



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 deserti* en el estado de Baja California



Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la
Innovación Tecnológica Forestal

Comisión Nacional Forestal

Coordinación General de Producción y Productividad

Gerencia de Manejo Forestal Comunitario

Unidad de Educación y Desarrollo Tecnológico

Periférico Poniente 5360

Colonia San Juan de Ocotán Zapopan, Jalisco C.P. 45019

Tel: 01 (33) 3777 7000

Proyecto apoyado a través del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT-CONAFOR:

2017-4-292674

Mejores prácticas de manejo y generación de tablas de volumen y biomasa para las principales especies forestales no maderables de importancia económica en los ecosistemas áridos y semiáridos de México.

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

¹Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ⁴Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y ⁵Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), ⁶Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

Impreso en México

Primera edición, 2021.

Forma de citar:

López-Serrano, P.M., Hernández-Ramos, A., Méndez-González, J., Martínez-Salvador, M., Aguirre-Calderón, O., Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas J.J. 2021. Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave deserti* en el estado de Baja California. 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 deserti* que se utiliza para generar principalmente destilados y tejidos con fibras. Dichos productos forestales no maderables representan 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 deserti* en el estado de Baja California”, con el fin de que se utilice como una herramienta técnica de apoyo para los técnicos y productores de zonas áridas, promoviendo su aprovechamiento con el mínimo impacto ambiental en zonas donde habita la especie. Al mismo tiempo se busca aprovechar

el máximo potencial productivo (dadas las condiciones medioambientales), favoreciendo las condiciones de vida de los habitantes de las zonas áridas y semiáridas, aplicando criterios que logren la máxima productividad, prospere la regeneración y mantenga la conservación de dicha especie.

El interés colectivo para el desarrollo y generación de herramientas tecnológicas (como mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa) es un paso significativo para quienes trabajan activamente en el cuidado del medio ambiente y la conservación de los recursos aprovechando su máximo potencial productivo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE	7
2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable del <i>Agave deserti</i>	7
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....	25
5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA	28
5.1. Ecuaciones en el estado.....	31
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

Las especies del género *Agave* se consideran especies clave en zonas áridas y semiáridas de América del Norte (Good *et al.*, 2006), particularmente en los desiertos de Sonora y Chihuahua. Alrededor del 10% de las especies conocidas de agave de México se encuentran en la Península de Baja California, y la mayoría de ellas son endémicas (Webb and Starr, 2015).

El *Agave deserti* tiene una forma una roseta de carnosas hojas verde grisáceas de entre 20 a 70 cm. de largo y 4.5 a 10 cm de ancho con afiladas espinas a lo largo de los bordes y en las puntas. Florece al alcanzar la madurez (20-40 años) emitiendo una inflorescencia de entre 2 a 6 metros de altura, muriendo la planta tras la floración. Los panículos contienen numerosas flores amarillas en forma de embudo de 3 a 6 cm de largo.

Esta especie cubre una amplia área geográfica en el sur de California y el norte de Baja California, México (subdivisión del valle del río Colorado más bajo del desierto de Sonora) y apenas en Arizona Upland y el desierto de Mohave. Los nativos de esas zonas utilizaban las fibras de las hojas para elaborar tejidos, cuerdas para los arcos y sogas; comían los tallos verdes de las inflorescencias, los capullos y los corazones de las plantas. Los nativos del sur de California cosechaban las "cabezas" de la planta y además asaban las hojas y en ocasiones la planta completa. El alimento obtenido a menudo se convertía en un elemento básico de la dieta, incluso en años de sequía. Las bebidas alcohólicas también se elaboraban con los jugos dulces de esta planta y de otras especies de agaves. Otro uso de

los agaves por los nativos fue como alimento, ornato, cobijo, combustible, extracción de ixtle, construcción de viviendas, abono del suelo entre otros usos (García-Mendoza, 2007).

Actualmente en la Península de Baja California no se tiene registro, por lo menos en los últimos 20 años, de algún tipo de aprovechamiento de *Agave deserti*. Sin embargo, tiene un uso potencial importante, principalmente alimenticio en productos como aguamiel, jugo dulce, jarabe, miel, vinagre, aguardiente, mezcal, complemento para elaboración de guisos, postre, azúcar, saborizante de tamales y pan, levadura, condimento, materia prima para preparar barbacoas, mezcal dulce y fructosa.

2. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE

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

De acuerdo con el artículo 85 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2021), y el artículo 72 del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS, 2020), este recurso forestal no maderable requiere autorización para el aprovechamiento, que se obtiene mediante solicitud que se presenta ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), mediante un formato que contenga el nombre, denominación o razón social y domicilio del propietario o poseedor del predio o conjunto de predios y, en su caso, número de oficio de la autorización en materia de impacto ambiental. El procedimiento y requisitos para la autorización para el aprovechamiento de *Agave deserti*, se muestran en la Figura 1.

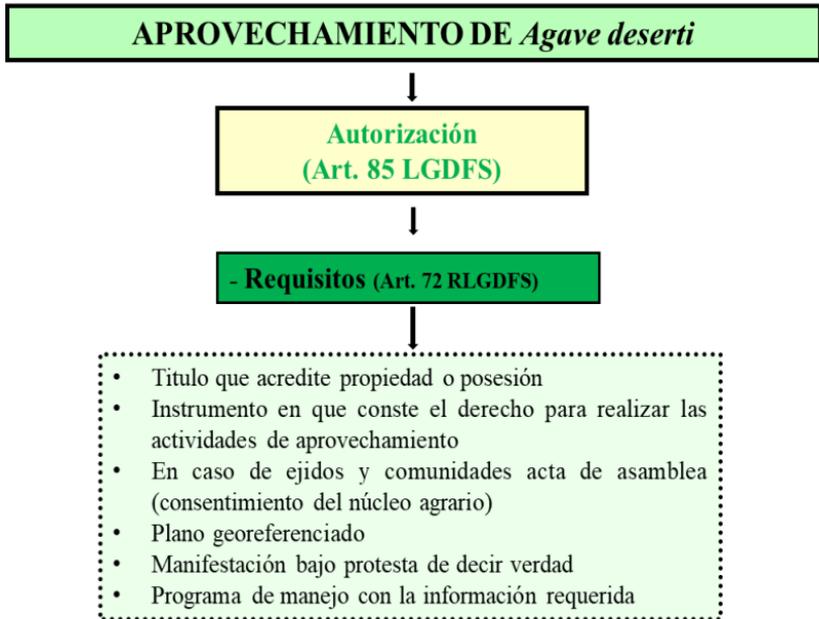


Figura 1. Requisitos que debe contener la solicitud para obtener la autorización de aprovechamiento del *Agave deserti* en México.

2.2. Leyes y Normas

Leyes vigentes

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

Leyes y Reglamentos	Artículos
<p>Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) Esta Ley hace referencia a temas del aprovechamiento sustentable y la preservación de este recurso forestal no maderable.</p>	<p>1, 3, 15, 84, 87 y 100.</p>
<p>Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) Legisla el fomento a la silvicultura, el manejo y regulación del aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables. Así como los documentos que se considerarán para acreditar la posesión o derecho para realizar las actividades mencionadas. Además de la ejecución, desarrollo y cumplimiento de los programas de manejo forestal y los estudios técnicos.</p>	<p>1, 3, 5, 7, 10, 21, 31, 39, 50, 53, 54, 55, 56, 59, 70, 84, 85, 91 y 97.</p>
<p>Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Reglamento de la LGDFS)</p>	<p>1, 2, 4, 12, 14, 18, 27, 30, 32, 33,</p>

Leyes y Reglamentos	Artículos
<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>34, 38, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 98, 141, 164, 165 y 166.</p>
<p>Ley General de Vida Silvestre (LGVS) Legisla el aprovechamiento sustentable y conservación por parte de los propietarios de un predio, de la vida silvestre que se desarrolla libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como las especies domésticas que, al quedar fuera de control del hombre, se establecen en el hábitat natural.</p>	<p>1, 3, 18, 19, 56, 83, 84 y 97.</p>
<p>Ley Agraria Estos artículos hacen mención a la personalidad jurídica de los núcleos de población ejidales o ejidos. Así como su organización económica y social para el aprovechamiento de las tierras de uso común.</p>	<p>9, 10, 73, 116 y 119.</p>
<p>Ley Federal de Procedimiento Administrativo (LFPA).</p>	<p>1, 15, 15-A, 17-A, 19 y 43.</p>

Leyes y Reglamentos	Artículos
<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>	

Normas vigentes

Las Normas Oficiales Mexicanas vigentes que se describen a continuación regulan el aprovechamiento del *Agave deserti*.

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 data-bbox="425 1129 928 1246">I. Sólo se podrán aprovechar plantas en la etapa de madurez de cosecha. <li data-bbox="425 1262 928 1378">II. Deberá dejarse distribuido uniformemente, en el área de aprovechamiento sin

Apartado	Especificaciones
	<p>intervenir, como mínimo el 20% de las plantas en etapa de madurez de cosecha, para propiciar la regeneración por semillas;</p>
Almacenamiento	<p>Los responsables de los centros de almacenamiento deberán:</p> <p>I. Solicitar la inscripción de los mismos en el Registro Forestal Nacional, acreditando su personalidad.</p> <p>II. Informar trimestralmente dentro de los primeros 10 días hábiles de los meses de abril, julio, octubre y enero de cada año, a la Delegación Federal de la Secretaría en la entidad federativa correspondiente, sobre las entradas y salidas del producto durante el trimestre inmediato anterior.</p>
Transporte	<p>El transporte de las plantas completas, desde el predio bajo aprovechamiento, hacia los centros de almacenamiento o de transformación, se realizará al amparo de remisión o factura comercial, expedida por el dueño o poseedor del recurso, o el responsable del centro de almacenamiento, siempre y cuando dicho</p>

Apartado	Especificaciones
	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 deserti*, se debe de entrar al contexto de las técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie, es necesario enfatizar primero los conceptos de catastro y división dasocrática. Donde en el primer concepto se busca recabar toda la información necesaria acerca de un área o superficie de

estudio conjuntando la documentación legal y planos geográficos para ubicarla en un espacio municipal, regional, estatal y nacional. Este procedimiento conlleva al análisis espacial de los vértices, linderos, superficies con apoyo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), con reconocimiento en campo, si es necesario, para finalmente elaborar la cartografía temática del área de estudio. Por otra parte, el término de división dasocrática hace referencia a una unidad mínima de manejo que bien puede ser un rodal o un subrodal, entendiéndose a éstos como el área definida por características permanentes como el suelo, pendiente, parteaguas y arroyos. El rodal es la unidad básica de manejo y sobre todo de seguimiento a las variables forestales a través del tiempo y como tal, debe ser permanente a través de los ciclos de corta sucesivos, aun cuando haya cambios en la vegetación, tal como se establece en la NOM-152-SEMARNAT-2006.

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

- 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 m² (radio = 12.6157 m) o de 1000 m² (radio = 17.8412 m). Entre más pequeño sea un sitio, más fácil y precisa será su delimitación.

- 5. Intensidad de muestreo en porcentaje.** La intensidad o fracción de muestreo es la relación porcentual de la superficie de la muestra con respecto a la superficie total. Normalmente, en inventarios forestales se han utilizado intensidades de muestreo del orden de 1%, 0.5% y 0.1%, dependiendo de varios factores; superficie por inventariar, factores económicos, precisión requerida, etcétera. Por ello, podemos definir la intensidad de muestreo de acuerdo a la precisión con la que deseamos medir las características de la población de estudio y el costo que esto conlleva, recomendándose en base a la experiencia de los autores una intensidad de muestreo mayor de 1% y hasta el 3%.
- 6. Información a medir.** En cada uno de los sitios se medirán las siguientes variables: Diámetro de cobertura Norte-Sur (DC_{NS} , cm), Diámetro de cobertura Este-Oeste (DC_{EO} cm) y Altura total (H , cm). En gabinete se obtendrá el diámetro promedio de cada una de las plantas evaluadas. Empleando la ecuación alométrica generada en el presente documento, se sustituye el valor de las variables indicadas y se obtiene el volumen o biomasa por individuo, por sitio o hectárea. Para ello, en el caso de estimaciones de biomasa o volumen promedio por sitio, se realiza la sumatoria de la biomasa o volumen total de cada sitio y se divide entre el número de ellos. Para estimaciones de biomasa o volumen promedio por hectárea ($Ha^{-1} = 10,000 m^2$), el volumen o biomasa promedio por sitio se multiplica por un factor de superficie que depende del tamaño del sitio y se

obtiene el correspondiente a una hectárea (Berlanga *et al.*, 1992).

4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO

Las siguientes mejores prácticas de manejo se realizaron con base en el diagnóstico de cómo se aprovecha actualmente la especie de *Agave deserti* en el estado de Baja California, 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.

Para el aprovechamiento del *Agave deserti* en el estado de Baja California se propone la siguiente clasificación de etapas de crecimiento de la especie:

- **Hijuelos:** Brotan a partir de las raíces o tallos subterráneos; al igual que los bulbilos se consideran clones, genéticamente iguales a la planta de origen; los agaves producen hijuelos a lo largo de su vida, antes de llegar a la floración, pero no es una característica presente en todas las especies de agave.

- **Renuevos:** En esta clasificación se incluyen todas las plantas pequeñas con diámetro de la piña menor o igual a 10 cm, y altura total máxima de 40 cm; se considera que las plantas tienen una edad inferior a 3 años. Se encuentran aislados de otras plantas que pudieran ser considerados como hijuelos.
- **Juveniles:** Esta clasificación comprende los agaves que tienen entre 11 y 20 cm de diámetro de la piña y entre 40 y 70 cm de altura; se considera que tienen entre 4 y 5 años de edad.
- **Medianos:** Entran en esta categoría los agaves que tienen entre 21 y 30 cm de diámetro de piña y altura total de la planta entre 71 y 100 cm; la edad aproximada de los medianos oscila entre 6 y 8 años.
- **Grandes:** En esta categoría se consideran aquellos agaves con diámetros de la piña superiores a 30 cm y con altura mayor a los 100 cm; se trata de ejemplares con edades entre 9 y 12 años, pero que aún no alcanzan la etapa de madurez, al no presentar el escape floral.
- **Maduros quietados o volados:** Por lo general presentan diámetros de la piña superiores a 30 cm y altura promedio mayor de 100 cm; se trata de ejemplares que tienen entre 12 y 15 años de edad. En esta categoría entran todas las plantas que presentan su escape floral o están a punto de emergerlo (torunos) y son comúnmente los agaves más grandes (Figura 2). Los volados son productores de semilla porque es la etapa en la cual llegan a la culminación de su ciclo biológico, dejándose “sin capar” para que maduren,

floreen, produzcan semillas y establezcan la regeneración natural de las áreas bajo manejo.

- **Maduros capados:** Son aquellos agaves a los que se les impidió el crecimiento del escapo floral o quiotte mediante un corte realizado manualmente, regularmente con machete, conociéndose como “capados” para ser aprovechados para la elaboración de bebidas alcohólicas y endulzantes. Se trata de ejemplares en etapa de madurez de cosecha (factibles de aprovechamiento).



Figura 2. Ejemplo de *Agave deserti* maduro quiotado o volado.

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

- Utilizar herramientas de corte adecuadas, como la coa agavera, para minimizar el esfuerzo de los jimadores.
- Organización de los trabajadores en las diferentes actividades como corte, deshoje de la piña, traslado a la brecha de saca y carga de la materia prima.
- Capacitar al personal para realizar las actividades de selección de las plantas a aprovechar, que en este caso serán agaves maduros capados, usando las coas agaveras.

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

Se proponen las siguientes técnicas en la mejora de la extracción del *Agave deserti* en el estado:

- Ampliar la infraestructura caminera, debido a que las grandes distancias de las áreas de corta a las brechas de extracción disminuyen el rendimiento de los jimadores.
- Establecer un programa de mantenimiento periódico de la red caminera que garantice el tránsito durante toda la temporada de aprovechamiento.
- Inversión en maquinaria para la molienda de las piñas y la extracción del destilado de agave.
- Adquirir las herramientas adecuadas para el corte de las hojas y pelado de la piña.

4.3. Reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales

El *Agave deserti* es uno de los agaves más adaptados al desierto y se desarrolla en terrenos arenosos. La reforestación con fines de enriquecimiento y permanencia de la especie en rodales, se recomienda su aplicación en áreas 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. Los pasos a seguir para la reforestación con fines de enriquecimiento de rodales de *Agave deserti*, se describen a continuación:

- 1. Selección de material para la reforestación:** el germoplasma debe obtenerse de la misma región donde se establecerá la reforestación; puede ser semilla (sexual) o esquejes o varetas (asexual) provenientes de las poblaciones con mayor abundancia, para no poner en riesgo la permanencia de la especie.
- 2. 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).

3. **Densidad de reforestación:** la distancia promedio a la que debe estar separada con una separación de 4x4 o 4x5 m, o también a curvas de nivel en terrenos con pendiente; es importante dejar callejones para el acceso para dar mantenimiento, con este método se obtendrá una densidad recomendada de 5,000 individuos por hectárea.
4. **El diseño de la reforestación:** se propone que sea a marco real, es decir, las plantas se colocan formando cuadros o rectángulos. Se recomienda utilizarlo en terrenos planos o con pendientes menores a 20%.
5. **Establecimiento de la reforestación:** el establecimiento de la planta puede ser a 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. **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.

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

5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

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

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

5.1. Ecuaciones en el estado

En el Cuadro 1, se muestran las estadísticas descriptivas del componente de piña verde, 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 Baja California. 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 deserti* colectada en el estado de Baja California.

Variable	No. Obs	Media	Std Dev	Min.	Max.
<i>DC (cm)</i>	150	63.91	15.87	40.00	112.50
<i>H (cm)</i>	150	73.82	20.33	35.00	115.00
<i>Piña verde (kg)</i>	150	12.71	7.43	2.82	34.48
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	1.63	1.39	0.30	6.52
<i>Penca verde (kg)</i>	150	15.84	9.83	1.52	43.22
<i>Peso total (kg)</i>	150	30.18	17.14	6.28	70.56

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

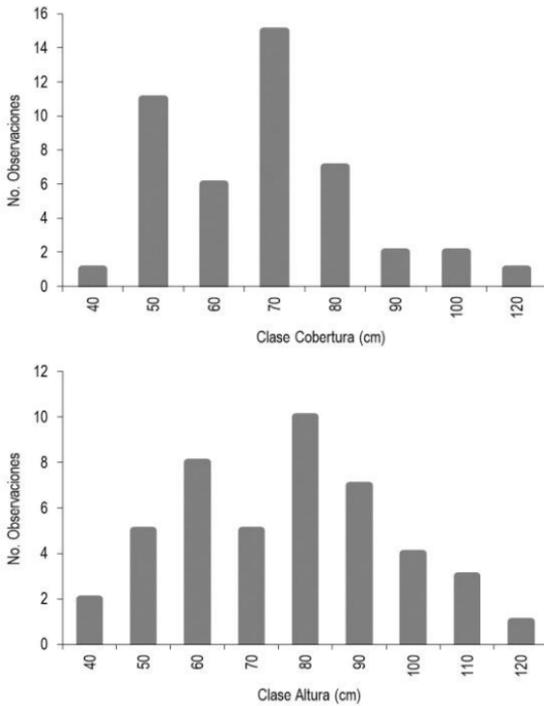


Figura 4. Distribución de la cobertura y altura de las plantas muestra en el estado de Baja California.

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 deserti*, en el estado se muestra en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación del peso verde por componente y peso total de *Agave deserti* en Baja California.

Componente	Modelo	No.
Piña verde	$W_{st} = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H))$	(1)
Cogollo verde	$W_c = \exp(b_2 + b_3 \ln(DC * H))$	(2)
Penca verde	$W_l = \exp(b_4 + b_5 \ln(DC))$	(3)
Peso total	$W_t = \exp(b_0 + b_1 \ln(DC * H)) + \exp(b_2 + b_3 \ln(DC * H)) + \exp(b_4 + b_5 \ln(DC))$	(4)

Dónde: W = 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), \ln =logaritmo natural, \exp = exponente.

Cuadro 3. Estimación de los parámetros, contrastes de significación aproximados, y estadísticos de bondad de ajuste para las ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación de peso verde por componente y total de *Agave deserti* en Baja California.

Componente	Parámetro	Estimación	Error estándar aprox.	t	Prob.		REMC (kg)
					Aprox	$> t $	
Piña verde	b ₀	-7.48216	0.7047	-10.62	<.0001	0.88	2.40
	b ₁	1.178152	0.0802	14.69	<.0001		
	b ₂	-9.39355	1.5284	-6.15	<.0001	0.62	0.57
Cogollo verde	b ₃	1.144453	0.1741	6.57	<.0001		
	b ₄	-6.22847	1.0296	-6.05	<.0001	0.73	5.17
Penca verde	b ₅	2.155146	0.2378	9.06	<.0001		
Peso total						0.87	6.24

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

Ejemplo práctico de la aplicación de las ecuaciones alométricas:

Para estimar la biomasa de la penca verde del agave, sería como se explica a continuación. Supongamos que una planta de agave tiene una cobertura(D) de 115 cm:

Información dasométrica: $DC = 115 \text{ cm}$

Ecuación para estimar la biomasa de la penca verde:

$W_l = \exp(b_4 + b_5 \ln(DC))$, se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 3.

$$W_l = \exp(-6.22847 + 2.155146 \ln(115)).$$

$W_l = 54.46 \text{ kg}$; biomasa total de la piña.

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

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

Estado	Municipio	Pedio
Baja California	Ensenada	Ejido General Francisco R. Serrano Tribu Quilihuas

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 deserti*. 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 deserti* 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.

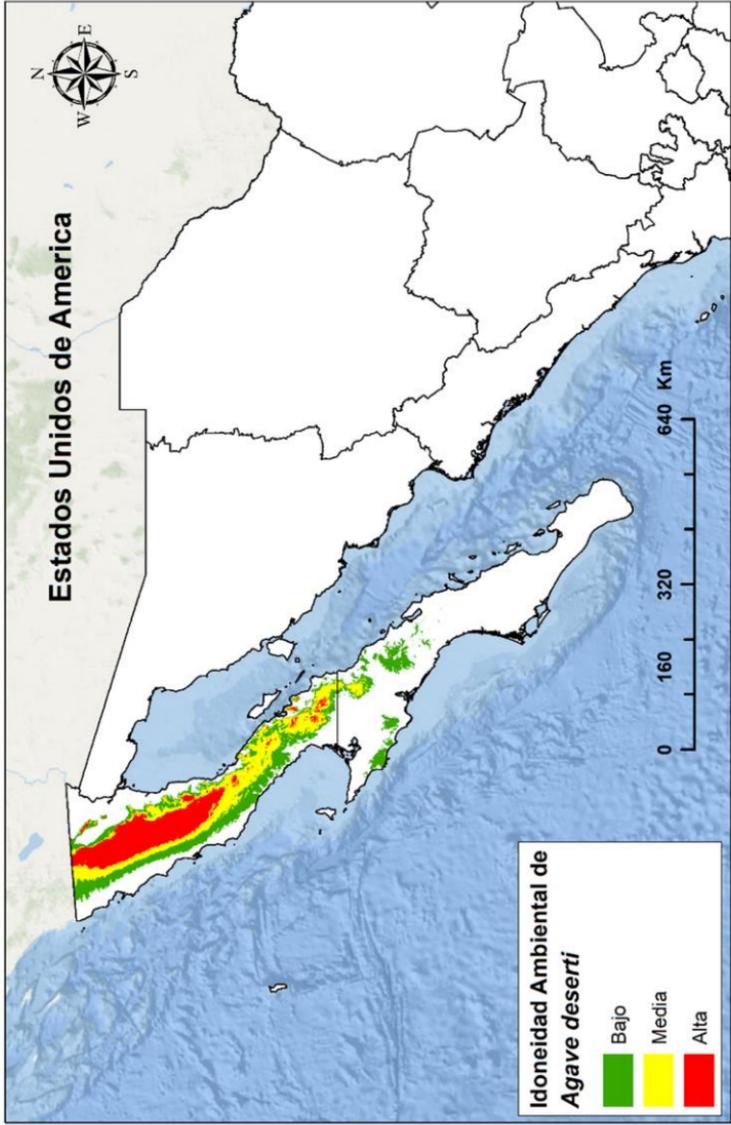


Figura 5. Clases de idoneidad ambiental para *Agave deserti* generadas a partir de modelos de distribución potencial.

7. CONCLUSIONES

- Se deben promover las reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales de esta especie, con el fin de establecer esquemas de recuperación de área de aprovechamiento de *Agave deserti*.
- La elaboración de las ecuaciones de biomasa y de tablas de volumen serán herramientas importantes para la estimación precisa de las tasas de aprovechamiento del *Agave deserti*.
- Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Agave deserti* generadas para el estado, constituyen una herramienta útil para estimar con precisión la biomasa verde de la especie en los programas de manejo, asegurando un menor sesgo en las estimaciones totales.
- El mapa de distribución potencial del *Agave deserti* presentado en este documento representa un esquema gráfico de áreas o regiones con diferente grado de potencial productivo, para el establecimiento de áreas de conservación y programas de reforestación de la especie.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Berlanga R., C. A., L. A. González L. y H. Franco L. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Campo Experimental "La Saucedá". CIRNE. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 1. Saltillo, Coahuila, México. 22 p.
- Gadow, K. and Hui, G. 1999. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- García-Mendoza, A. 2002. Distribution of the genus *Agave* (Agavaceae) and its endemic species in Mexico, en *Cactus and Succulent Journal* (us), núm. 74, 177-187 pp.
- Garzuglia, M. and M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass: review of FRA 2000 estimates. Forest Resources Assessment WP 68. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Italy. 30 p
- Good, S., Souza, V. and S Gaut. 2006. Timing and rate of speciation in *Agave* (Agavaceae). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103. 9124-9. 10.1073/pnas.0603312103.
- INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía; Nota técnica univariada. 17 p.
- Leal-Nares, O., M. E. Mendoza, D. Pérez, D. Geneletti, E. López y E. Carranza. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 1152-1170.
- LGDFS. 2021. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 26-04-2021.
- López B. L. A. 2005. El sotol en Coahuila, potencialidades y limitaciones. Capítulo 3. In: Contreras D., C. e I. Ortega R. 2005. *Bebidas y Regiones: Historia e impacto de la cultura etílica en México*. Plaza y Valdés, S.A de C.V. 200p.
- Madrigal Collazo, A. 1994. Ordenación de montes arbolados.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapired. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- RLGDFS. 2020 reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 09-12-2020.

SAS Institute. 2009. SAS Proprietary Software Version 9.3. SAS Institute, Cary, NC.

Webb, R. and Starr, G. 2015. Gentry Revisited: The Agaves of Baja California, Mexico. *Haseltonia*. 20. 64-108.

9. GLOSARIO

Esqueje. Se le llama esqueje, estaca o estaquilla al trozo de tallo, de hoja o de raíz que se pone a enraizar

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.

Rodalización. Proceso que consiste básicamente en definir los rodales que tiene en un área, entendiendo como rodal el espacio continuo en el que la disposición de la vegetación dominante responde a unas mismas características en cuanto a su grado de cubierta, composición específica, regularidad, tamaño de los individuos, densidad y patrón de distribución de estos caracteres.

10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS

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



Fondo
CONACYT
CONAFOR

**Fondo Sectorial para la
Investigación, el Desarrollo y la
Innovación Tecnológica Forestal**



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología