelo	No.
Cogollo 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:  $W_k$ = 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),  $\exp$ = exponente,  $\ln$ = logaritmo natural.

**Cuadro 16.** 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 *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de San Luis Potosí.

Componente	Parámetro	Estimación	Error		Prob.		REMC (kg)
			estándar	t	Aprox. R <sup>2</sup>	>  t	
Cogollo verde	b <sub>0</sub>	-8.90353	0.1992	-44.71	<.0001	0.76	0.15
	b <sub>1</sub>	0.945315	0.023	41.1	<.0001		
Penca verde	b <sub>2</sub>	-8.10446	0.4478	-18.1	<.0001	0.61	2.02
	b <sub>3</sub>	1.106798	0.0519	21.34	<.0001		
Peso total						0.63	2.13

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

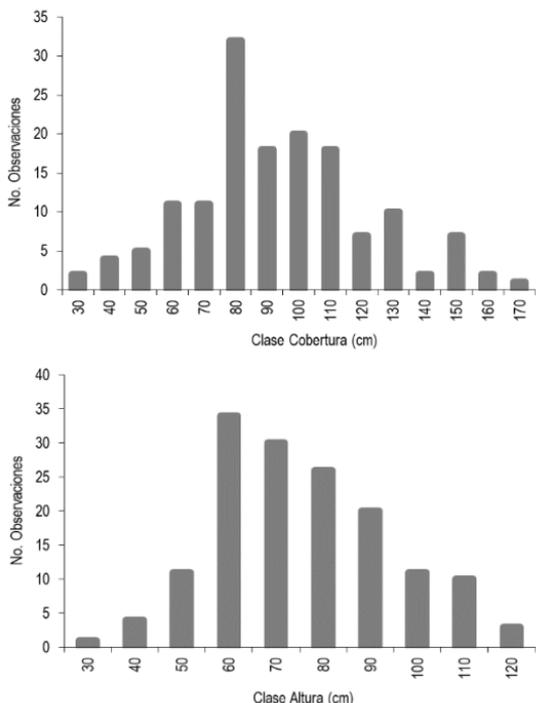
## Para el estado de Tamaulipas.

En el Cuadro 17 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo 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 Tamaulipas. En la Figura 18, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas.

**Cuadro 17.** Resumen descriptivo de la muestra de *Agave lechuguilla* Torr., colectada en el estado de Tamaulipas.

Variable	No. Obs	Media	Std	Min.	Max.
<i>DC (cm)</i>	150	88.57	27.95	22.50	163.00
<i>H (cm)</i>	150	71.07	18.31	26.00	116.00
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	0.602	0.291	0.095	1.524
<i>Penca verde (kg)</i>	150	4.258	3.026	0.300	15.970
<i>Peso total (kg)</i>	150	4.860	3.256	0.395	16.980

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



**Figura 18.** Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Tamaulipas.

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 lechuguilla* Torr., en el estado de Chihuahua se muestra en los Cuadros 18 y 19.

**Cuadro 18.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Tamaulipas.

Componente	Modelo	No.
Cogollo 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:  $W_i$ = peso verde de los componentes o total (kg),  $b_j$ =parámetro j para la estimación de los pesos,  $DC$ =diámetro de cobertura de cada planta (cm),  $H$ =altura total de cada planta (cm),  $exp$ = exponente,  $ln$ = logaritmo natural.

**Cuadro 19.** 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 lechuguilla* Torr., en el estado de Tamaulipas.

Componente	Parámetro	Estimación	Error		R <sup>2</sup>	REMC (kg)
			estándar t	Prob. >  t		
Cogollo verde	b <sub>0</sub>	-6.74406	0.3706	-18	<.0001	0.65
	b <sub>1</sub>	-0.0027	0.000425	-6.4	<.0001	0.16
Penca verde	b <sub>2</sub>	0.000023	2.01E-06	11.6	<.0001	0.67
	b <sub>3</sub>	0.308681	0.0458	6.74	<.0001	1.69
Peso total						0.69
						1.77

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

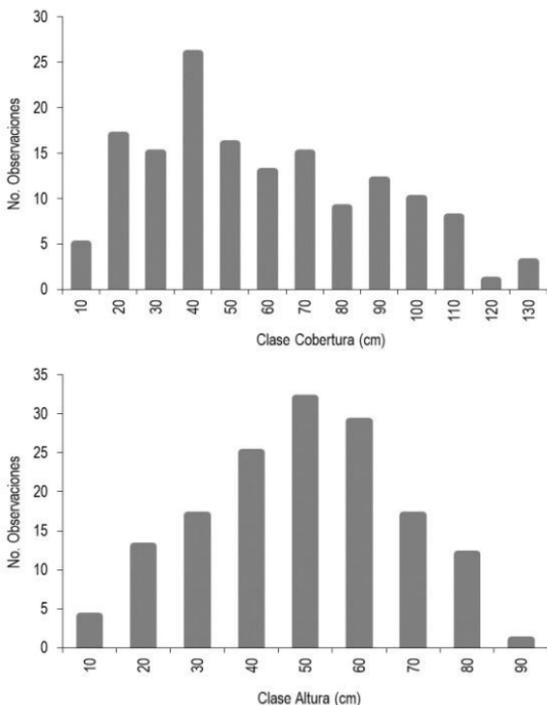
## Para el estado de Zacatecas.

En el Cuadro 20 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo 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 Zacatecas. En la Figura 19, se muestra la distribución de las dimensiones de la cobertura y la altura de las plantas muestreadas.

**Cuadro 20.** Resumen descriptivo de la muestra de *Agave lechuguilla* Torr., colectada en el estado de Zacatecas.

<b>Variable</b>	<b>No. Obs</b>	<b>Media</b>	<b>Std</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
<i>DC (cm)</i>	150	53.42	29.97	3.75	127.5
<i>H(cm)</i>	150	44.19	18.03	3.5	87
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	0.20	0.19	0.001	0.91
<i>Penca verde (kg)</i>	150	1.75	2.18	0.005	14.71
<i>Peso total (kg)</i>	150	1.95	2.34	0.006	15.01

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



**Figura 19.** Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Zacatecas.

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 lechuguilla* Torr., en el estado de Zacatecas se muestra en los Cuadros 21 y 22.

**Cuadro 21.** Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Zacatecas.

<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>No.</b>
Cogollo 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)
Total	$W_t = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H))$ $+ \exp(b_2$ $+ b_3 \ln(DC * H))$	(3)

Donde:  $W_i$ = peso verde de los componentes o total (kg),  $b_j$ =parámetro j para la estimación de los pesos,  $DC$ =diámetro de cobertura de cada planta (cm),  $H$ =altura total de cada planta (cm),  $exp$ = exponente,  $\ln$ =logaritmo natural.

**Cuadro 22.** 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 lechuguilla* Torr., en el estado de Zacatecas.

Componente	Parámetro	Estimación	Error		R <sup>2</sup>	REMC (kg)
			estándar aprox.	t		
Cogollo verde	b <sub>0</sub>	-9.96634	0.2515	-40	<.0001	0.78
	b <sub>1</sub>	1.053913	0.0322	32.8	<.0001	
	b <sub>2</sub>	-9.08448	0.1865	-49	<.0001	1.20
Penca verde	b <sub>3</sub>	1.19961	0.0246	48.7	<.0001	
Peso total						0.73
						1.22

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

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

Para estimar la biomasa por componente (cogollo, penca verde o planta completa) de *Agave lechuguilla* Torr., en el estado de Zacatecas, sería como se explica a continuación. Supongamos que una planta de *Agave lechuguilla* Torr., tiene una altura total (H) de 80 cm y un diámetro de cobertura (DC) de 90 cm, la biomasa total, se usaría la ecuación del componente total, como se muestra a continuación:

Información dasométrica:  $H=80 \text{ cm}$ ;  $DC= 90 \text{ cm}$

Ecuación para estimar la biomasa de la planta total:

$W_t = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H)) + \exp(b_2 + b_3 \ln(DC * H))$ , se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 22 para el caso del estado de Zacatecas.

$$W_t = \exp(-9.96634 + 1.053913 \ln(90 * 80)) + \exp(-9.08448 + 1.19961 \ln(90 * 80))$$

$W_t = 5.35 \text{ kg}$ ; del peso total de *Agave lechuguilla* Torr., dadas esas condiciones de la planta en el estado de Zacatecas.

En el Cuadro 23 se muestra los predios por estado donde se llevó a cabo el muestreo.

**Cuadro 23.** Municipios y predios en donde se llevó a cabo el muestreo en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.

Estado	Municipio	Predio
Chihuahua	Aldama	PP Rancho el Consuelo
		Encinillas Y Colonia Ceres
		Puerto Aldama
		Chorreras
		N.C.P.E. Potrero Del Llano
		PP. El Morreón
		La Esperanza
		PP Lote 7 El Táscate
Coahuila	Ramos Arizpe	Cosme Hipólito
	General Cepeda	Pilar de Richardson N.C.P.A. sierra de paila
	San Pedro	Las Margaritas La Luz Segunda
	Cuatro Ciénegas	Tanque Nuevo Estación Bajan
	Viesca	Venustiano Carranza
	Parras	El Amparo Abrevadero Tanque Nuevo
	Rodeo	Santa Isabel Del Resbalón Los Amoles Animas
Durango	Nazas	Eufemio Zapata Benito Juárez Guadalupe Rodríguez Paso nacional Nazas
	San Luis del Cordero	San Luis Del Cordero
	Cuencamé	Las Mercedes 12 de diciembre Pasaje
	Simón Bolívar	18 de marzo J. Isabel Robles NCPE Francisco Zarco
	San Juan de Gpe	San José De Barrones Agua Nueva

Estado	Municipio	Predio
		Santo Niño
		Fracción Oriente
	Rodeo	Animas
		Guadalupe Rodríguez
	Nazas	Benito Juárez
		Animas
		Diez De Abril
		Sta. Teresa de la U
	San Luis del Cordero	Nazas
	Cuencamé	Ej. El Tepalcateo
Cuatillos		
Gral. Severino Ceniceros		
Tlahualilo	Velardeña	
	N.C.P.A. Alma Campesina	
	N.C.P.A. Tlahualilo	
Nuevo León		N.C.P.A. Nuevo San Pedro
	García	Icamole
	Villa Aldama	El Potrero
	Bustamante	Villa De Bustamante
	Mina	Carricitos
		San Antonio de Arista
		El Milagro
	Aramberri	La Soledad
	Mier y Noriega	Cuatro Caminos
	Doctor Arroyo	La Chiripa
		El Refugio de Cedillo
	Galeana	El Cristal
	Linares	Las Barretas
San Luis Potosí	Catorce	La Cardoncita
	Matehuala	La Caja Y Anexos
	Villa de la Paz	Los Limones
	Matehuala	Tanque Colorado
	Venado	Venado
	Villa Hidalgo	La Taponá
	Ciudad del Maíz	El Puerto de San Juan de Dios
Guadalcázar	El Huizache	
Tamaulipas	Jaumave	Ejido San Juanito

Estado	Municipio	Predio
		Ejido La Unión antes La Puerta
		Ejido San Antonio
		Ejido El Sauz
		Ejido Plan de Ayala-Las Calabazas
		Ejido San José de Salamanca
		Ejido San Vicente
		Ejido San Lorencito
		Ejido San Francisco
		Ejido Rancho Nuevo
		Ejido Las Moras
		Ejido General Francisco Medrano-Las Pilas
		Ejido El Higuero
		Ejido Francisco I. Madero
		Ejido El Carrizo
		Ejido Redención del Campesino-Las Palomas
		Colonia Agrícola y Ganadera La Peña
	Miquihuana	Ejido Villa de Miquihuana
		Ejido Estanque de Los Walle
		Ejido La Perdida
		Ejido Joya de Herrera
		Ejido Las Antonias
		Ejido El Caracol de Álvarez
	Bustamante	P.P. Joyas de San Francisco
		Ejido El Macuate
		Ejido Magdaleno Aguilar-Dr. Rafael Villareal
		Ejido La Verdolaga
		Ejido Pedro Ruiz Molina
		Ejido Nicolas Medrano-El Abra
		Ejido El Salitrillo
	Tula	Ejido Mamaleon
		Ejido San Rafael
		Ejido Francisco Villa-Sichu
		Ej. Álvaro Obregón-La Noria
		Ejido Cerro Mocho

<b>Estado</b>	<b>Municipio</b>	<b>Predio</b>
		Ejido General Francisco Medrano-La Higuera
		Ejido El Sauz
		Ejido Cinco de Mayo-La Cebollita
		Ejido San Pablo
		Ejido Magdalena Cedillo-El Coronel
		Ejido El Gavial
		Ejido Gazmones
		Ejido Matías García-Pedro de los Saldaña
		Ejido San Juan de Oriente
		Ejido José María Morelos-El Nopal
		Ejido Independencia antes Las Moritas
		Ejido Conrado Castillo-La Maroma
		Ejido Morelos (antes El Buey)
		Ejido La Tapona
		Ejido La Reforma
	Melchor Ocampo	San Miguel
		Caopas
	Mazapil	El Rodeo
		San Jerónimo
Zacatecas	Concepción del Oro	Ciénega de Rocamontes
		Guadalupe Garzaron
		Tanque del Alto
		Morelos
		Gral. Enrique Estrada
		Concepción Del Oro
		San Juan
		Noria de Guadalupe

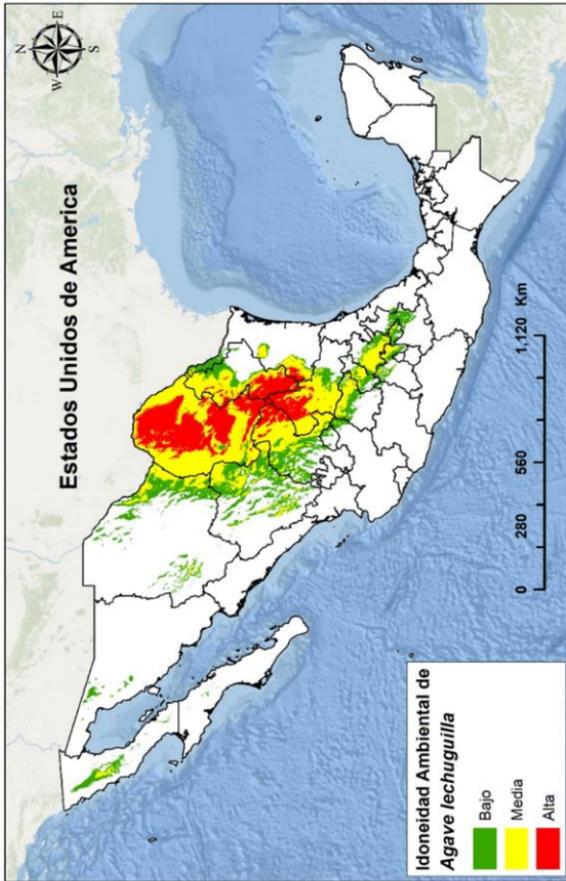
## 6. MAPA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE

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 lechuguilla* Torr. 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 20 muestra el mapa del área de distribución potencial de *Agave lechuguilla* Torr., 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.

De acuerdo con lo señalado por el modelo de distribución, las mejores condiciones climáticas para el establecimiento de *Agave lechuguilla* Torr., se encuentran en la porción Norte de la Sierra Madre Oriental, en zonas de lomerío y montañas con pendientes ligeras de Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas.



**Figura 20.** Clases de idoneidad ambiental para *Agave lechuguilla* Torr., 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 lechuguilla* Torr., ya que han sido orientadas a obtener el máximo rendimiento mediante un sistema de manejo sustentable.
- Definir en los terrenos ejidales las áreas a aprovechar, mediante rodales o unidades mínimas de manejo de *Agave lechuguilla* Torr., permite tener control, certeza y veracidad de las existencias del recurso y su extracción por anualidad, además del control en las guías o remisiones forestales.
- La búsqueda de poblaciones de *Agave lechuguilla* Torr., en distancias relativamente cortas obedece a que el proceso completo para la obtención de fibra de lechuguilla (recolección de cogollo, traslado y tallado de fibra) es muy largo, sin embargo, representa una presión fuerte para estas poblaciones de *Agave lechuguilla* Torr., que muchas veces no llegan a alcanzar su madurez óptima para la cosecha.
- A pesar que el aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr., se basa en un estudio técnico no sé asegura la persistencia de la especie y, por tanto, el desarrollo de nuevas prácticas en el aprovechamiento de este recurso es una tarea que debe ser fomentada.
- El fomento de apoyos para el establecimiento de reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales del *Agave lechuguilla* Torr., y unidades productoras de

germoplasma forestal en áreas cercanas a la población, es de vital importancia para reducir costos en transporte y aumentar el rendimiento por planta.

- La selección de ecotipos sobresalientes y el mejoramiento genético es una alternativa que debe tomarse en cuenta para emprender programas exitosos de revegetación e incluso para plantaciones comerciales a corto, mediano y largo plazo de la especie.
- Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave lechuguilla* Torr., generadas por estado, constituyen una herramienta útil para estimar con precisión la biomasa verde de la especie en los avisos de aprovechamiento, asegurando un menor sesgo en las estimaciones totales.
- El mapa de distribución potencial del *Agave lechuguilla* Torr., 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.
- Berlanga R., C. A., M. García V. y L. A. González L. 1992. Técnicas para el establecimiento y manejo de una plantación de lechuguilla. Campo Experimental "La Saucedá". CIRNE. INIFAP. Folleto Divulgativo No. 1. Saltillo, Coahuila. México. 8 p.
- Castillo Q., D., A. Cano-Pineda y C.A. Berlanga-Reyes. 2012. Establecimiento y aprovechamiento de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). Comisión Nacional Forestal-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- 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.
- Freeman, C. E. 1973. Some germination responses of lechuguilla (*Agave lechuguilla*: Agavaceae). *Southwestern Naturalis*, 18(2): 125-134.
- Gadow, K. and Hui, G. 1999. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- Hernández S., R., E. C. Lugo C., L. Díaz J. y S. Villanueva. 2005. Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de *Agave lechuguilla* Torr. *E-Gnosis*, 3(11): 1-9.
- INEG, 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.
- Madrigal Collazo, A. 1994. Ordenación de montes arbolados.
- Martínez B., O. U., D. Castillo Q. y O. Mares A. 2011. Caracterización y selección de sitios para plantaciones de lechuguilla (*Agave*

- lechuguilla* Torr.) en el estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Folleto Técnico No. 47. Saltillo, Coahuila. 41pp.
- Mayorga-Hernández, E., D. Rössel-Kipping, H. Ortiz-Laurel, A. R. Quero-Carillo y A. Amante-Orozco. 2004. Análisis comparativo en la calidad de fibra de *Agave lechuguilla* Torr., procesada manual y mecánicamente. *Agrociencia*. 38(2): 219-225.
- Narcia Velasco, M., Castillo Quiroz, D., Vázquez Ramos, J. A., & Berlanga Reyes, C. A. 2012. Turno técnico de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el noreste de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(9), 81-88.
- Pando-Moreno, M., O. Eufrazio, E. Jurado y E. Estrada. 2004. Post-harvest growth of lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr., Agavacea) in northeastern, Mexico. *Economic Botany*. 58(1): 78-82.
- 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.
- Rossel, D., H. Ortíz-Laurel y H. M. Durán G. 2004. Mechanization for harvesting and processing dryland plants. *Food, Agriculture & Environmental* 2(1): 317-321.
- Rzedowski, J. and Rzedowski, G.C. 1990. Flora fanerogámica del valle de México. Instituto de Ecología. A. C., Pátzcuaro, Michoacán. México. 674 p.
- SAS Institute. 2009. SAS Proprietary Software Version 9.3. SAS Institute, Cary, NC.

## 9. GLOSARIO

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

**Cogollo.** Brote de hojas nuevas e inmaduras, aún plegadas, también llamado velilla.

**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.

**Guishe:** Líquido que drena de las hojas durante su proceso y que provoca ardor al contacto con la piel.

**Ixtle.** (Del náhuatl *ichtli* 'ixtle') es una fibra vegetal conocida por su resistencia, que ha sido usada en México desde tiempos antiguos, siendo parte fundamental de la economía y de la cultura mexicana a lo largo de los años. Proviene principalmente del *Agave lechuguilla*, planta conocida por ser la más aprovechada de los tiempos antiguos, sus fibras se utilizaban como fibras textiles y sus espinas como agujas.

**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, entendiéndose 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

<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*