

# INCREMENTO RADIAL ANUAL Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN POBLACIONES NATURALES Y ESTABLECIDAS DE MEZQUITE (*Prosopis spp*) EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

JOSÉ VILLANUEVA DÍAZ, ANTONIO MORALES MAZA, EVA ÁVILA CASILLAS,  
VICENTA CONSTANTE GARCÍA, ALDO RAFAEL MARTÍNEZ SIFUENTES, JUAN  
ESTRADA ÁVALOS, LUIS ÁNGEL HERNÁNDEZ MARTÍNEZ



**SADER**

SECRETARÍA DE AGRICULTURA  
Y DESARROLLO RURAL



**inirap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en  
Relación Agua-Suelo-Planta -Atmósfera  
Gómez Palacio, Durango, Octubre 2019  
Folleto Técnico Núm. 45 ISBN: 978-607-37-1110-4

**DIRECTORIO INSTITUCIONAL**

**SECRETARIA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL**

**Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula**  
Secretario

**Dr. Miguel García Winder**  
Subsecretario de Agricultura

**Ing. Víctor Suárez Carrera**  
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

**Lic. David Monreal Ávila**  
Coordinador General de Ganadería

**Dr. Salvador Fernández Rivera**  
Coordinador General de Desarrollo Rural

**Lic. Ignacio Ovalle Fernández**  
Titular del Organismo de Desarrollo Rural

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y  
PECUARIAS**

**Dr. José Fernando De La Torre Sánchez**  
Director General

**Dr. José Antonio Cueto Wong**  
Encargado del Despacho de los Asuntos de la Coordinación de Investigación,  
Innovación y Vinculación

**M.C. Jorge Fajardo Guel**  
Coordinador de Planeación y Desarrollo

**M.A. Eduardo Francisco Berterame Barquin**  
Coordinador de Administración y Sistemas

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN RELACIÓN AGUA-  
SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

**Dr. Juan Estrada Ávalos**  
Director del CENID

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

**Progreso No. 5 Barrio de Santa Catarina  
Delegación Coyoacán  
C.P. 04010, México, D.F.  
Teléfono (55) 3871 – 8700**

**ISBN: 978-607-37-1110-4**

**Primera edición 2019**

**No está permitida la reproducción total de esta publicación, ni la  
trasmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea  
electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso  
previo y por escrito de la institución.**

**INCREMENTO RADIAL ANUAL Y PRODUCCIÓN DE  
BIOMASA EN POBLACIONES NATURALES Y  
ESTABLECIDAS DE MEZQUITE (*Prosopis spp*) EN BAJA  
CALIFORNIA, MÉXICO**

**José Villanueva Díaz  
Antonio Morales Maza  
Eva Ávila Casillas  
Vicenta Constante García  
Aldo Rafael Martínez Sifuentes  
Juan Estrada Ávalos  
Luis Ángel Hernández Martínez**

## CONTENIDO

Introducción.....	1
Antecedentes.....	4
Características anatómicas.....	7
Anillos de crecimiento.....	8
Estimación de producción de biomasa.....	9
Producción de biomasa en poblaciones de mezquite en Mexicali, Baja California.....	11
Transformación de biomasa a carbón vegetal.....	18
Vaina o "péchita".....	20
Apicultura.....	23
Goma.....	24
Otros subproductos.....	25
Conclusiones.....	25
Literatura citada.....	27
Agradecimientos.....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Anillos de crecimiento en <i>Prosopis velutina</i> . El límite del anillo es una línea continua de parénquima terminal. Observe como antes de finalizar el crecimiento anual se nota la presencia de una línea de vasos. Fuente: Shepard, 2015.....	9
Figura 2	Rodaja de mezquite del municipio de Mexicali en Baja California previamente lijada empleando una sucesión de materiales abrasivos que van desde un grano grueso a uno más fino para efectos de una mejor visualización de los anillos anuales de crecimiento, así mismo, fechada empleando técnicas dendrocronológicas.....	12
Figura 3	Distribución espacial de sitios con mezquiteras naturales o plantaciones en el municipio de Mexicali, B.C.....	16
Figura 4	Incremento radial anual acumulado (cm) para especímenes analizados en los sitios muestreados. A un mismo incremento radial acumulado, el tiempo requerido es menor para especímenes del sitio NCP en comparación a los otros sitios (STE, VEC).....	17
Figura 5	Se requiere el secado al sol para eliminar la mayor cantidad de humedad para eficientar el proceso de carbonización en la obtención de biomasa de mezquite.....	18
Figura 6	Horno de ladrillo para el proceso de carbonización de mezquite, éste incrementa la eficiencia de producción de carbón de un 30 a un 33%.....	20
Figura 7	Árbol de mezquite con producción de fruto. El volumen de producción en un año determinado es función del diámetro de copa y de las condiciones climáticas predominantes. El mezquite es una especie que muestra alternancia en su producción.....	21

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Ubicación geográfica con mezquiteras naturales o plantaciones en el municipio de Mexicali, B.C.....	14
Cuadro 2	Dimensiones de variables dasométricas de individuos de mezquite seleccionados para determinaciones de biomasa en verde y peso seco, respectivamente.....	15
Cuadro 3	Datos dasométricos de especímenes de mezquite ubicados en sitios aislados en terrenos del ejido Villa de Balboa, Viesca, Coahuila.....	23

# INCREMENTO RADIAL ANUAL Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN POBLACIONES NATURALES Y ESTABLECIDAS DE MEZQUITE (*Prosopis spp*) EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

José Villanueva Díaz<sup>1</sup>  
Antonio Morales Maza<sup>2</sup>  
Eva Ávila Casillas<sup>2</sup>  
Vicenta Constante García<sup>1</sup>  
Aldo Rafael Martínez Sifuentes<sup>3</sup>  
Juan Estrada Ávalos<sup>1</sup>  
Luis Ángel Hernández Martínez<sup>4</sup>

## Introducción

El mezquite es una de las especies características de los desiertos Chihuahuense y Sonorense en México, la cual desde tiempos prehispánicos ha constituido una fuente importante de alimentación, combustible, forraje, material de construcción, entre otros usos; para las poblaciones indígenas y habitantes del medio rural (Felger y Meser, 1985; Rzedowski, 1988; CONAZA, 1994). Actualmente su madera es de gran importancia para la fabricación de carbón, donde destaca en este aspecto por su volumen de producción el estado de Sonora, que en 2016 generó el 45% de la producción de carbón nacional, con un volumen autorizado de madera de 1.9 millones de m<sup>3</sup> rollo, donde 1.5 millones de m<sup>3</sup> se utilizaron para leña y fabricación de carbón (SAGARPA, 2016); su industrialización, sin embargo, aunque es menos conocida, se ha enfocado a la fabricación de uela y parquet, puertas y otros muebles de uso común, que por la dureza de su madera es recomendable para exteriores, no obstante que su uso también se recomienda para interiores (Gómez *et al.*, 1970; Galindo y García, 1991; Felker *et al.*, 1994; Faifer & Company Inc. 2017).

El mezquite es una especie rústica adaptada a la sequía, con un sistema radical que se desarrolla tanto lateralmente como en profundidad, lo que en ciertos sitios, le permite alcanzar el manto freático y de esta manera, no sólo depender de la precipitación para su crecimiento; de otra manera, su sistema radical explora grandes volúmenes de suelo favoreciendo su sobrevivencia, en especial durante años con sequía extrema (Giantomasi *et al.*,

<sup>1</sup>Investigador INIFAP CENID-RASPA

<sup>2</sup>Investigador Campo Experimental Valle de Mexicali, CIRNO

<sup>3</sup>Asistente de investigación INIFAP CENID-RASPA

<sup>4</sup>Investigador Campo Experimental Todos Santos, CIR Noroeste

2009); su aprovechamiento sin embargo, se ha realizado sin control y sin considerar aspectos técnicos que pudieran soportar un manejo sustentable; como lo es la determinación del volumen de producción de biomasa anual, incremento radial y caracterización anatómica de su madera para determinar su mejor uso industrial; así como provisión de servicios ambientales como captura de carbono (Ríos *et al.*, 2011); de tal forma que, en ciertos lugares de su distribución en México, sus poblaciones se encuentran en franco deterioro, ya sea por la sobreexplotación a la que ha sido objeto o por la remoción de sus poblaciones para ampliar la frontera agrícola (Trucíos *et al.*, 2011). Caso contrario ocurre en algunas áreas de los desiertos Sonorense y Chihuahuense, donde el incremento en la densidad poblacional de este género, particularmente en ecosistemas de pastizal sujetos a pastoreo intensivo con alta carga animal, ha dado paso a una sucesión de matorral con dominancia de mezquite; situación que ha afectado la capacidad de carga del pastizal y demeritado su valor económico (Cable y Martin, 1973; Fredrickson *et al.*, 2006; McClaran *et al.*, 2013), por lo que se ha generado una serie de información científica y tecnológica para erradicarlo o disminuir su densidad poblacional; situación que involucra, desde control mecánico, químico, incendios preescritos, reducción de la carga animal, aprovechamiento de su biomasa, o una combinación de tecnologías (Wilson *et al.*, 2001).

La generación de conocimiento para la caracterización ecológica del mezquite y estimaciones de biomasa con fines de aprovechamiento de poblaciones silvestres se ha realizado desde hace algunas décadas para rodales de mezquite en el norte y centro de México (Villanueva, 1993; Villanueva y Hernández, 2004; Villanueva *et al.*, 2004); sin embargo, la generación de este tipo de información ha sido más limitada para el noroeste de México y en particular para Baja California (Meza, 2002); donde se ha determinado la producción de biomasa mediante modelos alométricos para la producción de leña y fabricación de carbón (Meza, 2002; León *et al.*, 2005).

A pesar de la limitada información técnica disponible para el establecimiento de plantaciones forestales, en las últimas dos décadas, se inició con plantaciones de mezquite en diversos

predios de la península de Baja California, donde las densidades y el manejo de la plantación no ha sido el más adecuado para las condiciones ecológicas de los sitios.

El establecimiento de estas plantaciones se ha fundamentado en información obtenida de plantaciones de mezquite realizadas en condiciones ecológicas diferentes a las dominantes en el estado; por otra parte, el establecimiento natural de mezquite en predios agrícolas abandonados, al estar sujetos a pastoreo directo por ganado vacuno, favorecieron la dispersión de la semilla, que al pasar por el tracto digestivo del animal, rompió su latencia natural y favoreció el establecimiento de individuos, donde además, no se tiene control de sus características genéticas y fenotípicas, donde los individuos establecidos se distribuyen de manera aleatoria o se concentran a lo largo de cauces de arroyos o de acequias antiguas, donde se produce mayor acumulación de humedad y por ende favorece un mayor establecimiento.

Las altas densidades a las que se ha establecido estas plantaciones, llegan a limitar el crecimiento de los individuos, debido a una competencia extrema por agua, luz y nutrientes, situación que también ocurre en plantaciones establecidas con fines comerciales, donde las distancias de plantación y sin manejo silvícola alguno, generan competencia entre individuos, limitando el incremento radial y la producción de biomasa, dando pie a la producción de madera con dimensiones no aptas para otros usos que no sean leña o carbón y ocasionalmente forraje.

El objetivo general de este manuscrito es proporcionar información de las tasas de crecimiento de individuos de mezquite en condiciones de establecimiento natural y en plantaciones, arraigados a sitios previamente utilizados con fines agrícolas y abandonados por limitaciones en la disponibilidad de agua, pero que son sujetas a riegos de superficie esporádicos, donde de otra manera, sería casi imposible su desarrollo; así mismo, se pretende proporcionar información de los incrementos radiales, producción de biomasa y subproductos adicionales, con miras a fundamentar un sistema de producción integral que amalgame los diferentes subproductos del mezquite y que constituya una opción de producción viable y económicamente rentable para los ejidatarios y pequeños propietarios de las zonas semiáridas de Baja California.

## Antecedentes

El género *Prosopis* es muy complejo y las diversas especies se cruzan genéticamente con facilidad, dando pie a la presencia de individuos híbridos con características genéticas y morfológicas de dos o más especies, lo que dificulta aún más su clasificación taxonómica. A nivel mundial, se reconoce la existencia de 44 especies (Fagg y Stewart, 1994) y para Baja California se ha identificado la dominancia de *Prosopis glandulosa* var. *Torreyana*, otra especie con distribución restringida, como lo es *P. pubescens* presente en los valles de Mexicali y El Testero, rara presencia de *P. articulata* y distribución localizada de la especie endémica *Prosopidastrum mexicanum* (Rzedowski, 1988).

En Baja California, las poblaciones de mezquite se distribuyen en una superficie aproximada de 70,000 ha, donde en ciertos predios como es el caso del ejido Alberto Oviedo Mota, Guardianes de la Patria, Laguna Salada y Plan Nacional Agrario, existe el interés de realizar aprovechamientos forestales de las mezquiteras nativas existentes, cuya autorización es responsabilidad de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Estas autorizaciones se deben fundamentar bajo las normativas legales y técnicas; estas últimas, que requieren una valoración previa de las densidades del arbolado de mezquite (clases diamétricas, alturas y otros datos dasométricos) y estimación de volúmenes aprovechables, en un rango que asegure el aprovechamiento sustentable de la población; así como garantizar su procedencia legal y proteger el ecosistema, respectivamente; con el apoyo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), que tiene como objetivo desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de los planes, programas de manejo, y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable.

El interés por realizar cambios en el uso del suelo, se hace palpable mediante el involucramiento de productores cooperantes, como es el caso del C. Federico Cárdenas Arroyo de la empresa forestal Impulsora Forestal Santa Eduvigis S.P.R. de R.L., Carretera San

Felipe, S/N, Col Alvarado, el cual cuenta con una autorización vigente para el aprovechamiento maderable de mezquite con fines de producción de carbón y para fabricación de artesanías.

Fuera del Valle de Mexicali, hay otras experiencias exitosas como en el municipio de Ensenada donde se encuentra el ejido Francisco R. Serrano con autorización de aprovechamiento de mezquite para madera y elaboración de carbón; otro ejemplo, se ubica en el municipio de Tecate, donde se encuentra el Ejido Carmen Serdán con plantación de 130 ha de mezquite para su aprovechamiento futuro; en otro sitio, se encuentran establecidas 36 ha con mezquite, las cuales fueron plantadas entre 2004 y 2005 que recientemente fueron aprovechadas para fabricación de carbón.

Este panorama, constata el gran interés de ejidatarios y de pequeños propietarios para realizar plantaciones de mezquite y manejo de poblaciones naturales, cuyo aprovechamiento se fundamenta en aspectos técnicos, derivados de la investigación; de tal forma que favorezca la sustentabilidad del recurso y minimice el deterioro del mismo.

El desarrollo de modelos biométricos para la determinación de la producción de biomasa de individuos de mezquite de poblaciones naturales; en particular, de aquellos de conformación arbórea es una de las acciones de investigación que se ha trabajado para diversas poblaciones de mezquite distribuidas en el norte y centro de México (Meza, 2002; Valles *et al.*, 2011). Estos modelos involucran variables dasométricas como diámetro de fuste, altura, cobertura de copa y número de tallos principalmente; aunque ciertas modificaciones, como lo es el seccionar fustes y tallos de ramas principales y secundarias en cilindros más o menos rectos ha permitido la estimación de volúmenes de formas regulares, que al hacer la sumatoria de los volúmenes parciales proporcionan una estimación del volumen total (Meza *et al.*, 2002).

Las ecuaciones alométricas generadas para especies del género *Prosopis* son muy específicas para determinada localidad o región, ya que las especies muestran alta variación en sus características dasométricas, dependiendo de la calidad del sitio donde se desarrollan y del uso histórico al que han estado sujetas

sus poblaciones. Entre estas características destacan tallos múltiples y de escaso diámetro derivados de cortas frecuentes para producción de carbón o leña; copa irregular producto de cortas continuas para aprovechamiento de leña, tallos múltiples producto de ramoneo excesivo, entre otras variaciones fenotípicas.

Otro problema es que a menos que se conozca el período de establecimiento, se podrá tener una idea de la producción de biomasa anual y el incremento ocurrido para cierto período de tiempo y para determinadas condiciones climáticas dominantes. Esta información, generalmente se desconoce, lo que limita un manejo silvícola adecuado, ya que el establecimiento de los individuos no ocurre de manera masiva o en grandes eventos de reclutamiento, por problemas de latencia de la semilla y testa dura; por lo que su establecimiento natural toma lugar paulatinamente a través de los años hasta integrar una población relativamente uniforme; de esta manera, una población puede ser muy heterogénea en términos de edad, lo que genera incrementos radiales y producción de biomasa diferente entre individuos; por otra parte, individuos con diámetros similares, pero de diferente edad, podrán tener una producción de biomasa equiparable, dependiendo de la calidad de sitio.

Una de las técnicas para analizar la producción de biomasa anual es la identificación de anillos de crecimiento anual en secciones transversales de la especie en estudio. La identificación de anillos anuales permite estimar el incremento radial anual con mucha precisión y el fechado exacto de sus crecimientos (López *et al.*, 2005); mediante este conocimiento, se puede determinar el incremento anual en biomasa y el total acumulado en un período de tiempo determinado (Bogino y Villalba, 2008).

El fechado exacto al año de formación de cada incremento anual (anillos de crecimiento), permite a la vez, relacionarlo con variables climáticas, por lo que es factible desarrollar funciones de respuesta, con las que es posible definir el período estacional y las variables climáticas que determinan el incremento y el inicio de la formación de madera temprana y tardía, así como los fenómenos de circulación general que provocan dicha variabilidad

(López *et al.*, 2005). El fechado de los crecimientos anuales también facilita la estimación de existencias de volúmenes de carbono secuestrado, lo cual es otro de los beneficios que poseen la vegetación de mezquitera en zonas áridas y semiáridas; información que ha sido escasamente generada en poblaciones de mezquite (Ríos *et al.*, 2011; Canizales, 2016).

La formación de anillos anuales figura ser difícil de determinar en todas las especies del género *Prosopis*, ya que aun en una sola especie, su variabilidad genotípica y facilidad de hibridación hacen que ciertos rodales y en cortas distancias, su estructura anatómica cambie radicalmente y no se observen anillos de crecimiento bien definidos acorde a la condición del micrositio (Villanueva *et al.*, 2004a). Sin embargo, el fechado exacto de los anillos de crecimiento no es una limitante para generar planes de aprovechamiento sustentable, ya que una serie cronológica puede tener desfases en su datación; por ejemplo, mas, menos uno o dos años y la información todavía puede ser útil con fines de manejo, en términos de cuantificar la producción de biomasa o tiempo aproximado que tarda el fuste o una rama principal del árbol para tener dimensiones que la hagan aprovechable (Villanueva *et al.*, 2004b; López *et al.*, 2005).

De esta manera, se han realizado estudios en ciertas mezquiteras del centro y del norte de México, en los que aun sin ser datados con exactitud, se ha definido la tasa de incremento anual, producción de biomasa y edad aproximada a la que alcanzan diámetros aprovechables (Villanueva y Hernández, 2004); información que es de gran utilidad con fines de establecer estrategias de manejo en término de definir fustes o ramas aprovechables, porcentaje de remoción de biomasa y turnos de corta; información que entre otras acciones, fundamenta las bases técnicas para un manejo sustentable de una población de mezquite.

### **Características anatómicas**

Estudios anatómicos, físico-mecánicos de la madera de diversas especies del género *Prosopis* han sido realizados previamente para determinar su potencial de industrialización y optimizar su

uso. Las especies de este género se caracterizan por la presencia de vasos, que constituyen aproximadamente el 18% del volumen total; en general, la mayoría de las especies muestran porosidad difusa a semicircular, duramen con abundantes depósitos de color ámbar, tanto en vasos, parénquima axial y radial, los cuales constituyen aproximadamente el 18% del volumen total (López *et al.*, 2005). En términos físico-mecánicos muestran buena estabilidad dimensional y una densidad de madera alta (0.70 a 0.79 g cm<sup>-3</sup>) y con relación al maquinado, se cataloga como de buenas condiciones, recomendándose para su aprovechamiento herramientas de corte provistos de carbono de tungsteno (Rodríguez *et al.*, 2015).

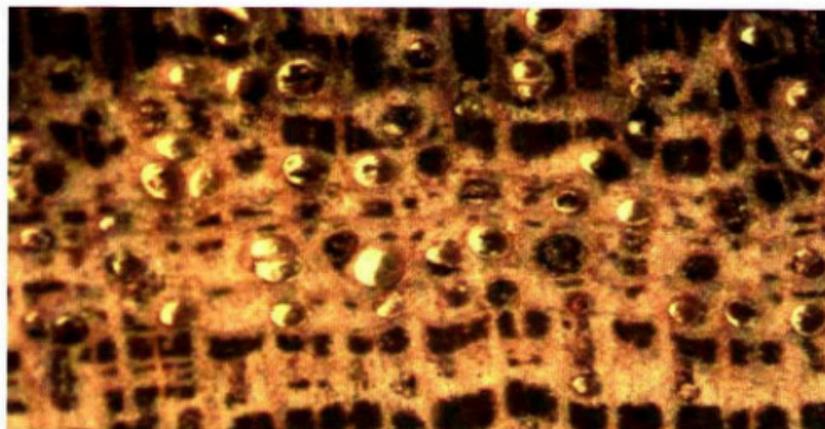
### **Anillos de crecimiento**

Los anillos de crecimiento del género *Prosopis* se pueden diferenciar en función a las características anatómicas de la madera, la cual posee una estructura semiporosa con vasos de mayor tamaño en la madera temprana, justo posterior a la banda de parénquima terminal del anillo de crecimiento previo. Los vasos grandes, aunque de tamaño variable, también se presentan dispersos en el resto del anillo de crecimiento, aunque estos pueden estar entremezclados con vasos más pequeños. Los vasos de mayor tamaño que ocurren en la madera temprana, se organizan apilados en grupos de tres o más vasos distribuidos en dos líneas tangenciales, paralelas a la banda de parénquima terminal. En la parte final del anillo de crecimiento, ocurre la dominancia de vasos pequeños que constituyen la mayor parte de la madera tardía.

Otros componentes celulares del anillo de crecimiento son las fibras celulares, que funcionan como soporte, las cuales nunca hacen contacto con los vasos. En el duramen, las fibras celulares tienen paredes más gruesas, de forma irregular y en tamaño más pequeñas que los vasos. En la albura, las bandas muestran características similares, aunque la diferenciación de las paredes celulares puede ser difícil. El otro tipo de parénquima, lo constituye el parénquima terminal, el cual determina el límite entre anillos de crecimiento y puede estar rodeado tanto por vasos grandes o fibras y asociado a vasos del siguiente anillo de

crecimiento (Figura 1). Los rayos son células que transportan el agua de manera lateral y en un corte transversal pueden contener de 3 a 5 células dependiendo a la altura del rayo donde se realizó el corte.

La composición anatómica descrita de los anillos de crecimiento en mezquite no siempre se presenta de manera regular, ya que en anillos muy pequeños o microanillos, se nota la ausencia de vasos grandes, pero en cambio predominan los vasos pequeños, sin presencia de fibras celulares. También se presenta el caso contrario, donde ocurre la presencia de unos cuantos vasos grandes tangenciales al parénquima terminal y unas cuantas fibras celulares (Shepard, 2015).



**Figura 1.** Anillos de crecimiento en *Prosopis velutina*. El límite del anillo es una línea continua de parénquima terminal. Se puede observar como antes de finalizar el crecimiento anual se nota la presencia de una línea de vasos. Fuente: Shepard, 2015.

### **Estimación de producción de biomasa**

La determinación de la biomasa aprovechable en mezquiteras es uno de los temas que ha llamado la atención desde hace varias décadas. La forma más sencilla de cuantificar esta variable es a través del derribo de árboles de diversas alturas y dimensiones, determinar su producción de volumen total y posteriormente realizar el pesaje directo de la biomasa verde y luego seca; esto

conlleva a un trabajo intenso, que se vuelve impráctico para explotaciones comerciales y también para los prestadores de servicios que deben de definir de manera rápida la producción de biomasa y el volumen a autorizar para una explotación sustentable.

Por lo anterior, se han utilizado variables dasométricas (altura, diámetro y perímetro de fuste principal, altura a la primera bifurcación, cobertura media de copa, número de ramas, grosor y longitud de ramas principales, entre otras variables) que consideradas de manera individual o integradas en modelos alométricos permiten de manera indirecta generar información para estimar el volumen de biomasa aprovechable y de esta forma generar información confiable y rápida de la cantidad que se puede disponer en cada turno de corta con fines de aprovechamiento sustentable.

Ecuaciones alométricas para estimar volumen de biomasa en poblaciones con mezquite han sido usadas con frecuencia en mezquiteras del suroeste de Estados Unidos (suroeste de Arizona) y norte de México (McClaran *et al.*, 2013). En México, específicamente en el sur de Baja California, el perímetro de fuste mostró alta relación con la producción de biomasa en predios con poblaciones de *Prosopis articulata*; mientras que la cobertura de copa fue la variable que mejor explicó la biomasa disponible en *Prosopis palmeri* (León de la Luz *et al.*, 2005). Estudios similares se han realizado para el municipio de Todos Santos en Baja California Sur, donde se ha utilizado el método dimensional para realizar estimaciones de volúmenes de producción de biomasa en mezquite (Meza, 2002),

Para el norte y centro de México, la generación de ecuaciones alométricas para una mejor estimación de volúmenes de biomasa de mezquite ha sido un procedimiento común en estudios en mezquiteras para diversos estados del país; es decir, Villanueva y Hernández (2004) en mezquiteras de San Luis Potosí; Hernández-Herrera *et al.*, (2014) en Mazapil, Zacatecas, Villanueva *et al.*, (2004b) en la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila.

Uno de los estudios más completos de generación de ecuaciones alométricas para estimación de volumen y captura de carbono en la especie *Prosopis laevigata* fue realizado por Ríos *et al.*, (2011) en poblaciones de mezquite de los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila y Zacatecas; en este estudio, se probaron diversos modelos alométricos de tipo lineal, exponencial y logarítmico para cuantificar volumen de biomasa y carbono. Las variables involucradas en este estudio fueron diámetro basal, altura total, número de ramas y diámetro de copa. Todos los modelos utilizados mostraron habilidad para estimar producción de biomasa, particularmente al considerar las variables independientes diámetro basal y altura total; por lo que para esta especie y en esta región, la consideración de involucrar estas dos variables de fácil obtención, puede permitir realizar una estimación rápida de la producción de biomasa con fines de aprovechamiento comercial y determinar qué porcentaje deberá removerse para un manejo sustentable de la especie.

### **Producción de biomasa en poblaciones de mezquite en Mexicali, Baja California**

En poblaciones naturales de mezquite o mezquiteras representativas del municipio de Mexicali, B.C., se identificaron individuos para la determinación de incrementos anuales y espesor del anillo anual. Para lograr este objetivo, se caracterizaron las condiciones ecológicas del sitio y cuantificaron variables dasométricas de individuos o especímenes de mezquite en pie dominantes o codominantes presentes en los sitios de estudio. Algunos árboles seleccionados fueron derribados y se obtuvieron secciones transversales de la base del fuste principal, de ramas primarias y secundarias, cuyos diámetros fueran aprovechables. Derribado el árbol, se determinó la longitud del fuste principal, diámetros y longitudes de las ramas aprovechables con el fin de estimar el volumen en verde y su peso respectivo en función a estudios previos de densidad de madera y acorde a metodología utilizada por Ríos *et al.*, (2011) para cuantificación de volúmenes aprovechables.

Las secciones transversales se procesaron en el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA en Gómez palacio, Durango, donde fueron preparadas acorde a métodos dendrocronológicos convencionales (Stokes y Smiley, 1968). Para resaltar las estructuras de crecimiento, una de las superficies transversales de cada sección, se lijó con material abrasivo de diversa granulometría en una secuencia de 60 a 1200, con el fin de resaltar los crecimientos anuales. Los anillos de crecimiento se visualizaron con un estereoscopio trinocular y se realizó un conteo de los crecimientos y luego un predatado de los mismos; posteriormente, cada crecimiento anual se midió con un sistema de medición Velmex a una precisión de 0.001 mm y se creó una base de datos de anillo total (Figura 2). La base de datos se corrió en el programa COFECHA para determinar la calidad del fechado (Holmes, 1983) y una vez corregidos los errores de fechado, los incrementos anuales se normalizaron mediante el programa ARSTAN (Cook, 1987).



Figura 2. Rodaja de mezquite del municipio de Mexicali en Baja California, la cual fue lijada previamente empleando una sucesión de materiales abrasivos, que van desde un grano grueso a uno más fino para efectos de una mejor visualización de los anillos anuales de crecimiento. La muestra fue fechada empleando técnicas dendrocronológicas.

Los incrementos anuales (ancho de anillo anual), se transformaron a área basal corriente o actual ( $IAB_i$ ), mediante la siguiente ecuación:

$$IAB_i = \pi (r_i^2 - r_{i-1}^2);$$

Donde:

$r_i^2$  = el grosor o ancho del anillo actual

$r_{i-1}^2$  = el grosor o ancho del anillo previo

De esta ecuación se derivó el incremento anual en biomasa para secciones de fuste más o menos cilíndricas.

Así mismo, se determinó el incremento medio en el área basal (IMABi), para un determinado año (i), acorde a la siguiente fórmula:

$$IMABi = \pi \times r_i^2 / i;$$

La rotación o edad para el turno, se determinó en función al tiempo requerido por cada rodal para alcanzar el mayor incremento medio en área basal (Bogino y Villalba, 2008). El valor medio del incremento acumulado radial anual para la edad de cada espécimen, se graficó para cada uno de los sitios de evaluación. De estos gráficos, se analizaron los períodos en que la acumulación del incremento radial fue mayor con fines comparativos y la edad con la que se alcanza este valor máximo de incremento en área basal, se considera como turno de aprovechamiento.

Para el análisis del secuestro de carbono, ya existen datos muy confiables realizados previamente en mezquiteras del norte-centro de México, donde el porcentaje de carbono en la biomasa aérea es en promedio de 46.03%, con variaciones no significativas en las diferentes porciones del árbol; por ejemplo, en el fuste principal el porcentaje puede ser de 46.28%, en ramas comerciales de 45.46%, en ramillas de 45.21% y en hojas de 47.16% (Ríos *et al.*, 2011).

La tenencia legal de los predios seleccionados fue propiedad privada y ejidal. Dos de las poblaciones se establecieron después del año 2000, período en que los predios fueron abandonados y posteriormente repoblados con mezquite mediante la dispersión de su semilla a través del pastoreo. Este establecimiento ocurrió en un lapso de dos o cuatro años posterior al abandono del

predio; en particular, en sitios con acumulación de humedad como por ejemplo, las orillas de arroyos y sitios bajos con acumulación de escurrimientos. Con base en lo anterior, la densidad poblacional y su distribución no son constantes y debido a la cercanía entre individuos, se tiene alta competencia intraespecífica. Otro sitio seleccionado corresponde a una plantación con alta densidad, establecida en tresbolillo a equidistancias de 3.0 m con fines de producción de leña para transformarla a carbón vegetal. Los sitios seleccionados se ubicaron en el municipio de Mexicali (Figura 3), en terrenos agrícolas que previamente fueron dedicados a la producción de trigo y que luego fueron sujetos a libre pastoreo promoviendo la dispersión de semilla y establecimiento de mezquiteras (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Ubicación geográfica de sitios con mezquiteras naturales o plantaciones en el municipio de Mexicali, B.C.**

Nombre del sitio	Clave	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Elevación (m)	Observaciones
Rancho Sta. Eduviges	STE	32° 12' 19.6"	115° 19' 30.5"	8.0	Terreno abandonado en el año 2000 y repoblado con mezquite mediante pastoreo.
Nuevo Centro Poblacional	NCP	32° 02' 45.2"	115° 00' 13.1"	0.0	Terreno abandonado entre los años 2002 y 2004. Repoblado con mezquite a través del pastoreo.
Colonia Venustiano Carranza	VEC	32° 12' 05.2"	115° 10' 44.2"	9.0	Plantación de mezquite a equidistancias de 3.0 x 3.0 m.

Las características dasométricas evaluadas de los especímenes seleccionados, que consistieron básicamente en mediciones de diámetro basal, diámetro de copa, altura, número y dimensiones de tallos aprovechables, se describen en el cuadro 2.

Para el caso del sitio Santa Eduvigis (STE), se obtuvieron cortes de tocones de árboles aprovechados con el fin de conocer la edad y el incremento radial, aunque en este caso, no se determinó producción de biomasa, ya que no se contó con información de alturas, número de ramas y fustes aprovechables, información que es pertinente consideren los dueños de los predios cuando realicen la explotación, ya que, de otra manera, no se conocerá los volúmenes producidos por individuos de mezquite de diversas dimensiones.

**Cuadro 2. Dimensiones de variables dasométricas de individuos de mezquite seleccionados para determinaciones de biomasa en verde y peso seco, respectivamente.**

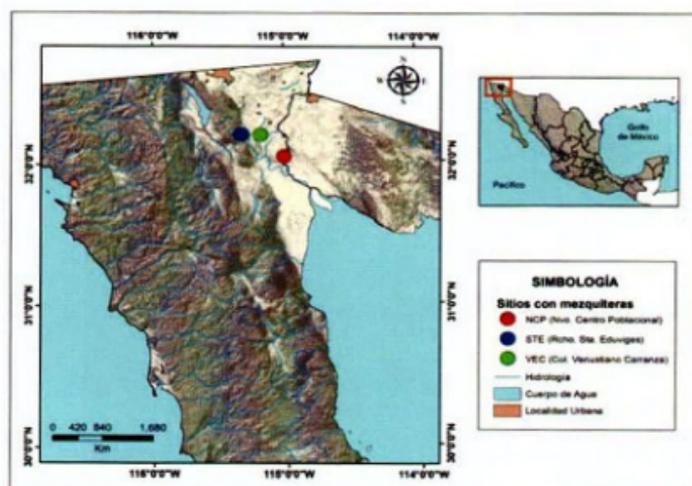
Rancho Santa Eduvigis (STA)						
Árbol	Diámetro Basal (cm)	Altura (m)	Diámetro de copa (m)	No. Tallos aprovechables	<sup>1</sup> Peso verde (kg)	<sup>2</sup> Peso seco (kg)
STE01	22.5	7.5	8.2	5	117.5	50.5
STE02	Tocón	----	----	----	----	----
STE03	Tocón	----	----	----	----	----
STE04	Tocón	----	----	----	----	----
Nuevo Centro Poblacional (NCP)						
NCP01	25.0	7.0	5.0	4	182.3	78.4
NCP02	21.5	6.0	7.1	4	81.6	35.1
NCP03	19.0	5.8	6.0	3	14.8	6.4
NCP04	7.0	4.1	2.75	2	5.7	2.5
NCP05	11.2	4.4	2.75	3	11.7	5.0

NCP06	14.2	5.3	4.1	2	16.9	7.3
NCP07	38.5	7.0	10.7	8	280.4	120.6
Colonia Venustiano Carranza (VEC)						
VEC01	8.5	4.0	2.5	1	5.5	2.3
VEC02	12.0	3.5	2.3	1	4.9	2.1
VEC03	17.0	4.6	1.9	5	50.5	21.7
VEC04	9.0	3.2	1.9	1	3.9	1.7
VEC05	12.0	3.3	2.35	1	7.9	3.4
VEC06	25.0	4.7	6.2	1	75.0	32.3

<sup>1</sup>Para la obtención del peso verde, el volumen total se multiplicó por la densidad promedio de la especie, que para este caso se consideró de  $0.76 \text{ g cm}^{-3}$  (Rodríguez *et al.*, 2015)

<sup>2</sup>Con relación al peso seco, se consideró un porcentaje de humedad promedio de 57% (Villalón, 1992).

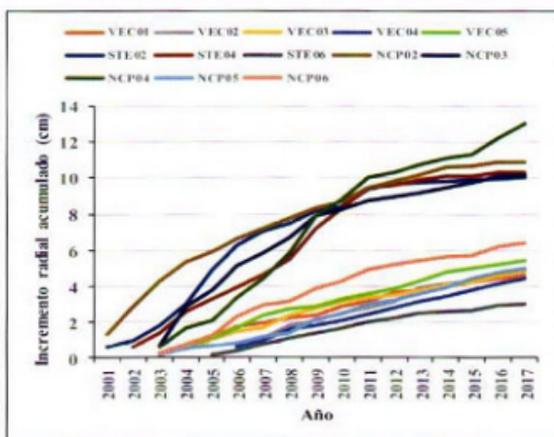
Las edades de los árboles se catalogan como muy jóvenes, si consideramos que el mezquite puede alcanzar edades que superan los 250 años en algunas zonas del país donde se distribuye (Villanueva y Hernández, 2004). Las fechas de establecimiento de los individuos considerados en este muestreo ocurrieron entre 2001 y 2006; es decir, con edades actuales entre 11 y 15 años.



**Figura 3. Distribución espacial de sitios con mezquiteras naturales o plantaciones en el municipio de Mexicali, B.C.**

Las tasas de incremento radial anual fluctuaron de 3.0 a 9.0 mm, El sitio con mejor incremento medio anual fue el del Nuevo Centro Poblacional, situación atribuida a una mejor calidad de sitio y a una menor densidad poblacional, lo que disminuye la competencia entre individuos por agua, luz y nutrientes. Este incremento se refleja en las curvas de crecimiento acumulado, donde sobresalen los especímenes del sitio NCP (Figura 4).

Así, por ejemplo, un radio acumulado de 10 cm, se obtendría para especímenes del sitio NCP en un período de 11 a 12 años, mientras que para individuos de otros sitios pudiera tomar hasta 30 años. Sin embargo, para fines de determinar turnos de corta y otros parámetros de manejo silvícola, se requieren árboles con mayor edad y contar con una mayor diversidad de clases diamétricas. Con la información preliminar es factible determinar el incremento radial anual durante los primeros 10 a 15 años de vida de individuos de mezquite, lo cual es importante para analizar sobrevivencia, tasas de crecimiento y producción de biomasa. Dependiendo de los objetivos de manejo, se pudiera definir el tiempo mínimo para que la planta produzca tallos con un tamaño útil para producción de carbón, diámetro que se indica debe ser al menos de 2.5 a 3.0 cm. Este diámetro, aunque ya es útil para aprovecharlo con este fin, implica la disponibilidad de volúmenes muy bajos, que desde el punto de vista económico pudiera ser poco costoso para una explotación comercial.



**Figura 4. Incremento radial anual acumulado (cm) para los especímenes analizados en los sitios muestreados. A un mismo incremento radial acumulado, el tiempo requerido es menor para especímenes del sitio NCP en comparación a los otros sitios (STE, VEC).**

### **Transformación de biomasa a carbón vegetal**

La madera consiste de tres componentes principales: celulosa, lignina y agua. El agua es absorbida o retenida en la estructura celulosa/lignina. La madera secada al aire contiene todavía entre 12 a 18% de agua absorbida. La madera en crecimiento, recientemente cortada, contiene además agua líquida, llevando el contenido total de agua a alrededor del 40 a 100%, expresado en porcentaje del peso de la madera seca al horno. Antes de que la carbonización ocurra, el agua en la madera tiene que eliminarse como vapor, situación que requiere una gran cantidad de energía, por lo que es recomendable secarlo lo más posible al sol para que el agua que se tenga que eliminar sea mínima, se utilice menos energía para el proceso de secado y se mejore la eficiencia de carbonización (Figura 5).



**Figura 5. Se requiere el secado al sol para eliminar la mayor cantidad de humedad para eficientar el proceso de carbonización en la obtención de biomasa de mezquite.**

El proceso de transformar leña a carbón vegetal o carbonización, se realiza al crear una barrera física que aísla la madera del medio exterior y que evita una combustión completa y directa al reducir la presencia de oxígeno. Las distintas tecnologías que se utilizan para la obtención de carbón, se basan en diversas opciones para crear esa barrera física, las cuales pueden ser de tierra, ladrillo, cemento armado y metal. Este proceso también depende de las formas distintas de secar y calentar la madera. Si el calor empleado se origina por la propia madera de la carga o por algún otro combustible adicional que se separa de la carga de madera que va a ser carbonizada y finalmente si el proceso es continuo o discontinuo (Panduro *et al.*, 2012). En los procesos continuos, el carbón se obtiene sin interrupción, frente a los procesos discontinuos en los que transcurren varios días entre una obtención de carbón y la siguiente obtención. Las tecnologías continuas y de alta producción, con sistemas de control más o menos sofisticados, se denominan industriales a diferencia de las artesanales como el método tradicional, que se considera un proceso discontinuo.

El uso más frecuente del mezquite en los estados donde se distribuye es para la producción de carbón vegetal. En el municipio de Mexicali existe gran interés por parte de productores para utilizar leña de mezquite de poblaciones naturales o de plantaciones establecidas para producir carbón. El método de carbonización se realiza de manera rústica, mediante el uso de montículos de leña cubiertos con tierra, lo que favorece un proceso de combustión anaeróbica, que da como resultado la formación de carbón; no obstante que tiene como desventaja su baja eficiencia de carbonización, que es en promedio de 20% y el tiempo requerido para terminar el proceso es de aproximadamente siete días, de los cuales tres son para el proceso de carbonización, tres para enfriarlo y un día para retirarlo del sitio de fabricación.

Otro método de carbonización es a través de hornos de ladrillo tipo "brasileño" que incrementan la eficiencia de carbonización de un 30 a 33% (Figura 6), pero que además tiene varias ventajas adicionales en comparación al método tradicional, como es mejorar el bienestar de las personas que procesan el carbón,

reducción de costos y de emisión de gases efecto invernadero, generación de subproductos como alcohol etílico, acetona, alquitrán ligero, brea, entre otros, lo que incrementa la relación costo-beneficio (Arias, 2010).



**Figura 6. Horno de ladrillo para el proceso de carbonización de mezquite, éste incrementa la eficiencia de producción de carbón de un 30 a un 33%.**

Aunque en el municipio de Mexicali, se utiliza tanto el método tradicional como el de hornos tipo “brasileño”, a pesar de su uso, aún no existe información documentada de la eficiencia de carbonización para ambos métodos (volúmenes de material leñoso ingresado al horno en contraposición al volumen de carbón producido), contenido de humedad del material leñoso y tiempo requerido para realizar el proceso de carbonización, diámetros y longitud de leña utilizados, contenido de humedad del material leñoso, costos de producción, e información adicional de canales de comercialización. El acopio de esta información es básico para proponer acciones de mejora, que redunden en beneficios tangibles para los productores de carbón en esta región.

### **Vaina o “péchita”**

Aunque no se tienen datos sobre los volúmenes de producción por árbol o a nivel superficie (hectárea), el fruto constituye sin duda una fuente adicional de alimento para el ganado en pastoreo

libre o estabulado, con el cual se puede integrar dietas balanceadas que disminuyen los costos de producción en una explotación silvopastoral o agrosilvopastoral. El fruto también es utilizado para alimentación humana, que lo utiliza como harina para fabricación de galletas, pan, atole, dulces y repostería en general. Datos aislados de producción de fruto para algunas mezquiteras en la zona semiárida de San Luis Potosí, reportan un rango de producción de 7 a 20 kg árbol<sup>-1</sup> (Villanueva, 1993), que, con base a la densidad de árboles adultos por hectárea en esa región, implican un volumen de producción de 700 a 2000 kg.

No obstante, la producción de fruto es altamente variable a través de los años e inclusive muestra alternancia; es decir, años de alta producción de fruto se continúan con años de escasa o nula producción, donde los años secos son los que propician una mayor producción de fruto, aunque en años previos deben haber existido condiciones climáticas favorables para la elaboración de suficientes reservas alimenticias en el árbol y su liberación en la formación de fruto (Figura 7).



**Figura 7.** Árbol de mezquite con producción de fruto. El volumen de producción en un año determinado es función del diámetro de copa y de las condiciones climáticas predominantes. El mezquite es una especie que muestra alternancia en su producción.

Por otra parte, en un estudio relacionado con la producción de fruto de árboles aislados en terrenos del ejido Villa de Bilbao, Viezca, Coahuila, se obtuvo una producción que estuvo muy relacionada con el área de copa y no tanto con otras variables como altura, diámetro de fuste o número de ramas principales. El Cuadro 3, incluye variables dasométricas de algunos árboles y producción de fruto. La estimación de producción se realizó en cuadros de muestreo de 0.25 m<sup>2</sup>, cada uno ubicado en un punto del cuadrante, N, S, E, O, directamente bajo la copa del árbol. Cuantificaciones de producción de fruto a través de varios años y en árboles presentes en diversas calidades de sitio y clases de diámetro de copa, será importante de establecer para lograr una mejor estimación de esta variable, particularmente en sitios donde no se tiene información alguna sobre la producción potencial de "pechita" como son los municipios de Mexicali y en otros de la entidad.

El contenido nutrimental del fruto de mezquite varía acorde a la especie, pero en general, este contiene de 9 a 17% de proteína, 47% de carbohidratos, 3 a 5% de cenizas, 2.8% de grasas y de 17 a 30% de fibra cruda (Carillo *et al.*, 2007).

Los beneficios derivados del consumo directo de fruto, acorde a la propia opinión de los ganaderos, se reflejan en incremento en peso corporal y de producción de leche, aunque su consumo desordenado puede acarrear problemas al ganado, entre otros, dislocación mandibular, por lo que lo más recomendable es controlar su consumo mediante raciones alimenticias y dietas balanceadas, donde el fruto de mezquite puede ser un componente importante en estos productos alimenticios balanceados, con lo que es factible abatir los costos de producción.

**Cuadro 3. Datos dasométricos de especímenes de mezquite ubicados en sitios aislados en terrenos del ejido Villa de Bilbao, Viesca, Coahuila.**

Número de árbol	Altura (m)	Diámetro de copa (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )	No. tallos <sup>1</sup>	Producción de fruto (kg m <sup>-2</sup> )	Producción de fruto (Kg árbol <sup>-1</sup> )
1	4.5	6.7	35.3	3 (12 cm)	0.65	23
				5 (8 cm)		
				4 (6 cm)		
				4 (<5 cm)		
2	5.4	7.0	38.5	6 (>7 cm)	0.49	19
3	5.0	7.0	38.5	2 (>30 cm)	5.2	200.0
4	8	10	78.6	3 (>30 cm)	2.5	200.0

<sup>1</sup>El número entre paréntesis representa el diámetro de cada tallo. Los árboles 3 y 4 se encuentran ubicados en el patio de un solar y reciben aportaciones de agua adicional, lo cual quizás explique el rendimiento extraordinario de fruto.

El tamaño de los árboles dominantes en término de altura y tamaño de copa para algunas poblaciones de mezquite en el municipio de Mexicali, indican que la producción de fruto seco pudiera ser cercana a los 20 kg, aunque esta información debe verificarse cuidadosamente a través de cuantificar la producción del fruto en árboles presentes en diversas calidades de sitio, densidades, tamaño de copa y por varios años consecutivos.

### Apicultura

El mezquite es considerado como una de las plantas con mayor potencial para la producción de miel, según estudios previos, una hectárea de mezquite puede generar un rendimiento de entre 200 hasta 500 kilos, aunque hay reportes que puede producir hasta 2.0 toneladas bajo un manejo especial, que implica mover el apiario a otro sitio al terminar la floración del mezquite y suplementar con alimento en otras épocas con escasa fuente de nectar (Arredondo *et al.*, 2001).

La miel producida derivada de flor de mezquite es de alta calidad, la cual se caracteriza por poseer una textura suave, cristaliza

finamente, de color ámbar claro a oscuro, notas rojizas/anaranjadas y brillo intenso, olor intenso, especiado, dulzor intenso, amargor apenas perceptible, aroma cálido, de azúcares transformados de alta persistencia, sin gustos residuales. Estas características hacen de la miel de mezquite y de otras fuentes de néctar con alto valor y apreciación en mercados internacionales, como es el caso del europeo, donde existe un mercado insatisfecho, a pesar de que México se encuentra entre los principales exportadores a nivel mundial de este producto.

## **Goma**

La goma constituye uno de los subproductos orgánicos del mezquite, cuyo uso y valor económico pasa desapercibido en las comunidades donde se distribuye. La goma es un exudado que produce el mezquite como respuesta a la presencia de condiciones ambientales extremas (baja precipitación y altas temperaturas) y daños por barrenadores o bien mecánicos producidos por heridas realizadas con la extracción de leña o bien daños físicos causados por ramoneo directo de ganado caprino o vacuno.

Datos de producción de goma de mezquite son prácticamente inexistentes en México (Ramírez *et al.*, 1997). Estudios de producción de goma en rodales de mezquite en San Luis Potosí indican que el volumen de producción fluctúa a través de los años y que en promedio es de 2.0 kg ha<sup>-1</sup> y de 5 a 40 g árbol<sup>-1</sup> (Hernández y Villanueva, 2001). Dicho volumen de producción puede ser superado por algunas de las mezquiteras en otras regiones áridas del país donde se distribuye la especie, a consecuencia de las condiciones más estresantes. Evaluaciones de este subproducto en rodales ubicados en Villa de Bilbao, Viezca, Coahuila, indican producciones que durante el mes de agosto pueden superar los 4 kg ha<sup>-1</sup>. Esta producción extraordinaria de goma se debe a las condiciones climáticas extremas donde se desarrolla la especie.

Debido a que el producto no es colectado, al cristalizarse cae al suelo o bien es solubilizado por lluvias ocasionales que se presentan en la región. La cuantificación de este subproducto es

esencial, ya que puede representar una fuente alternativa de recursos económicos estable para los poseedores del recurso, que combinado con otros subproductos como carbón, fruto, leña, etc. hacen del mezquite el recurso ideal para un sistema de explotación sustentable en las zonas áridas de México.

### **Otros subproductos**

La industrialización del fruto de mezquite y su transformación a harinas de alto valor energético y alimenticio para la ganadería y para consumo humano; aunado al procesamiento de remanentes de biomasa para jardinería y no utilizados en la fabricación de carbón, constituyen opciones productivas de valor agregado, que, aunados a los usos tradicionales descritos, particularmente leña y carbón pueden constituir sistemas de producción rentables para los habitantes del medio rural.

### **Conclusiones**

El mezquite, especie de múltiples usos, constituye una opción productiva para las zonas áridas del norte de México y en particular para el desierto Sonorense, donde se explota desde tiempos remotos para la producción de carbón y donde su fruto "*pechita*" ha contribuido al sustento de grupos étnicos y de asentamientos humanos en el medio rural.

El abandono de tierras agrícolas, debido a insuficiente disponibilidad y mala calidad de agua para riego superficial de cultivos tradicionales como el trigo ha ocasionado el establecimiento natural de mezquiteras en estos terrenos, acción que se ha visto beneficiada por la ganadería extensiva que al consumir el fruto y a través del proceso de digestión realiza la escarificación de la semilla favoreciendo el establecimiento de plantas, particularmente a lo largo de regaderas o sitios bajos, donde encuentra el hábitat propicio para su establecimiento, debido a la acumulación de agua y presencia de humedad residual de riegos pasados. Este establecimiento, sin embargo, da lugar a una población de mezquite con altas densidades, donde no existe un control sobre la procedencia genética y calidad sanitaria de la planta, situación que origina alta competencia entre

individuos y producción de madera no deseable para otros propósitos que no sean la producción de carbón.

La explotación que actualmente se realiza en algunas mezquiteras del municipio de Mexicali, B.C. con fines de explotación de carbón, requiere de la generación de información técnica, relacionada con la producción de biomasa, tasas de crecimiento anual y volúmenes que deben ser removidos para un manejo sustentable de la población. Adicionalmente, no se cuenta con un paquete tecnológico propio para la región, que permita realizar una propagación adecuada de la especie, indique las equidistancias de plantación y el manejo requerido para maximizar la obtención de diversos productos como puede ser madera, leña, carbón, producción de fruto, miel de abeja, goma, entre otros subproductos.

Las tasas de crecimiento de individuos de mezquite establecidos de manera natural en los últimos 15 años, o en plantaciones comerciales muestran tasas de incremento radial anual entre 3.0 a 9.0 mm, crecimientos que se pudieran catalogar en el rango de pobre a mediano, lo que implica que, en algunos sitios, el árbol pueda alcanzar diámetros aprovechables para producción de carbón entre 10 y 20 años, lo que pudiera no ser recomendable.

El clima cálido del municipio de Mexicali y la disponibilidad ocasional de riego superficial son elementos que pueden favorecer el establecimiento de plantaciones de mezquite en la región, siempre y cuando, se cuente con la información técnica que permita desarrollar un sistema productivo integral y sustentable y que sea capaz de proveer recursos económicos para el sostenimiento de familias del medio rural y de pequeños propietarios en el menor tiempo posible.

## Literatura citada

- Arias, C.T. 2010. Construcción y producción de carbón vegetal con hornos mejorados "Rabo Quente". Naturaleza y Desarrollo A.C. SEMARNAT. México, D.F.
- Arredondo, G.A., H.G. Gómez, S. Beltrán L., J. Luna V., J.A. Hernández A. 2001. Aprovechamiento de bosque de mezquite con sistema silvopastoril-apícola en la Llanura de Rioverde, S.L.P. C.E. Palma de la Cruz, CIRNE, INIFAP. Folleto Técnico No. 15. San Luis Potosí, S.L.P.
- Bogino, S.M and R. Villalba. 2008. Radial growth and biological rotation age of *Prosopis caldenia* L. Burkart in central Argentina. *Journal of Arid Environments* 72 (1): 16-23
- Cable, D.R. and S.C. Martin. 1973. Invasion of semidesert grassland by velvet mesquite and associated vegetation changes. *Journal of Academy of Sciences* 8(3): 127-134.
- Canizales, P. 2016. Análisis de la estructura forestal de comunidades semiáridas del noreste de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales Posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León. 104 p.
- Carrillo, F.R., F. Gómez L., J.G. Arreola A. 2007. Efecto de la poda sobre el potencial productivo de mezquites nativos en la comarca lagunera, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 6: 47-54.
- CONAZA. 1994. Mezquite, *Prosopis* sp., cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Comisión Nacional de las Zonas Áridas, Instituto de Ecología. México. 31 p.
- Cook, E.R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37-59.
- Cook E.R. and K. Peters. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width

series for dendroclimatic studies. *Tree Ring Bulletin*, 41:45-53.

- De la Luz, R., R. Domínguez C., S.C. Díaz C. 2005. Evaluación del peso del peso del leño a partir de variables adimensionales en dos especies de mezquite *Prosopis articulata* S. Watson y *P. palmeri* S. Watson en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 72: 17-32.
- Galindo, S. A. y E. García M. 1991. Usos del mezquite (*Prosopis laevigata*) en el altiplano potosino. *Agrociencia* 1(2): 57-62.
- Giantomasi, M.A., F.A. Roig J., P.E. Villagra, A.M. Srur. 2009. Annual variation and influence of climate on the ring width and Wood hydrosystem of *Prosopis flexuosa* DC trees using image analysis. *Trees* 23(1): 117-126.
- Gómez, L. F., J. Sgnoret P., M. del C. Abuín. 1970. Mezquites y huizaches: algunos aspectos de la economía, ecología, taxonomía de los géneros *Prosopis* y *Acacia* en México. Instituto mexicano de Recursos naturales Renovables (INIREB). México, D.F. 192 p.
- Fagg, C., J. Stewart. 1994. The value of *Acacia* and *Prosopis* in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments* 27: 3-25.
- Faifer & Company Inc. 2017. Many advantages of mesquite wood. <http://www.mesquitefloors.com/many-advantages-to-mesquite-wood/>
- Felger, R.S., M.B. Meser. 1985. *People of the desert and sea*. University of Arizona Press. Tucson, Az.
- Felker, P., P. Anderson, D. Parino, D. Miller. 1994. Grading mesquite lumber. Special publication of the Center for Semiarid Forest Resources. Texas A & M University. Kingsville, TX. 7 p.

- Fredrickson, E.L., R.E. Stell, A. Laliberte, D.M. Anderson. 2006. Mesquite recruitment in the Chihuahuan Desert: historic and prehistoric patterns with long-term impacts. *Journal of Arid Environments* 65: 285-295.
- Hernández R.A. y J. Villanueva D. 2001. Establecimiento y manejo de un módulo silvopastoril de mezquite en la zona media de San Luis Potosí. Folleto Técnico No. 15. INIFAP-CIRNE-S.L.P.
- Hernández-Herrera, J.A., L.M. Valenzuela-Nuñez, A. Flores-Hernández, J.C. Ríos-saucedo. 2014. Análisis dimensional para determinar volumen y peso de madera de mezquite (*Prosopis* L.). *Madera y Bosques* 20(3): 155-161.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- León De la Luz, J.L., R. Domínguez C., S.C. Díaz C. 2005. Evaluación del peso de leño a partir de variables dimensionales en dos especies de mezquite *Prosopis velutina* S. Watson y *P. palmeri* S. Watson en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 72: 17-32.
- López, B.C., S. Sabaté, C.A. Gracia, and R. Rodríguez. 2005. Wood anatomy, description of annual rings, and responses to ENSO events of *Prosopis pallida* H.B.K., a wide-spread woody plant of arid and semiarid lands of Latin America. *Journal of Arid Environments* 61: 541-554.
- McClaran, M.P., M.C.R. McMurphy, S.R. Archer. 2013. A tool for estimating impacts of woody encroachment in arid grasslands: allometric equations for biomass, carbon and nitrogen content in *Prosopis velutina*. *Journal of Arid Environments* 88: 39-42. doi: 10.1016/j.jaridew.2012.08.015.
- Meza, S.R. 2002. Metodologías para evaluar las poblaciones de mezquite (*Prosopis* spp.). INIFAP, CIR-NOROESTE, CE Todos Santos. La Paz, B.C.S. 40 p.

- Panduro, C.C., P. Santiago P., L. Guevara S., M. Espinoza L. 2012. Estudio de la industrialización química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. Proyecto PD 512/08 Rev. 2(1). AIDER. Lima, Perú. 18 p.
- Ramírez-García, A., A. Hernández-Reyna, and J. Villanueva-Díaz. 1997. Potential gum production of mesquite for the semiarid region of San Luis Potosí, Mexico. Abstracts of the International Conference of the Association for the advancement of industrial crops. Saltillo, Coah. Mexico. P. 85-86.
- Ríos, J.C., A.G. Valles, G. Sosa, J.A. Sigala, D. Albarrán. 2011. Metodología para la estimación de volumen, biomasa y carbono para mezquite en la región norte-centro de México. P. 107-134, En: J.C. Ríos, R. Trucios, L.M. Valenzuela, G. Sosa, R. Rosales (Editores), Importancia de las poblaciones de mezquite en el norte-centro de México. INIFAP-CENID RASPA. Libro Técnico No.08, Gómez palacio, Durango, México.
- Rodríguez Anda, R., A.M. Ramírez A., H. Palacios J., F.J. Fuentes T., J.A. Silva G., A.R. Saucedo C. 2015. Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera del mezquite (*Prosopis velutina* Wooton). Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6(28): 156-173.
- Rzedowski, J. 1988. Análisis de la distribución espacial del complejo *Prosopis* (Leguminosae, mimosoideae) en Norteamérica. Acta Botánica Mexicana 03: 7-19.
- SAGARPA. 2016. Programa de mediano plazo del desarrollo forestal 2016-2021. Gobierno del estado de Sonora. 50 p.
- Shepard, R.M. 2015. Tree rings in velvet mesquite (*Prosopis velutina* Woot.): an exploratory study of wood anatomy, crossdating, climate-growth relationships, life history, and above-ground biomass. Master Thesis. School of Natural

Resources and Environment. University of Arizona. Tucson, AZ.

- Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. Tree-ring dating. The University of Chicago Press. Chicago and London. 73 p.
- Trucíos, C., A., J.C. Ríos S., J. Estrada A., L.M. Valenzuela N., R. Jacinto S. 2011. Distribución espacial y cambios en el uso del suelo en poblaciones naturales de mezquite. P. 23-47. En: J.C. Ríos, R. Trucíos, L.M. Valenzuela, G. Sosa, R. Rosales (Editores), Importancia de las poblaciones de mezquite en el norte-centro de México. INIFAP-CENID RASPA. Libro Técnico No.08, Gómez palacio, Durango, México.
- Valles, A.C., J.C. Ríos, G. Sosa. 2011. Modelos para la estimación de volumen de biomasa y carbono en mezquite (*Prosopis laevigata*) en la región norte-centro de México. CIRNOC-C.E. Valle del Guadiana, Durango, INIFAP. Folleto Técnico No. 49. 30 p.
- Villalón, M.H. 1992. Peso específico básico aparente de 26 especies de matorral del noreste de México. Reporte científico No. 28. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, N.L. 36 p.
- Villanueva Díaz, J. 1993. Distribución actual y características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata* H. & B. Johnst) en el estado de San Luis Potosí. Boletín Divulgativo No. 74. INIFAP. México, D.F. 74 p.
- Villanueva Díaz, J., R. Jasso I., G. González C., I. Sánchez C., C. Potisek T. 2004a. El mezquite en la Comarca Lagunera: alternativa de producción integral para ecosistemas desérticos. Folleto Científico No. 14. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango, México
- Villanueva Díaz J., R. Jasso I., E.H. Cornejo O., C. Potisek T. 2004b. El mezquite en la Comarca Lagunera: Su dinámica,

volumen maderable y tasa de crecimiento anual.  
AGROFAZ 4(2): 633 – 647.

Villanueva Díaz, J., A. Hernández R. 2004. Estructura y crecimiento anual de algunas mezquiteras en San Luis Potosí. *Ciencia Forestal en México* 29(96): 7 – 27. Actividad, presupuesto y justificación para el desarrollo de la etapa.

Wilson, T.B., R.H. Webb, T.L. Thompson. 2001. Mechanisms of range expansion and removal of mesquite desert grasslands of the Southwestern United States. General technical Report RMRS-GTR-81. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 23 p.

## **Agradecimientos**

Para el acopio, generación de la información contenida en el presente documento y publicación, se tuvo apoyo del INIFAP a través del proyecto fiscal "Generación y validación de un paquete tecnológico para el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones de mezquite (*Prosopis glandulosa* variedad Torreyana) en el Valle de Mexicali, B. C.". Así como apoyo del proyecto fiscal con registro 10173434770 "Evaluación de tecnologías de aprovechamiento sustentable y monitoreo de mezquitales en la región noroeste de México".

# inifap

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

## Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

**COMITÉ EDITORIAL DEL CENID-RASPA**

**Presidente: Dr. Ignacio Sánchez Cohen**

**Secretario: Dr. Juan Estrada Ávalos**

**Vocales: M.C. Miguel Rivera González**

**M.C. Gerardo Esquivel Arriaga**

**Revisores técnicos**

**M.C. Gerardo Esquivel Arriaga**

**Edición y Diseño**

**M.C. Aldo Rafael Martínez Sifuentes**

La presente publicación se terminó de imprimir el mes de octubre del año 2019 en los talleres de Carmona Impresores S.A. de C.V., Calzada Lázaro Cárdenas No. 850. Colonia Eduardo Guerra. C.P. 27280 Torreón Coahuila, México. Su tiraje consta de 500 ejemplares.

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN  
RELACIÓN AGUA- SUELO- PLANTA- ATMÓSFERA**

Dr. Juan Estrada Ávalos  
Director

Ing. Armando Estrada González  
Jefe de Operaciones

Lic. Flor Carina Espinoza Delgadillo  
Jefe Administrativo

**Personal Investigador**

M.C. Palmira Bueno Hurtado

Dr. Ernesto Alonso Catalán Valencia

Dr. Julián Cerano Paredes

M.C. Vicenta Constante García

M.C. Gerardo Delgado Ramírez

M.C. Gerardo Esquivel Arriaga

Dr. Juan Estrada Ávalos

Dr. José Luis González Barrios

Dr. Guillermo González Cervantes

Dr. Marco Antonio Inzunza Ibarra

M.C. Rosario Jacobo Salcedo

M.C. Hilario Macías Rodríguez

Dr. Jesús Arcadio Muñoz Villalobos

Dra. Erika Nava Reyna

M.C. Cristo Omar Puente Valenzuela

M.C. Miguel Rivera González

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

M.C. Ramón Trucios Caciono

Dra. Ma. Magdalena Villa Castorena

Dr. José Villanueva Díaz

La escasa disponibilidad de agua y problemas de salinidad ha originado el abandono de terrenos agrícolas en municipios de Baja California, los cuales paulatinamente han sido colonizados por mezquite, una especie de múltiples usos, que al manejarse de manera integral y con fundamentos técnicos sólidos, puede constituir una opción de producción sustentable para sitios semiáridos de los desiertos Sonorense y Chihuahuense. En este folleto, se plasma información técnica derivada de estudios previos y muestreos de individuos de mezquite para analizar incrementos de biomasa anual, presentes en localidades del municipio de Mexicali. Se hace un análisis de necesidades de investigación, que al ser abordadas pueden potenciar el desarrollo de plantaciones de mezquite cuyo establecimiento se fundamente en paquetes tecnológicos propios para la región, lo cual redundará en beneficios para comunidades rurales, grupos organizados de ejidatarios y de pequeños productores.

