



Fondo  
**CONACYT**  
**CONAFOR**



**UJED**  
Universidad Juárez  
del Estado de Durango



**CONAFOR**



**CONACYT**  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



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

## Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave durangensis* Gentry en el estado Durango.



## 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 durangensis* Gentry., en el estado de Durango. 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 durangensis* Gentry., por ser una fuente para la elaboración de bebidas alcohólicas, 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 durangensis* Gentry., en el estado de Durango”, 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 .....  | 7  |
| 2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del <i>Agave durangensis</i> Gentry ..... | 7  |
| 2.2. Leyes y Normas .....  | 9  |
| 3. INVENTARIO FORESTAL CON FINES DE MANEJO .....   | 16 |
| 3.1. Técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie. ....  | 16 |
| 4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO .....   | 21 |
| 4.1. Mejoras en las técnicas de aprovechamiento de la especie.....   | 21 |
| 4.2. Mejoras en las técnicas de extracción y beneficio del producto final.....   | 22 |
| 4.3. Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales.....  | 23 |
| 5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA .....   | 27 |
| 5.1. Ecuaciones de biomasa para el estado .....  | 30 |
| 6. MAPA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE.....   | 36 |
| 7. CONCLUSIONES .....  | 39 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA.....   | 40 |
| 9. GLOSARIO .....  | 42 |
| 10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....   | 43 |

## 1. INTRODUCCIÓN.

El *Agave durangensis* Gentry (agave cenizo), es una especie de importancia económica que se distribuye particularmente en los municipios de Durango, El Mezquital, Nombre de Dios y Súchil, en el estado de Durango. El principal uso que se le da a este agave es la producción de mezcal de manera artesanal, razón por la cual las poblaciones silvestres de esta especie se están viendo amenazadas debido a la sobreexplotación de este recurso para fines comerciales.

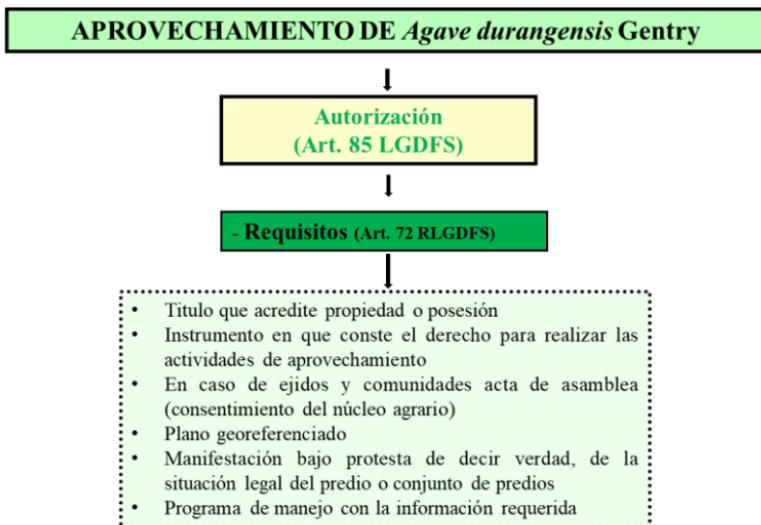
Esta especie es de gran importancia económica y representa una forma de sustento para la industria regional productora de mezcal en estado de Durango. De su aprovechamiento en campo se obtiene la piña mediante el proceso de jimado como materia prima para la elaboración de mezcal y los residuos, como las hojas o pencas, en ocasiones son usadas en el proceso de elaboración artesanal del mezcal, éstas representan aproximadamente el 50% de la planta

Los individuos adultos del *Agave durangensis* Gentry tienen una altura de 80 a 120 cm y 120 a 180 cm de cobertura, son de color gris glauco, hojas anchas con dimensiones de 40 a 90 de largo por 14 a 22 de ancho, lanceoladas, con espina de 4 a 6 cm de largo, acanalada en la parte superior; la inflorescencia mide 7 a 8 cm de altura; flores amarillas de 70 a 80 cm de largo, los tépalos externos de 10 a 12 mm de longitud, semillas pequeñas. El agave cenizo, es una especie endémica de nuestro país que crece de forma silvestre en colonias dispersas en suelos rocosos, matorrales y pastizales.

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

### 2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del *Agave durangensis* 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, que se obtiene mediante solicitud que se presenta ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), mediante un formato que contenga el nombre, denominación o razón social y domicilio del propietario o poseedor del predio o conjunto de predios y, en su caso, número de oficio de la autorización en materia de impacto ambiental. El procedimiento y requisitos para la obtención de la autorización para el aprovechamiento de *Agave durangensis* Gentry., se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Requisitos que debe contener la autorización del aprovechamiento de *Agave durangensis* Gentry., en México.

## 2.2. Leyes y Normas

### Leyes vigentes

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

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

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

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

## Normas vigentes.

Las Normas Oficiales Mexicanas vigentes que se describen a continuación regulan el aprovechamiento del *Agave durangensis* 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"> <li>I. Sólo se podrán aprovechar plantas en la etapa de madurez de cosecha.</li> </ol>  |

| 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 (RLGDFS), las solicitudes se presentarán ante la Secretaría y contendrán el nombre o denominación o |

| Apartado | Especificaciones   |
|----------|--|
|          | <p>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 durangensis* 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 múltiples circunstancias, las técnicas de muestreo de *Agave durangensis* Gentry., 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 durangensis* 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 y Hui, 1999).

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

Las siguientes mejores prácticas de manejo se realizaron con base en el diagnóstico de cómo se aprovecha actualmente la especie de *Agave durangensis* Gentry en el estado de Durango, 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” estas fueron elaboradas por un grupo de investigadores de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y el Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

### 4.1. Mejoras en las técnicas de aprovechamiento de la especie

En el estado de Durango, del *Agave durangensis* Gentry., se aprovecha principalmente la piña (cabeza) que es la materia principal para la destilación de la bebida alcohólica de mezcal. Las actuales prácticas de aprovechamiento de esta especie en el estado y de acuerdo con los recolectores son las más adecuadas, como prueba de ello, es el aumento de producción de mezcal en el estado en los últimos años, ocupando el tercer lugar, después de Oaxaca y Puebla (CRM, 2020). Sin embargo, debido a la alta demanda del agave que se presenta en los principales municipios de Durango donde existe esta especie, se propone un monitoreo constante del aprovechamiento, para garantizar un 20% de las mejores plantas en la etapa de

madurez distribuidas uniformemente en el área de aprovechamiento, que permitan maximizar el uso del recurso y contribuyen a lograr la sostenibilidad

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

Para la elaboración de mezcal se extrae el individuo completo, en la recolección de la materia prima de agave son necesarias ciertas condiciones o características visuales tales como la coloración verde-amarillenta en la base de las pencas y parda en la base del agave, así como la presencia de pencas secas en esta zona (Figura 2). Bajo estas condiciones generalmente el agave se encuentra en un estado de madurez apropiado y que contiene alto contenido de azúcares que garantizan una mejor calidad del mezcal. Las siguientes técnicas son las más utilizadas y se proponen seguir utilizando en el estado para el *Agave durangensis* Gentry., ya que son estrategias para mejorar la calidad del mezcal:



**Figura 2.** Características visuales para la selección del individuo para su aprovechamiento del *Agave durangensis* Gentry.

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

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

la producción sustentable. Los pasos a seguir para la reforestación con fines de enriquecimiento de rodales de *Agave durangensis* Gentry., se describen a continuación:

- 1. Selección de material para la reforestación:** para lograr que la planta sobreviva en campo, se recomienda extraer los hijuelos 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 agaves maduros y deben estar libres de plagas y enfermedades, factor importante en su sobrevivencia.
- 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 durangensis* Gentry., 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. 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.
4. **Densidad de reforestación:** la distancia promedio a la que debe estar separada una planta y otra es 2 m y 2 m entre líneas, con este método se obtendrá una densidad recomendada de 5,000 individuos por hectárea.
5. **El diseño de la reforestación:** Se recomienda de marco real, es decir, las plantas se colocan formando cuadros o rectángulos. Se recomienda utilizarlo en terrenos planos o con pendientes menores a 20%.
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.

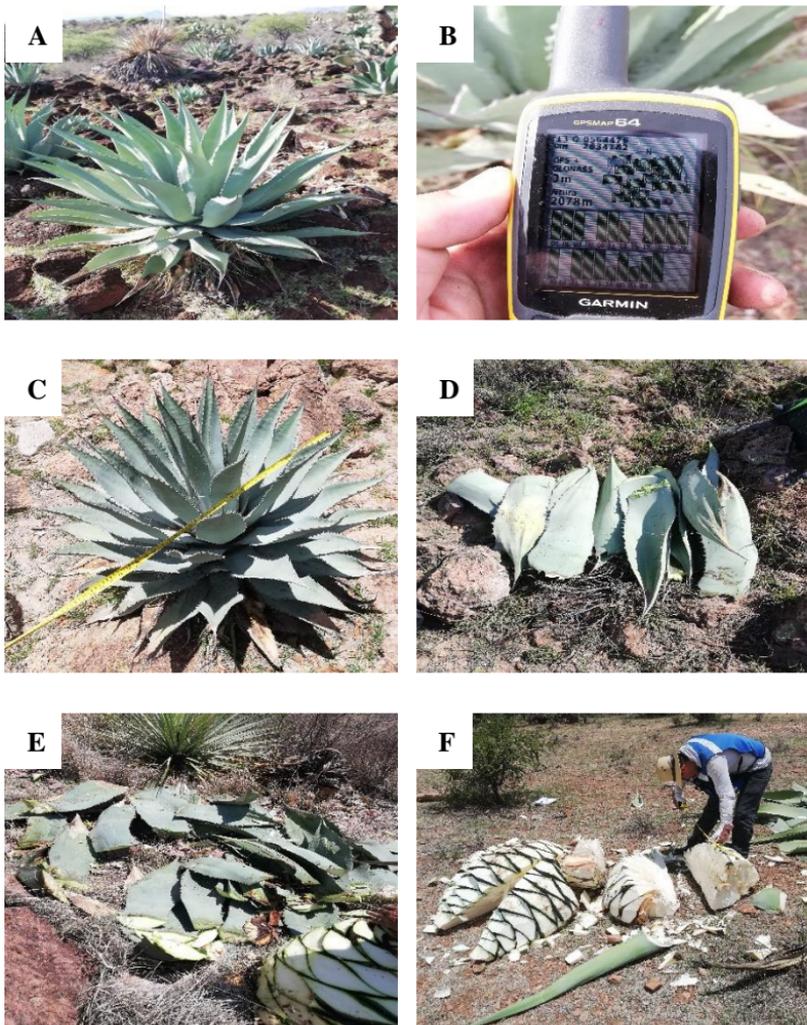
- 7. Reposición de plantas:** aunque los índices de supervivencia sean altos (entre 95 al 100%) en su etapa inicial, pueden presentarse pérdidas de planta por diversos factores, como el mal manejo de la planta durante la extracción y transporte de la misma al lugar de reforestación o presencia de plagas. Por lo tanto, es recomendable realizar una evaluación de sobrevivencia y hacer reposición de las plantas afectadas.

## 5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

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

El muestreo utilizado para el desarrollo de las ecuaciones alométricas de biomasa consistió en seleccionar aleatoriamente 150 individuos, los cuales fueron muestreados considerando sus dimensiones estructurales (altura de la planta y diámetros de cobertura) siguiendo una distribución uniforme; es decir tratando que fuera la misma cantidad de individuos en todas las categorías de diámetro de cobertura y altura. Para cada individuo se midió la altura total (H, cm) y el diámetro de la cobertura (DC, cm). Una vez derribados, se separaron las siguientes fracciones de biomasa: piña verde y penca verdes. Cada fracción se pesó en verde utilizando una báscula con una precisión de  $\pm 1$  g (Figura 3). 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 3.** Muestreo realizado en el estado de Durango. A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Medición de cobertura, D) Medición de las pencas verdes, E) Separación de las componentes y F) Medición de la penca verde.

## 5.1. Ecuaciones de biomasa para el estado

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas del componente de piña verde, penca verde y peso total de los individuos muestreados para desarrollar las ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa por componente y/o total de la planta en el estado de Durango. En la Figura 4, 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 durangensis* Gentry., colectada en el estado de Durango.

| Variable                | No. Obs | Media  | Std   | Min.  | Max.   |
|-------------------------|---------|--------|-------|-------|--------|
| <i>DC (cm)</i>          | 150     | 131.55 | 47.55 | 31.00 | 300.50 |
| <i>H (cm)</i>           | 150     | 105.51 | 32.93 | 12.00 | 226.00 |
| <i>Piña verde (kg)</i>  | 150     | 34.06  | 37.44 | 1.30  | 295.50 |
| <i>Penca verde (kg)</i> | 150     | 41.93  | 36.24 | 1.80  | 255.10 |
| <i>Peso total (kg)</i>  | 150     | 75.99  | 70.06 | 3.10  | 453.60 |

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



| Componente  | Modelo  | No. |
|-------------|---|-----|
| Piña verde  | $W_C = b_0DC + b_1DC^2 + b_2DC^2 * H$   | (1) |
| Penca verde | $W_l = b_3DC + b_4DC^2 + b_5DC^2 * H$   | (2) |
| Total       | $W_t = b_3DC + b_4DC^2 + b_5DC^2 * H$<br>$+ b_3DC + b_4DC^2$<br>$+ b_5DC^2 * H$ | (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 la cobertura de cada planta (cm),  $H$ =altura total de cada planta (cm).

**Cuadro 3.** Estimación de los parámetros, contrastes de significación aproximados, y estadísticos de bondad de ajuste para las ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación de peso verde por componente y total de *Agave durangensis* Gentry., en el estado de Durango.

| Componente        | Parámetro | Estimación | Error              |  | t     | Prob.<br>>  t | Aprox. R <sup>2</sup> | REMC (kg)     |
|-------------------|-----------|------------|--------------------|--|-------|---------------|-----------------------|---------------|
|                   |           |            | estándar<br>aprox. |  |       |               |                       |               |
| Piña verde        | b0        | 0.212207   | 0.0282             |  | 7.52  | <.0001        | 0.68                  | 0.116         |
|                   | b1        | -0.0027    | 0.000425           |  | -6.36 | <.0001        |                       |               |
|                   | b2        | 0.000023   | 2.01E-06           |  | 11.62 | <.0001        |                       |               |
| Penca verde       | b3        | 0.308681   | 0.0458             |  | 6.74  | <.0001        | 0.75                  | 15.811        |
|                   | b4        | -0.00229   | 0.00055            |  | -4.16 | <.0001        |                       |               |
|                   | b5        | 0.000018   | 2.35E-06           |  | 7.71  | <.0001        |                       |               |
| <b>Peso total</b> |           |            |                    |  |       |               | <b>0.79</b>           | <b>28.998</b> |

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

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

Para estimar la biomasa de la piña del agave en el estado de Durango, sería como se explica a continuación. Supongamos que una planta de agave tiene una altura (H) de 200 cm y una cobertura (DC) de 320 cm:

Información dasométrica:

$$H=200 \text{ cm}$$

$$DC= 320 \text{ cm}$$

Ecuación para estimar la biomasa verde de la piña:

$$W_c = b_0DC + b_1DC^2 + b_2DC^2H$$

se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 3:

$$W_c = (0.212207 * 320) + (-0.0027 * 320)^2 + (0.000023 * 320^2 * 200)$$

$W_c = 262.46 \text{ kg}$  de biomasa de la piña dadas las características de la planta.

En el Cuadro 4 se muestra los predios por Estado donde se llevó a cabo el muestreo.

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

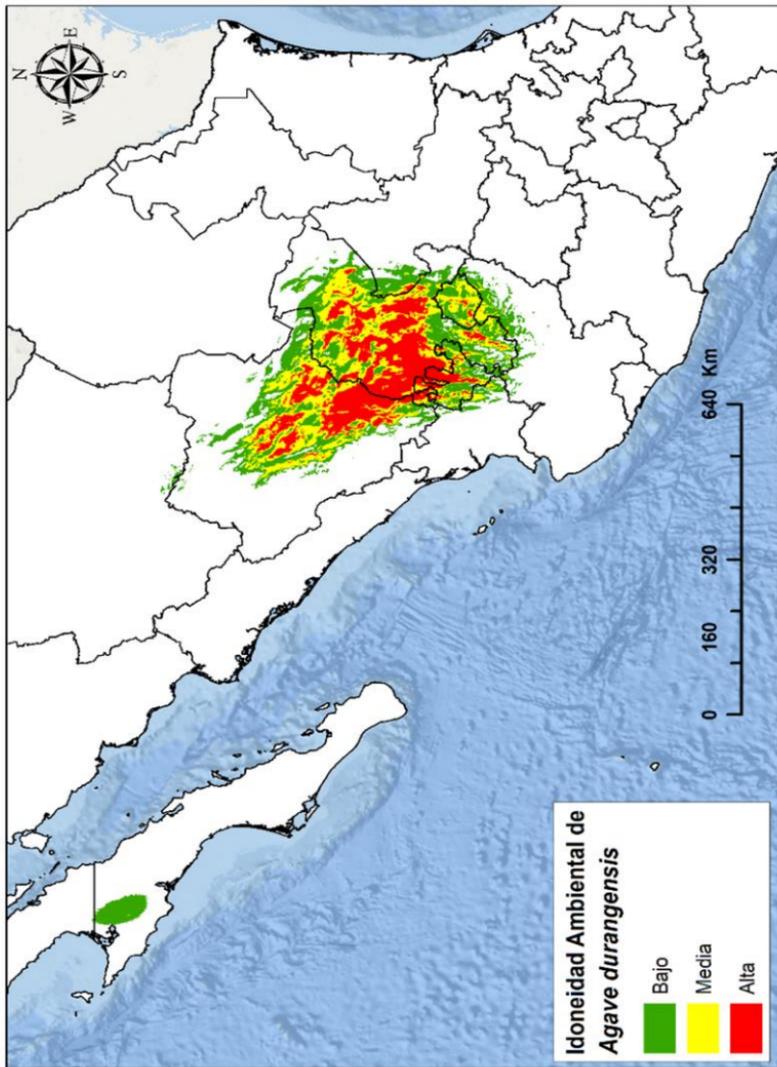
| <b>Estado</b>  | <b>Municipio</b> | <b>Predio</b>                 |
|----------------|------------------|-------------------------------|
| Durango        |                  | Primero de Mayo               |
|                |                  | Ej. El Arenal                 |
|                |                  | Héroes de Nacozari            |
|                |                  | Ej. Antonio Gaxiola           |
|                |                  | La Boca del Mezquital         |
|                |                  | José Ma. Pino Suarez          |
|                |                  | Independencia y Lib.          |
|                |                  | Tomas Urbina                  |
|                |                  | San Francisco del Manzanal    |
|                |                  | Tomas Urbina                  |
| Durango        |                  | Valle Florido                 |
|                |                  | Nicolás Romero                |
| Nombre de Dios |                  | Ej. Nombre de Dios            |
|                |                  | Ej. San Francisco de Malpaís  |
|                |                  | Ej. Veracruz                  |
|                |                  | Ej. San Francisco de Manzanal |
|                |                  | El Venado                     |
|                |                  | San José de Acevedo           |
|                |                  | Narciso Mendoza               |
| Mezquital      |                  | Ej. Troncón y Agua Zarca      |
|                |                  | Troncón y Agua Zarca          |
| Poanas         |                  | Ej. 18 de agosto              |

## 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 durangensis* 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 5 muestra el mapa del área de distribución potencial de *Agave durangensis* 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 5.** Clases de idoneidad ambiental para *Agave durangensis* Gentry., generadas a partir de modelos de distribución potencial.

## 7. CONCLUSIONES

La alta demanda que ha adquirido el mezcal en los últimos años hace que sea necesario comenzar a adoptar prácticas de manejo que permitan abastecer la producción de mezcal a través de plantaciones comerciales, esto con el fin de asegurar la permanencia de las poblaciones silvestres. Es importante promocionar el aprovechamiento ordenado del agave cenizo siguiendo lo establecido en la legislación ambiental vigente. Es importante señalar, que, de acuerdo a lo observado en los recorridos de campo para la toma de muestras, el nivel de regeneración de las poblaciones de *Agave durangensis* Gentry es muy bajo por lo que es prioritario comenzar a tomar medidas que aseguren la estabilidad ecológica de la especie. Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave durangensis* Gentry., generadas para el estado de Durango, constituyen una herramienta útil para estimar con precisión la biomasa verde de la especie en programas de manejo, asegurando un menor sesgo en las estimaciones totales. El mapa de distribución potencial del *Agave durangensis* 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

- CRM. 2020. Consejo Regulador del Mezcal. Jornada Nacional del Mezcal: Capacitacion y análisis. 13-15 marzo 2020. Oaxaca, Mex. 32p.
- González-Durán, B. M y Núñez-Palenius, H.G. 2015. Micropropagación de *Agave durangensis* en un Sistema de Inmersión Temporal (SIT). *Verano de la Investigación Científica*, 2, 8-13.
- Ilsey Granich, C., Gómez Alarcón, T., Rivera Méndez, G., Morales Moreno, M del P., García Bazán, J., Ojeda Sotelo, A., Calzada Rendón, M. y S. Mancilla Nava. 2005. Conservación in situ y manejo campesino de magueyes mezcaleros. Grupo de Estudios Ambientales AC. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. V028. México D. F
- 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.
- Loera-Gallegos, H.M., Corral-Rivas, J.J., Montiel-Antuna, E., Solis-Moreno, R., Chávez-Simental, J.A. y González- Cervantes, G. 2018. Calidad de sitio para *Agave durangensis* Gentry en la Sierra de Registrillo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, 1171-1180.
- Olivas-Gallegos, U.E., Valdez-Lazaldel, R., Aldrete, A., González-Guillén, M. J. y Vera-Castillo, G. 2007. Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Rev. Fitotec. Mex.*, 30, 411- 419.
- 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.

Rosales-Mata, S., Hernández-Antuna, M. y Sarmiento-López, H. 2014. Producción de planta de *Agave durangensis* en sistema de acolchado y riego por goteo. Durango, Dgo: Comisión Editorial del CEVAG.

## 9. GLOSARIO

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

**LGDFS:** Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

**LGEEPA:** Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

**Mezcal:** es la bebida alcohólica obtenida por la destilación y rectificación de los mostos preparados con los azúcares extraídos del tallo y base de las hojas de los agaves mezcaleros especificados en la Norma Mexicana, sometidos previamente a fermentación alcohólica con levaduras, permitiéndose adicionar hasta 40 por ciento de otros azúcares en la preparación de dichos mostos, siempre y cuando no se eliminen los componentes que le dan las características a este producto.

**Piña o cabeza:** Es el tallo, lo cual es la parte aprovechable del maguey, y es donde después de capado hay una concentración de azúcares y carbohidratos.

**Vinata:** Lugar donde se elabora y produce el mezcal que consiste en un horno de cocción, área de macerado, de una a tres pilas y área de destilación.

## 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*