



Fondo  
**CONACYT**  
**CONAFOR**



**UJED**  
Universidad Juárez  
del Estado de Durango



**CONAFOR**



**CONACYT**



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

## Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de *Yucca valida* en el estado de Baja California



## 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 *Yucca valida* 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 *Yucca valida*, que se usa como medicina naturista, como espumante y saborizante en la industria de refrescos y alimentos. 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 *Yucca valida* 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 .....	6
2. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE .....	8
2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable de <i>Yucca valida</i> . ...	8
2.2. Normas y leyes.....	10
3. INVENTARIO FORESTAL CON FINES MANEJO .....	17
3.1. Técnicas de muestreo para la evaluación de las poblaciones naturales de la especie. ....	17
4. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO .....	22
4.1. Mejoras en las técnicas de aprovechamiento de la especie..	22
4.2. Mejoras en las técnicas de extracción y beneficio del producto final.....	23
4.3. Reforestación con fines de enriquecimiento de rodales .....	24
5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA .....	27
5.1. Ecuaciones alométrica para el estado.....	30
6. MAPA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE.	35
7. CONCLUSIONES .....	38
8. BIBLIOGRAFÍA.....	39
9. GLOSARIO .....	41
10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	42

## 10. INTRODUCCIÓN

La riqueza de especies de zonas áridas de la Península de Baja California es de las más altas de México; especies como *Yucca valida* y *Yucca schidigera* son utilizadas para obtener diferentes productos, principalmente para la industria alimentaria de ganado y de mascotas.

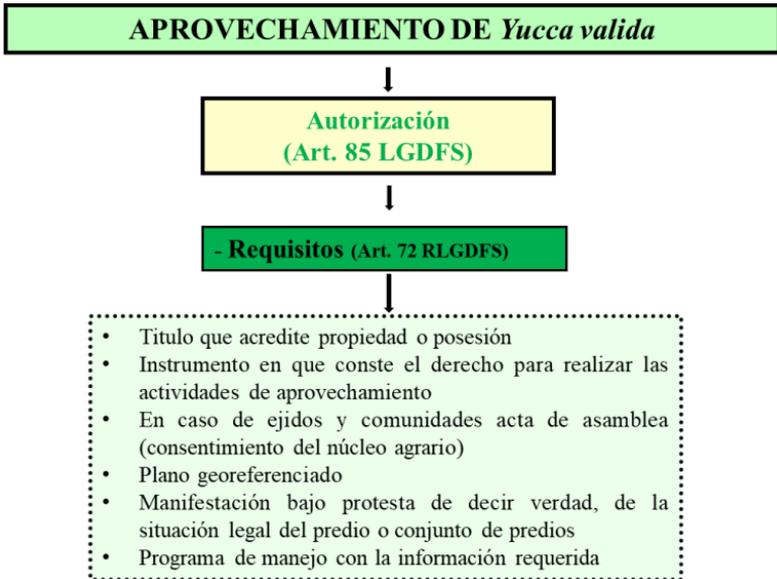
La especie *Yucca valida* conocida comúnmente como datilillo, es una planta fanerógama nativa de la península de Baja California. La especie es perene y de hábito arbóreo llegando a alcanzar tamaños de hasta 12 metros de altura, siendo una de las especies más conspicuas de los desiertos bajacalifornianos (Shreve y Wiggins, 1951; Turner *et al.*, 1995). Esta característica es de relevancia ecológica ya que provee sombra y refugio a múltiples especies de fauna y flora nativa (Servín *et al.*, 2010). La polinización de *Yucca valida* es llevada a cabo por la polilla *Tegeticula baja*, la cual es endémica de la península de Baja California y poliniza tanto a *Yucca valida* como a su especie hermana de la región del Cabo *Yucca capensis*. El datilillo, se encuentra asociada a *Yucca whipplei* subsp. *eremica*, *Echinocereus lindsayi*, *Echinocereus ferreirianus*, *Pachycereus pringlei*, *Idria columnaris* y especies de *Agave* y *Opuntia*. (<https://www.naturalista.mx/taxa/290893-Yucca-valida>). Por otra parte, la *Yucca valida* es una importante fuente de saponinas esteroides, estrechamente relacionadas con *Yucca schidigera*, especie que se aprovecha comercialmente como fuente de extractos esteroides (Arce-Montoya *et al.*, 2006).

El aprovechamiento de *Yucca valida* es una actividad económica que representa empleo para ejidatarios y jornaleros involucrados en los diferentes procesos, desde la toma de datos para la elaboración de estudios y programas de manejo, hasta la entrega al comprador. En el estado de Baja California la tasa de aprovechamiento de *Yucca valida* es del 50% de las existencias reales totales estimadas en los programas de manejo, sin embargo, no existen datos específicos de producción de la *Yucca valida*.

# 11. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA ESPECIE

## 2.1. Procedimientos legales para la autorización del aprovechamiento forestal no maderable de *Yucca valida*.

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 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 de la autorización del aprovechamiento de *Yucca valida*, se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Requisitos que debe contener la autorización aprovechamiento de *Yucca valida* en México.

## 2.2. Normas y leyes

### Leyes vigentes

La legislación vigente que se describe a continuación regula el aprovechamiento de *Yucca valida*.

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, 1, 21, 31, 39, 50, 53, 54, 55, 56, 59, 70, 84, 85, 91 y 97.</p>
<p><b>Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Reglamento de la LGDFS)</b></p>	<p>1, 2, 4, 12, 14, 18, 27, 30, 32, 33,</p>

<b>Leyes y Reglamentos</b>	<b>Artículos</b>
<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. Además de los criterios, las especificaciones técnicas y los periodos de aprovechamiento de los recursos forestales no maderables.</p>	<p>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>            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>            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 *Yucca valida*.

Norma Oficial Mexicana **NOM-005-SEMARNAT-1997** que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cortezas, tallos y plantas completas de vegetación forestal.

Apartado	Especificaciones
Aprovechamiento	<p>Con excepción de las plantas completas de cactáceas y la <i>Yucca</i> spp., 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 de cogollos quedará sujeto a los siguientes criterios y especificaciones técnicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="433 1129 924 1251">I. Sólo se podrán aprovechar plantas en la etapa de madurez de cosecha.</li> <li data-bbox="433 1264 924 1383">II. Deberá dejarse distribuido uniformemente, en el área de aprovechamiento sin</li> </ol>

Apartado	Especificaciones
	<p>intervenir, como mínimo el 20% de las plantas en etapa de madurez de cosecha, para propiciar la regeneración por semillas;</p> <p>Cuando se aprovechen plantas completas de otras especies diferentes a las mencionadas en la presente Norma, el responsable técnico establecerá los criterios y especificaciones técnicas en la notificación respectiva.</p>
Del almacenamiento	<p>Los responsables de los centros de almacenamiento deberán:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Solicitar la inscripción de los mismos en el Registro Forestal Nacional, acreditando su personalidad.</li> <li>II. Informar trimestralmente dentro de los primeros 10 días hábiles de los meses de abril, julio, octubre y enero de cada año, a la Delegación Federal de la Secretaría en la entidad federativa correspondiente, sobre las entradas y salidas del producto durante el trimestre inmediato anterior.</li> </ol>

Apartado	Especificaciones
Transporte	El transporte de corteza, tallos y plantas completas, desde el predio bajo aprovechamiento, hacia los centros de almacenamiento o de transformación, se realizará al amparo de remisión o factura comercial, expedida por el dueño o poseedor del recurso, o el responsable del centro de almacenamiento, siempre y cuando dicho producto se transporte en cualquier vehículo automotor.

### NOM-152-SEMARNAT-2006

Norma Oficial Mexicana **NOM-152-SEMARNAT-2006**, que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas.

En el apartado 5 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 maderable y no maderable	Cuando se pretenda solicitar una autorización de aprovechamiento de Recursos Forestales No Maderables, para los recursos indicados en el artículo

Apartado	Especificaciones
	<p>85 de la Ley (LGDFS). De acuerdo con el artículo 72 del Reglamento (RLGDFS), las solicitudes se presentarán ante la Secretaría y contendrán el nombre o denominación o razón social y domicilio del interesado. En su caso, se señalará el número de oficio y fecha de la autorización en materia de impacto ambiental. Asimismo, con la solicitud a que se refiere el presente artículo deberá presentarse un programa de manejo forestal (Artículo 72, fracción VI), con los requisitos que se establecen en el artículo 73 del Reglamento (RLGDFS).</p>

## 12. INVENTARIO FORESTAL CON FINES 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 *Yucca valida* 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 *Yucca valida*, 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 *Yucca valida*:

- 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 factores como; 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).

### 13. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO

Las siguientes mejores prácticas se realizaron en base al diagnóstico de cómo se aprovecha actualmente la especie de *Yucca valida* 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” y estas son formuladas por un grupo de investigadores de 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

Como ya se indicó anteriormente, el uso de esta planta es muy variado y va desde el consumo como alimento hasta material de construcción. Pero todos estos aprovechamientos son utilizados de manera artesanal por los habitantes del territorio, del cual es nativo este género, y esto representa una problemática común que compromete la conservación de la especie, por tratarse de una especie de lento crecimiento y desarrollo. Con base a lo anterior, se propone como mejora en la técnica de aprovechamiento que sólo se aprovechen aquellos individuos de mayor tamaño con fuste libre y medidas superiores a 1.5 m, las cuales son consideradas como medidas

comerciales. El corte debe efectuarse con la herramienta “hacha” cerca del nivel del suelo. Además, se propone establecer parcelas de investigación en los predios con aprovechamiento para monitorear la dinámica de crecimiento de la especie, específicamente de las plantas no aprovechadas. Realizar acomodo de las hojas y residuos no aprovechables contra pendiente para prevenir la erosión de los suelos y propiciar la retención de humedad en el suelo.

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

La importancia económica de la *Yucca valida*, radica principalmente en la obtención de productos que se utilizan como medicina naturista, como espumante y potenciador de saborizantes en la industria de refrescos y alimentos, y en forma destacada, como aditivo para alimentos de animales en las industrias avícola, porcícola y de bovinos. Adicionalmente se usa también, como aditivo para el tratamiento de aguas residuales y en la reducción de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y malos olores. En este sentido, se proponen que la extracción de la especie, se realice a fines de los temporales de lluvia y durante el mes que precede a éstos durante, es decir, durante los meses de marzo, abril y mayo; así como, en septiembre y octubre. En este periodo de tiempo se garantizan mejores características de la planta para su extracción.

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

Para el establecimiento de reforestaciones con fines de enriquecimiento de rodales de *Yucca valida*, 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. En Baja California existe interés en la implementación de reforestaciones de *Yucca valida*, debido principalmente al potencial productivo y económico que representa para asegurar el abasto a las industrias establecidas en el estado. Sepúlveda (1994), menciona que la producción proveniente de poblaciones naturales cubre solo el 40% de la capacidad instalada de la industria. Los pasos a seguir para la reforestación con fines de enriquecimiento de rodales de *Yucca valida*, se describen a continuación:

- 1. Recolección de germoplasma de buena calidad.** El germoplasma debe ser recolectado en la misma región donde se establecerá la plantación, para lo cual se debe contar con los permisos correspondientes por parte de la SEMARNAT. El germoplasma puede ser semilla o hijuelos provenientes de las poblaciones con mayor abundancia, para no poner en riesgo la permanencia de la especie.

2. **Producción de planta en vivero.** Se puede producir planta en envases o en camas semilleras, se recomienda el uso de tierra de monte de la región donde se distribuye de manera natural la especie.
3. **Mantenimiento de planta en vivero.** Las actividades principales son el suministro de agua mediante riego y el monitoreo de la sanidad de las plantas. Las principales amenazas son la presencia de hongos, los cuales se pueden evitar con periodos de riego con intervalos de una semana, y el ataque de hormigas, los cuales se pueden combatir con productos químicos (Sepúlveda, 1994). Se requiere de cuidados especiales durante el invierno ya que la planta es susceptible de quemaduras por heladas.
4. **Traslado de la planta al terreno.** Esta actividad es de suma importancia, ya que, en la mayoría de las especies forestales, el transporte maltrata la planta, sobre todo en aquellas que tienen envases de bolsa de polietileno; normalmente se utilizan camiones con redilas que protejan la planta del aire.
5. **Preparación del terreno para la plantación.** Consiste en ablandar el terreno mediante un subsoleo o rastreo para establecer las líneas de plantación o surcos; la separación entre planta y planta puede ser de 3 m y entre hileras de 4 m para facilitar las labores culturales.
6. **Instalación del sistema de riego.** Es recomendable establecer riego por goteo para un uso más eficiente del agua; debido a que son zonas con poca disponibilidad, se utiliza manguera con “spaguettis” de goteo en cada

planta, de ser necesario se puede aplicar riegos con fertilizantes.

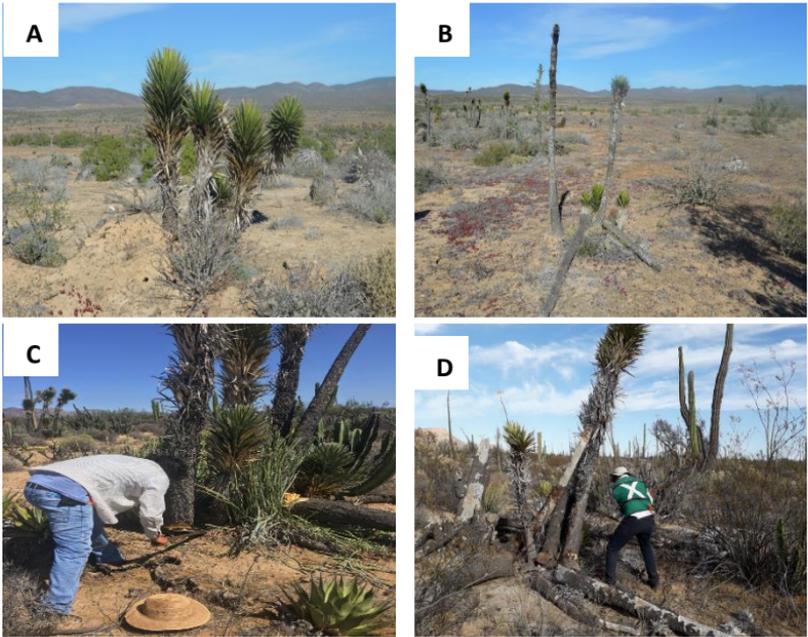
7. **Establecimiento de la planta en el terreno.** El establecimiento de la planta puede ser a marco real con una separación de 3x4 m, o también a curvas de nivel en terrenos con pendientes; es importante dejar callejones para el acceso para mantenimiento.
8. **Mantenimiento de la plantación.** Aplicación de labores culturales como podas, deshierbes, control de malezas, plagas y enfermedades.

## 5. ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA

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

El muestreo utilizado para el desarrollo de las ecuaciones alométricas de biomasa consistió en seleccionar aleatoriamente 150 individuos en el estado, los cuales fueron muestreados considerando sus dimensiones estructurales (altura de la planta y diámetros de cobertura) siguiendo una distribución uniforme; es decir tratando que fuera la misma cantidad de individuos en todas las categorías de diámetro de cobertura y altura. Para cada individuo se midió la altura total (H, cm) y el diámetro de la cobertura (DC, cm). Una vez derribados, se separaron las siguientes fracciones de biomasa: cogollo, tallo y hoja verde. Cada fracción se pesó en verde utilizando una báscula con una precisión de  $\pm 1$  g (ver Figura 1). 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, tallo, hoja 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 2.** Muestreo realizado en el estado de Baja California. A) Planta completa muestreada, B) Ubicación de la planta, C) Extracción de la planta, D) Separación de los componentes, E) Cogollo verde y F) Transporte de tallo para su peso.

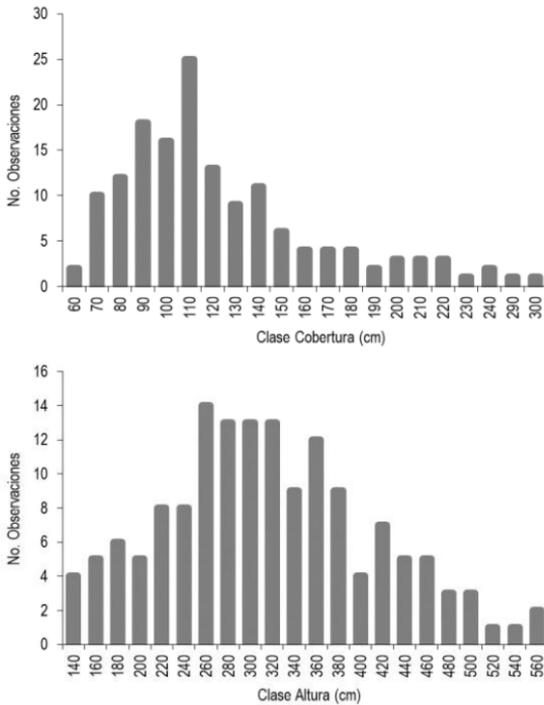
## 5.1. Ecuaciones alométrica para el estado

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas por componente (cogollo, tallo, hoja 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 2, 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 *Yucca valida*, colectada en el estado de Baja California.

<b>Variable</b>	<b>No. Obs</b>	<b>Media</b>	<b>Std Dev</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
<i>D (cm)</i>	150	120.3	45.2	55.0	300.0
<i>H (cm)</i>	150	309.6	95.1	122.0	554.0
<i>Tallo verde (cm)</i>	150	27.710	19.606	4.400	123.380
<i>Cogollo verde (kg)</i>	150	3.869	3.068	0.180	23.540
<i>Hoja verde (kg)</i>	150	3.534	2.135	0.040	14.320
<i>Total (kg)</i>	150	35.112	23.165	5.420	148.860

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



**Figura 2.** 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 *Yucca valida*, en el estado de Baja California 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 *Yucca valida* en Baja California.

<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>No.</b>
Tallo verde	$W_l = b_0 DC^2 + b_1 DC * H$	(1)
Cogollo verde	$W_c = exp(b_2 + b_3 ln(DC))$	(2)
Hoja verde	$W_c = exp(b_4 + b_5 ln(DC))$	(3)
Total	$W_l = b_0 DC^2 + b_1 DC * H + exp(b_2 + b_3 ln(DC)) + xp(b_4 + b_5 ln(DC))$	(4)

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 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 *Yucca valida* en Baja California.

Componente	Parám.	Estimación	Error estándar	t	Prob.		
					Aprox	R <sup>2</sup>	
Tallo verde	b <sub>0</sub>	-0.00035	0.00012	-2.9	0.0042	0.8115	7.0015
	b <sub>1</sub>	0.000861	0.000055	15.6	<.0001		
Cogollo verde	b <sub>2</sub>	-5.20681	0.4547	-11	<.0001	0.6097	1.3205
	b <sub>3</sub>	1.352049	0.0908	14.9	<.0001		
Hoja verde	b <sub>4</sub>	-3.61556	0.355	-10	<.0001	0.6009	1.0347
	b <sub>5</sub>	1.029399	0.0724	14.2	<.0001		
Peso total						0.8217	7.99

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 del cogollo verde de la *Yucca valida* en Baja California, sería como se explica a continuación.

Supongamos que una planta de *Yucca valida* tiene una altura total (H) de 140 cm y una cobertura (D) de 200 cm; y si quisiéramos saber el volumen del cogollo verde, se aplicaría la ecuación del componente cogollo verde, como se muestra de la siguiente manera:

Información dasométrica:  $H=140\text{ cm}; D=200\text{ cm}$

Ecuación para estimar el volumen verde la piña:

$W_c = \exp(b_2 + b_3 \ln(DC))$ , se sustituyen las variables con los valores del Cuadro 2;

$$W_c = \exp(-5.20681 + 1.352049 \ln(200))$$

$W_c = 7.07\text{ kg}$ ; de biomasa del cogollo verde dadas esas condiciones de la planta.

En el Cuadro 6 se muestra los predios del estado de Baja California donde se llevó a cabo el muestreo.

**Cuadro 6.** Municipios y predios en donde se llevó a cabo el muestreo en el estado de Baja California.

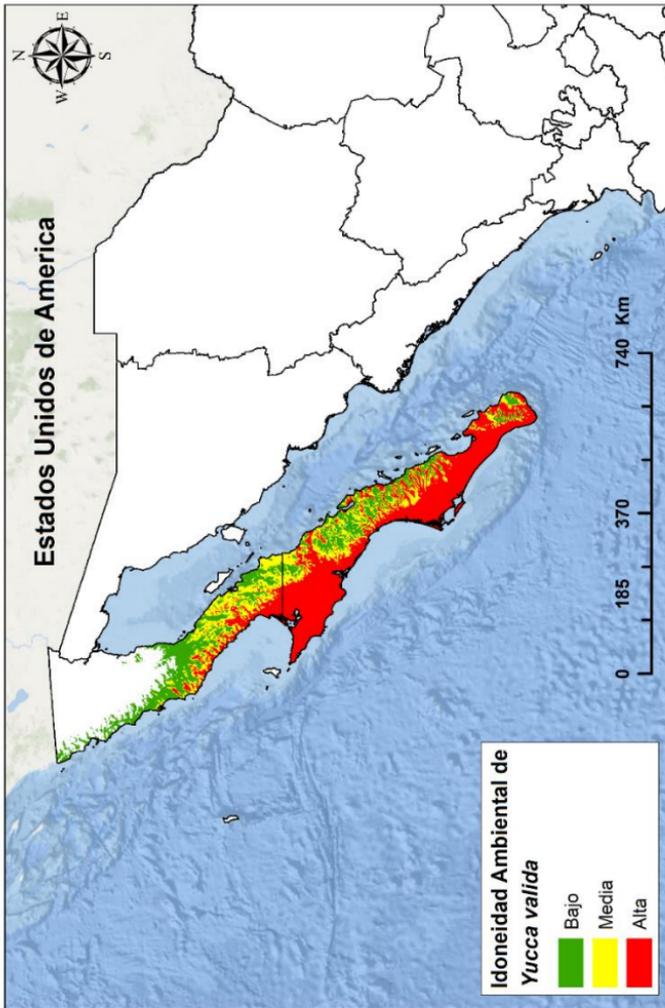
Estado	Municipio	Predio
Baja California	Ensenada	Ejido Revolución
		Ejido Juárez

## 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 *Yucca valida*. A pesar de que los modelos de distribución pueden ser muy robustos en la ubicación de sitios potenciales, se recomienda considerar terrenos con condiciones de suelo y

relieve similares a zonas donde la especie se desarrolla de manera natural.

La Figura 4 muestra el mapa del área de distribución potencial de *Yucca valida*, 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 de la especie. El mapa cuenta con una escala de idoneidad que va desde 0 a 1 (cero es inexistencia de condiciones adecuadas para la especie y 1 es presencia de condiciones óptimas). Posteriormente, se reclasificaron estos valores mediante el procedimiento estadístico de Método de Cuantiles Relativos (INEGI, 2010), para obtener las regiones de clases de idoneidad ambiental de potencial Bajo, Media y Alta. Entendiéndose por “Alta” aquellas áreas donde existen las mejores condiciones climáticas para la especie.



**Figura 4.** Clases de idoneidad ambiental para la *Yucca valida* generadas a partir de modelos de distribución potencial.

## 7. CONCLUSIONES

Las actividades de monitoreo de las densidades residuales en las colonias de *Yucca valida* no aprovechadas, son importantes para determinar la capacidad de desarrollo de la especie; por otro lado, el seguimiento en las poblaciones aprovechadas permitirá conocer su capacidad de recuperación. Los predios con antecedentes de aprovechamiento producen un mayor número de individuos comparado con áreas sin aprovechamiento previo; el efecto que tiene la eliminación de los individuos adultos permite un desarrollo más dinámico en la estructura vertical de las colonias de yuca, ocasionada por la liberación de los individuos de las categorías inferiores.

Las ecuaciones alométricas de biomasa de *Yucca valida* generadas por 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 *Yucca valida* 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 Sauceda". CIRNE. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 1. Saltillo, Coahuila, México. 22 p.
- Flores-Nieves et. al. s/f. Modelos para estimación y distribución. Revista Mexicana Científica Forestal, Vol. 2 Num. 8
- Gadow, K. and Hui, G. 1999. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- 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
- Hasting J.R. et al. 1972. An Atlas of some plants distributions in the Sonoran Desert. Technical Reports on the meteorology and climatology of Arid Regions. No. 21. The University of Arizona, Institute of Atmospheric and Physics.
- 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.
- Sepulveda-Betancourt J.I. 1994. La Palmilla *Yucca schidigera* en Baja California. Folleto Técnico Número 8. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.
- Servín, R., Tejas, A., Palacios, C., Cota, A., Domínguez, R., y Domínguez, M. (2010). Seasonal and host-plant associated population changes of *Homalodisca liturata* Ball in northwest Mexico. *Southwestern Entomologist*, 35(3): 251-260.
- Shreve, F., y Wiggins, I. L. 1951. Vegetation of the Sonoran desert. Carnegie institution of Washington.
- Turner, R. M., Bowers, J. E., y Burgess, T. L. 1995. Sonoran Desert plants: an ecological atlas. University of Arizona Press.
- Wiggins, I.L. 1953. Yucas of the Southwest. *Agric. Mon.* 17 6-91. U.S.A.

## 9. GLOSARIO

**Ecuación alométrica.** Fórmula matemática que representa la relación entre la biomasa y el diámetro o la altura de la planta y permite realizar predicciones con bajos requerimientos de datos.

**Especie.** Unidad básica de clasificación de los organismos; incluye a todos los individuos que se parecen entre sí más que a otros y que producen descendencia fértil.

**Manejo forestal sustentable.** Es el proceso que comprende el conjunto de acciones y procedimientos que tienen por objeto la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal, considerando los principios ecológicos, respetando la integralidad funcional e interdependencia de recursos y sin que disminuya o ponga en riesgo la capacidad productiva de los ecosistemas y recursos existentes en la misma.

**Norma Oficial Mexicana.** La regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias competentes, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

**Regeneración.** Capacidad natural del bosque para reproducirse o capacidad de un organismo vivo para recuperar por sí mismo sus partes pérdidas o dañadas.

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

## 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