



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

RENDIMIENTO DE LA FIBRA DE *Agave lechuguilla* Torr. EN POBLACIONES NATURALES DEL EJIDO JOSÉ MARÍA MORELOS-EL NOPAL, JAUMAVE, TAMAULIPAS

RICARDO ISRAEL SÁNCHEZ MÉNDEZ

T E S I N A
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN
MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.

2020

La presente tesina titulada: **RENDIMIENTO DE LA FIBRA DE *Agave lechuguilla* Torr. EN POBLACIONES NATURALES DEL EJIDO JOSÉ MARÍA MORELOS – EL NOPAL, JAUMAVE, TAMAULIPAS**, realizada por el alumno: **Ricardo Israel Sánchez Méndez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN
MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Héctor Manuel de los Santos Posadas

ASESOR



Dr. Valentín José Reyes Hernández

ASESOR



Dr. Aurelio Manuel Fierros González

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2020

RENDIMIENTO DE LA FIBRA DE *Agave lechuguilla* Torr. EN POBLACIONES NATURALES DEL EJIDO JOSÉ MARÍA MORELOS–EL NOPAL, JAUMAVE, TAMAULIPAS.

Ricardo Israel Sánchez Méndez, M.T.

Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

Los productos forestales no maderables son una fuente de ingresos importante y de empleo para los habitantes de las regiones áridas y semiáridas de México. En particular, el aprovechamiento de fibra de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el Estado de Tamaulipas, representa una de las principales actividades económicas para los pobladores de esas regiones. El objetivo de este estudio fue generar un modelo de regresión para estimar el rendimiento en fibra seca de lechuguilla en el Ejido José María Morelos–El Nopal, Jaumave, Tamaulipas. La muestra se conformó de 240 plantas de lechuguilla, en las que se midieron diferentes variables para ser utilizadas como predictoras en el análisis de regresión: altura y diámetro de la planta, longitud y diámetro basal del cogollo; posteriormente, se determinó el peso seco de la fibra del cogollo (Pfs) en gramos. Se ajustaron ocho modelos lineales diferentes a través de la técnica de mínimos cuadrados ordinarios. El modelo seleccionado para el peso seco utiliza el diámetro a la base de cogollo (Db) y la longitud de este (Lc), $Pfs = b_0 + b_1 \times (Db^2 \times Lc)$, ya que registró las mejores estadísticas de ajuste y es sencillo de utilizar ($R^2_{aju} = 0.763$, RCME = 4.75). A partir del modelo, se elaboró una tabla para la estimación del rendimiento de fibra seca por planta. El uso de esta tabla permitirá una estimación rápida y confiable de las existencias reales y posibilidad (kg/ha). En el área de estudio se determinó una densidad de 2,640 plantas aprovechables/ha y un rendimiento de 37.9 kg/ha.

Palabras clave: Producto forestal no maderable, lechuguilla, fibra, rendimiento.

FIBER YIELD OF *Agave lechuguilla* Torr, IN NATURAL POPULATIONS OF THE EJIDO JOSÉ MARÍA MORELOS-EL NOPAL, JAUMAVE, TAMAULIPAS.

Ricardo Israel Sánchez Méndez, M.T.

Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

In Mexico, non-timber forest products are an important source of income and employment for the people of arid and semi-arid regions. In the State of Tamaulipas, the use of lechuguilla fiber (*Agave lechuguilla* Torr.) represents one of the main economic activities for the inhabitants. The objective of this study was to create a regression model to estimate the dry fiber yield of lechuguilla in the Ejido José María Morelos–El Nopal, Jaumave, Tamaulipas. 240 lechuguilla plants were sampled, of which different explanatory variables were measured to be used in the regression analysis: height and diameter of the plant, length and basal diameter of the terminal shoot. Subsequently, the dry weight of the fiber of the terminal shoot (Pfs) was determined. Eight different linear models were fitted through the ordinary least squares technique. The model that performed the best-fit statistics was $Pfs=b_0+b_1x(Db^2 \times Lc)$. This model used the variables diameter at the base (Db) and length of the terminal shoot (Lc). Based on the linear model, a table to estimate the dry fiber yield per plant was developed. This information will allow a quick and reliable estimate of true stocks and possibility (kg/ha). In the study area, a density of 2,640 usable plants/ha and a yield of 37.9 kg/ha were determined.

Keywords: Non-timber forest product, lechuguilla, fiber, yield.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profunda gratitud al Colegio de Postgraduados por su excelencia académica, en especial al Postgrado Forestal por haberme dado la oportunidad de continuar mi preparación profesional.

A la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), por haber financiado parte de mis estudios de maestría.

A los integrantes de mi consejo particular, Dr. Héctor Manuel de los Santos Posadas, Dr. Valentín José Reyes Hernández y Dr. Aurelio Manuel Fierros González por contribuir al enriquecimiento de la presente investigación con cada una de sus valiosas aportaciones.

Al Dr. Héctor Manuel de los Santos Posadas por su excelente dirección durante el proceso de elaboración de la tesina, por brindarme su invaluable tiempo, apoyo y comprensión.

Al Dr. Valentín José Reyes Hernández por las enseñanzas compartidas, por sus acertados consejos y observaciones para enriquecer este trabajo.

Al Dr. Aurelio Manuel Fierros González, por sus valiosos consejos para ayudar a mejorar este trabajo.

A Sr. Pedro Nolaseo Walle Zúñiga, del Ejido José María Morelos–El Nopal, por brindarme su apoyo incondicional en la toma de datos de campo y compartir sus experiencias.

A todos mis profesores de la Maestría Tecnológica en Manejo Sustentable de Bosques, por compartir sus conocimientos y experiencias, que sin duda, contribuyeron a mejorar mis capacidades técnicas y profesionales, a favor de los productores forestales y al uso sustentable de los recursos naturales.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Daniel Sánchez Bandillo y Macaria Méndez Garduño, por el tiempo y esfuerzo invertido en mí y apoyo moral que siempre he tenido de su parte.

Agradezco a mi familia su paciencia, apoyo y acompañamiento en esta etapa de nuestra vida. Gracias a mi esposa Gloria Xochitl y a mis hijos Ricardo Joel y Montserrat.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE CUADROS	x
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades del <i>Agave lechuguilla</i> Torr.....	3
2.1.1 Taxonomía.....	3
2.1.2 Descripción botánica	3
2.1.3 Fenología y estrategias de propagación de lechuguilla.....	4
2.1.4 Distribución.....	4
2.1.5 Hábitat de la especie	5
2.2 Importancia ecológica	5
2.3 Importancia económica	6
2.4 Aprovechamiento de la especie	7
2.4.1 Legislación.....	7
2.4.2 Obtención de la fibra o ixtle	8
2.4.3 Turno técnico.....	11
2.5 Importancia de la evaluación de recursos no maderables	12
2.5.1 Modelos alométricos.....	13
2.5.2 Tablas de volumen y rendimiento.....	14
2.5.3 Estudios afines mediante modelos matemáticos.....	15
3 OBJETIVOS	17
4 MATERIALES Y MÉTODOS	18
4.1 Descripción del área de estudio	18
4.2 Elección y Tamaño de muestra.....	20
4.3 Información de campo.....	22
4.4 Análisis estadístico.....	24
4.4.1 Construcción de los modelos de predicción	25
4.5 Tablas de rendimiento.....	27

4.6	Estimación del rendimiento de fibra seca.....	28
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1	Estadísticos descriptivos de las variables	29
5.2	Correlación.....	30
5.3	Modelos ajustados para la estimación de peso de fibra seca (Pfs).....	32
5.4	Tabla de producción de fibra seca (g).....	35
5.5	Rendimiento potencial de fibra seca	39
6	CONCLUSIONES.....	41
7	LITERATURA CITADA	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto general de <i>Agave lechuguilla</i> Torr. en su hábitat natural.....	3
Figura 2. Herramientas rústicas para el aprovechamiento de lechuguilla: cogollera a) pértiga o mango de madera y b) aro de fierro; c) corte de cogollos y d) huajaca.....	9
Figura 3. Tallado manual: a) tallandería, b) tallador c) banco y d) bolillos.....	10
Figura 4. Localización del área de estudio y del área de aprovechamiento de <i>Agave lechuguilla</i> Torr.....	18
Figura 5. Climograma de la región. Estación Francisco Zorrilla, clave 28034	19
Figura 6. Distribución de sitios de muestreo en el área de estudio.	21
Figura 7. Evaluación de plantas de lechuguilla mediante muestreo de cuadrantes de punto central.....	21
Figura 8. Trazo del sitio en cuadrantes de punto central.....	22
Figura 9. Medición de a) altura (At); b) diámetro promedio (Dp); c) Longitud (Lc) y d) diámetro basal del cogollo (Db); e) etiquetado y f) determinación del peso verde por cogollo.	23
Figura 10. a) y b) selección de hojas aprovechables, c) secado de fibra y d) determinación del peso de fibra seca por cogollo.	24
Figura 11. Diagramas de dispersión entre las variables con mayor coeficiente de correlación (r).	31
Figura 12. Valores de fibra peso seco (Pfs) y línea recta de mejor ajuste.....	34
Figura 13. Dispersión de residuos frente a los valores estimados del peso de fibra seca de lechuguilla.	34

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Modelos ajustados para estimar el peso de fibra seca de lechuguilla.	26
Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables evaluadas en lechuguilla.	30
Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables independientes con el peso de fibra seco.	31
Cuadro 4. Prueba de bondad de ajuste de los modelos lineales para estimar el peso de la fibra seca de lechuguilla.	32
Cuadro 5. Parámetros de regresión de los modelos lineales para estimar el peso de la fibra seca de lechuguilla.	33
Cuadro 6. Tabla de rendimiento para estimar el peso de fibra seca de lechuguilla (Pfs, g) utilizando el diámetro basal (Db, cm) y longitud (Lc, cm) del cogollo.	37
Cuadro 7. Densidad y Rendimiento de fibra de lechuguilla por hectárea.	39
Cuadro 8. Potencial de rendimiento de <i>Agave lechuguilla</i> Torr. a nivel predial.	40

1 INTRODUCCIÓN

La lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) es un recurso forestal no maderable importante económicamente, que durante generaciones ha constituido una fuente importante de ingresos para los habitantes del área rural en las regiones áridas y semiáridas de México (Villarreal y Maiti, 1989; Berlanga *et al.*, 1992), su fibra se utiliza desde hace 8000 años (Sheldon, 1980) y actualmente es un componente significativo en la economía de unos 20,000 recolectores y sus familias (Reyes *et al.*, 2000). Se distribuye en grandes extensiones del país, primordialmente en los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y en menor proporción en los estados de Oaxaca, Hidalgo y Puebla (Marroquín *et al.*, 1981).

Para el aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr. se requiere enviar un aviso por escrito a la autoridad competente, al cual debe adjuntarse un estudio técnico donde se presentan las existencias reales, las posibilidades de cosecha y se plantean las estrategias para realizar un manejo sustentable de la especie (SEMARNAT, 2005; SEMARNAT, 2018). Sin embargo, el aprovechamiento de la lechuguilla en la zona norte del país se practica sobre la base del conocimiento tradicional y sin técnicas de manejo que garanticen su conservación (Velasco *et al.*, 2009).

Uno de los factores importantes para lograr un aprovechamiento sostenible de los recursos forestales no maderables, radica en que la tasa de aprovechamiento no rebase a la capacidad productiva. Por tal razón, desde hace tiempo se han desarrollado metodologías para predecir, por medio de mediciones simples y directas, la producción que sustentan los árboles o arbustos de una determinada especie o rodal (Caballero, 1972; Romahn *et al.*, 2010).

En este contexto, las tablas de rendimiento basadas en modelos matemáticos, permiten predecir de manera simple el rendimiento de fibra seca por planta, y conociendo la densidad de población, se estima la producción por hectárea y por

predio. Las tablas de rendimiento agilizan el trabajo en términos de tiempo y costos, debido a que sólo se necesitan hacer mediciones sencillas, tales como el diámetro basal y longitud del cogollo (Pando *et al.*, 2008; Velasco *et al.*, 2009, Martínez, 2011).

Este trabajo tuvo el objetivo principal el de encontrar las relaciones entre diferentes características morfológicas de las plantas de lechuguilla y el peso seco de la fibra, mediante el ajuste de modelos matemáticos, que permitan estimar el rendimiento de fibra seca y a partir de éste construir una tabla de rendimiento para *Agave lechuguilla* Torr.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del *Agave lechuguilla* Torr.

2.1.1 Taxonomía.

Agave lechuguilla Torr.

Nombres comunes: Tzuta (lengua otomí), ixtle, Tampico fiber, Mexican fiber.

La sinonimia científica registrada por Gentry (1982) para *Agave lechuguilla* Torr. son: *Agave poselgeri* Salm., *Agave multilineata* Baker y *Agave heteracantha* Hort.

2.1.2 Descripción botánica

Planta perenne, pequeña, con hojas en rosetas de 30-50 cm de alto y 40 a 60 cm de ancho. Hojas linear lanceoladas, 25-50 x 2.5-4 cm, verde claro a amarillo verdoso, ascendentes a erectas, a veces falcadas y extendidas, cóncavas de arriba y profundamente convexas de abajo, gruesas, rígidas, con márgenes continuos, rectos, de color café claro a gris, dientes retrorsos de 2-5 mm de largo, color café a gris claro, la mayoría separados entre sí por 1.5-3 cm; espina fuerte de 1.5-4 cm, grisácea. Inflorescencia de 2.5-3.5 m, eje generalmente glauco, flores cortamente pediceladas dispuestas en pares o grupos de tres, de 30-45 mm de largo, amarillas o frecuentemente teñidas con rojo o púrpura. Fruto una cápsula oblonga a piriforme, de 18-25 x 11-18 mm, con pedicelo muy corto o sésiles y con pico corto en el ápice; semillas de 4.5-6 x 3.5-4.5 mm, con muesca hilar somera y ala sobre el lado curvado (Gentry, 1982).



Figura 1. Aspecto general de *Agave lechuguilla* Torr. en su hábitat natural.

2.1.3 Fenología y estrategias de propagación de lechuguilla

La lechuguilla florece entre los meses de mayo y junio, sin embargo, cuando existen años secos, puede ocurrir en octubre o noviembre (Reyes *et al.*, 2000). Al igual que otras especies de Agave, la lechuguilla muere después de florecer y fructificar; para llegar a la madurez sexual la planta requiere aproximadamente de entre cuatro y seis años; si la planta es sometida a un aprovechamiento adecuado, sin dañar el meristemo apical, su vida puede prolongarse hasta los 15 o 20 años (Sheldon, 1980; SEMARNAT, 2008).

La lechuguilla se reproduce tanto sexual como asexualmente; Freeman y Reid (1985) citados por Reyes *et al.*, (2000) observaron que la reproducción de la lechuguilla es casi exclusivamente asexual, por renuevos rizomáticos llamados hijuelos. La producción continua de hijuelos, origina agrupaciones de plantas grandes y densas. Aunque se desconoce la tasa de producción natural de retoños, se sabe que la recolección del cogollo y extirpación de hijuelos, induce su regeneración y la reducción de su emisión, respectivamente (Berlanga *et al.*, 1992).

2.1.4 Distribución

La lechuguilla se distribuye desde el sureste de los Estados Unidos (Texas y Nuevo México) hasta el Desierto Chihuahuense en territorio mexicano. En México tiene una distribución geográfica muy amplia, ya que las poblaciones cubren cerca de 100,000 km², se localiza en la parte norte de México en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, San Luís Potosí y Zacatecas, mientras que en el centro y sur del país se ubica en menor proporción en los estados de Hidalgo, Puebla, México y parte de Oaxaca, denominándose a esta región como la altiplanicie mexicana (Sheldon, 1980; Nobel y Quero, 1986 y Marroquín *et al.*, 1981). En Tamaulipas se distribuye principalmente en los municipios de Jaumave, Miquihuana, Palmillas, Bustamante y Tula, con una superficie potencial de aprovechamiento de más de 235,000 hectáreas (CONAFOR, 2008).

2.1.5 Hábitat de la especie

La lechuguilla se desarrolla en climas secos de zonas áridas y semiáridas, es una especie dominante del matorral desértico rosetófilo, aunque también se localiza en el matorral desértico micrófilo y en el área de ecotonía entre ambos tipos de vegetación (Berlanga *et al.*, 1992; Rzedowski, 2006); en Tamaulipas esta especie prospera en el matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo y matorral submontano (Castillo *et al.*, 2014).

Se desarrolla en climas secos (BW), semisecos (BS₀ y BS₁) y templados subhúmedos (Cw₀), precipitación anual que varía de 150 a 500 mm. Puede soportar períodos de varios años de sequía, así como inundaciones; logra crecer en temperaturas que van desde los 44°C hasta -8°C (Berlanga *et al.*, 1992; Blando y Baca, 2001).

La lechuguilla suele encontrarse entre los 950 y 2300 msnm, aunque existen registros de 200 a 2400 msnm. Generalmente crece sobre suelos calizos, calcáreos rocosos y arcillosos. Su mejor adaptación se presenta en suelos coluviales someros de sierras y lomeríos pedregosos de origen calizo, con un pH de 7.2 a 8.5; en ocasiones se desarrolla en suelos planos siempre y cuando reúnan las condiciones anteriores y tengan buen drenaje (Berlanga *et al.*, 1992). Reyes *et al.*, (2000) reportan para *Agave lechuguilla* un sustrato geológico de rocas sedimentarias (caliza, conglomerado, lutita y arenisca).

2.2 Importancia ecológica

El género *Agave* tiene una importancia ecológica relevante, ya que proporciona refugio y alimento para una gama muy amplia de especies de animales, desde insectos hasta mamíferos, entre otros aspectos, gracias a la gran cantidad de polen y néctar que producen sus flores (Gentry, 1982; Eguiarte y Souza, 2007); los polinizadores son aves paseriformes, mariposas, algunas abejas y murciélagos (Reyes *et al.*, 2000). Reyes (1981) indica que la lechuguilla constituye un valioso

recurso ecológico, ya que tiene un papel muy eficaz contra el impacto de los procesos erosivos.

2.3 Importancia económica

La fibra de la lechuguilla se ha utilizado desde tiempos muy remotos en las zonas áridas y semiáridas de México, y en la actualidad es fundamental para la economía de unos 20,000 recolectores y sus familias. Hay evidencias arqueológicas que demuestran su uso desde hace unos 8000 años (Reyes *et al.*, 2000; Sheldon, 1980).

Entre las fibras naturales, la lechuguilla, es una fuente excelente de fibra dura de alta resistencia y durabilidad, que se utiliza como materia prima, para la elaboración de diversos utensilios domésticos como cordelería, estropajos, cepillos, brochas para maquillaje; también es usado como sustituto de las cerdas para la fabricación de cepillos industriales y para albañilería, entre otros, que son elaborados tanto en empresas nacionales como a nivel internacional. El principal uso de la fibra es fabricación de cepillos industriales, debido a su alta resistencia a la fricción y a las temperaturas altas (Castillo y Cano, 2007; CONAFOR, 2009), también se usa en champús y jabones cosméticos; el jugo de las hojas se utiliza como detergente y en años recientes se ha popularizado en Jalisco la bebida “raicilla”, producto del destilado (SEMARNAT, 2008).

La fibra de lechuguilla tiene una gran demanda a nivel nacional e internacional, ya que el 93 % de la producción se exporta a Estados Unidos, Canadá, Holanda, Alemania, España, Francia, Suiza, Japón, América Central, y algunos países de América del Sur (Berlanga, 1998; SEMARNAT, 2008; CONAFOR, 2009). La mano de obra para la extracción de la fibra se ha reducido en forma considerable, pues los recolectores buscan otras opciones de empleo ante el desarrollo industrial en la región y el bajo precio de compra-venta de la fibra, y las condiciones climáticas adversas, que incrementan su turno técnico (Castillo *et al.*, 2007).

En Tamaulipas, la comercialización del ixtle de lechuguilla se realiza principalmente en greña, dentro de los mismos núcleos agrarios donde la tienda DICONSA es la encargada de la compra, pagando al productor \$25.00 pesos por kilogramo; algunos esfuerzos de instituciones como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y prestadores de servicios técnicos, han impulsado grupos de trabajo para desarrollar actividades que le den un mayor valor agregado a la fibra o ixtle de lechuguilla, mediante la elaboración diferentes artículos de uso personal como bolsas para dama, cinturones, cepillos, alhajeros y diversas artesanías.

En 2017, el Estado de Tamaulipas reporta una producción de 984 toneladas de fibras con un valor de \$27,071,275 pesos, ubicándose en segundo lugar a nivel nacional (SEMARNAT, 2020a). Actualmente, se tienen 36 avisos vigentes para el aprovechamiento de fibra de lechuguilla, con una superficie de 33,886.43 hectáreas a intervenir y una posibilidad total de 6,287.37 toneladas (SEMARNAT, 2020b).

2.4 Aprovechamiento de la especie

2.4.1 Legislación

Los aprovechamientos para obtener fibra de *Agave lechuguilla* deben satisfacer los preceptos de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) y su Reglamento (RLGDFS) y las precisiones de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SEMARNAT-1996, que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos. Además, tales aprovechamientos deben atender otra normatividad aplicable dependiendo de la ubicación y el régimen de propiedad de los terrenos (SEMARNAT, 1996; SEMARNAT, 2005; SEMARNAT, 2018).

La LGDFS señala en el Artículo 84, que el aprovechamiento de recursos no maderables únicamente requerirá de un aviso por escrito a la autoridad competente. El Reglamento establecerá los requisitos del aviso (SEMARNAT, 2018). El aviso para el aprovechamiento al que hace referencia el Artículo 84 de la LGDFS, es atendido en el Artículo 53 del Reglamento de la Ley, el cual establece que junto con

el aviso deberá presentarse un Estudio Técnico, que señala en la fracción VII, inciso c) lo referente a la estimación de las existencias reales de las especies o de sus partes por aprovechar y las cantidades por aprovechar anualmente en metros cúbicos, litros o kilogramos (SEMARNAT, 2005).

Además de cumplir lo dictado en la LGDFS y su reglamento, deberá cumplirse con los criterios y especificaciones técnicas establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1996; Velasco *et al.*, 2009).

2.4.2 Obtención de la fibra o ixtle

Existen dos métodos para la extracción de la fibra: tallado a mano y tallado a máquina. En el Municipio de Jaumave, Tamaulipas, el tallado manual todavía constituye el método de extracción de fibra. Sin embargo, estados como Coahuila utilizan principalmente máquinas desfibradoras, que demandan un menor esfuerzo físico, aumentan la producción y se obtienen mayores ingresos en un menor tiempo (Castillo *et al.*, 2005).

El aprovechamiento empieza con la recolección de cogollos, para lo cual el campesino se traslada al campo llevando una cogollera (instrumento rústico compuesto por un aro de fierro unido a una pértiga o mango de madera), la cual se introduce en torno del cogollo y con un movimiento de vaivén lo desprende. Las plantas de las cuales se recolectan los cogollos, se seleccionan previo examen visual del ixtlero, específicamente aquellos que tienen una longitud del cogollo mayor de 25 cm (NOM-008-SEMARNAT-1996); una vez extraídos los cogollos de las plantas, éstos se guardan en una huajaca hasta completar su llenado. La huajaca es un recipiente rústico, de red, que tiene en la boca un aro de madera (Figura 2). Una vez que se han recolectado suficientes cogollos, se transportan a centros de acopio o bien, a tallanderías rústicas, que los ixtleros improvisan en algún sitio del paraje donde realizan el aprovechamiento del cogollo (Castillo *et al.*, 2005).



Figura 2. Herramientas rústicas para el aprovechamiento de lechuguilla: cogollera a) pértiga o mango de madera y b) aro de fierro; c) corte de cogollos y d) huajaca.

Tallado manual

Para el desfibrado manual (Figura 3), se improvisa una sombra bajo un árbol o arbusto; posteriormente, se inicia la instalación de la "tallandería", que consiste en utensilios tradicionales como el tallador (cuchillo sin filo), banco y bolillos. Una vez concluida la tallandería, se toma el cogollo y se procede a separar las hojas de mayor dimensión y se desechan aquellas más tiernas y de menor tamaño, localizadas al centro del cogollo. Regularmente, de un cogollo se obtienen de seis a ocho hojas tallables (con longitud y dureza de fibra adecuada). El tallado consiste en separar la fibra de la parte carnosa de la hoja. Para el desfibrado se utiliza el tallador, que es un utensilio puntiagudo y sin filo, que al hacer presión sobre las hojas y tallar contra el trozo de madera (banco) y con la ayuda del bolillo más grueso,

el productor estira las pencas (hojas) y logra pasarlas entre el tallador y el banco en dirección de su cuerpo; en donde separa el tejido o “guishe” de la fibra y se extrae el producto. Esta actividad se conoce como “despunte” (Castillo *et al.*, 2005).

Cuando se ha realizado esta operación en unas seis u ocho hojas, las junta, colocando sus fibras en un solo manojo, enreda estas fibras en el bolillo de menos diámetro, para ir tallando una por una todas las partes troncales de la hoja; este último proceso se conoce como “destronque” (Castillo *et al.*, 2005).

Después la fibra se extiende en capas delgadas y se deja secar al sol por un período de dos a tres horas. Con este método, un trabajador obtiene aproximadamente seis kg de fibra en una jornada laboral de ocho horas (Castillo *et al.*, 2005).



Figura 3. Tallado manual: a) tallandería, b) tallador c) banco y d) bolillos.

Tallado mecánico

El desfibrado mecánico se realiza por medio de una máquina talladora cuyo principio es el peinado de las hojas por medio de un tambor provisto de clavos periféricos, el cual es accionado con un motor eléctrico o de gasolina (Mayorga, 2004).

A diferencia del tallado manual, en el tallado mecánico no se deshoja el cogollo, se mete completo a la máquina y por la forma de funcionar se desechan las hojas más tiernas junto con el guishe que se desprende de las hojas aprovechables. Para el tallado, una vez que se abre el interruptor para encender la máquina, empieza a girar el tambor y se introducen de dos o tres cogollos dependiendo del grosor de cada uno, ya que se debe permitir el agarre de estos (Bautista y Martínez, 2012).

En comparación con el tallado manual, donde se empieza a tallar por la punta, en el tallado mecánico se empieza por la base del cogollo. Posteriormente, se toman los cogollos por la parte tallada y se introduce el resto para concluir con el tallado. Al terminar de hacer el tallado, la fibra está lista para ponerlas a secar (Bautista y Martínez, 2012).

Un aspecto negativo del tallado mecánico es la menor calidad de la fibra que se produce, derivada del maltrato mecánico que sufre ésta por los clavos y a una mayor cantidad de residuos orgánicos que quedan adheridos, además, la fibra se mancha y no se seca uniformemente, al tenerse menor calidad se obtiene menor precio. Sin embargo, con el desfibrado a máquina el productor puede tallar mayor cantidad de fibra por jornada y con menor esfuerzo, lo que repercutirá en mayores ingresos. Bajo este proceso, el productor puede obtener hasta 100 kg de fibra en ocho horas, contra sólo seis que obtiene tallando manualmente (Castillo *et al.*, 2005).

2.4.3 Turno técnico

De acuerdo con Narcía *et al.*, (2012) el turno técnico para el aprovechamiento del cogollo de la lechuguilla, es el tiempo necesario para que alcance su madurez de cosecha, la cual es el conjunto de características específicas de cada planta, que

determina el momento adecuado para realizar el aprovechamiento en forma sostenible, y se identifica por su etapa de desarrollo y dimensiones. La madurez de cosecha se identifica por la longitud del cogollo, que debe ser mínimo de 25 cm según lo establece la NOM-008-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1996).

En poblaciones naturales de Coahuila, Zapién (1981) determinó que en promedio el cogollo incrementa 1 cm de longitud por mes, por lo que se necesitan 25 meses para alcanzar el turno técnico. En contraste, Berlanga *et al.*, (1992) mencionan que en la recuperación del cogollo ha mostrado resultados de crecimiento promedio de 1.9 centímetros mensuales y turnos que varían de 14 a 16 meses.

Narcía *et al.*, (2012) también determinaron el turno técnico de cuatro poblaciones naturales de lechuguilla, concluyendo que en la localidad de Jaumave se obtuvo turno técnico a los 14 meses con una altura promedio del cogollo de 25.54 cm.; en La Saucedá el turno técnico fue de 22 meses, en contraste, en los ejidos Paredón, se extendió a 25 meses y Estación Marte a 24 meses.

2.5 Importancia de la evaluación de recursos no maderables

El Programa Estratégico Forestal para México 2025 menciona que el manejo forestal en las zonas áridas y semiáridas cuenta con un alto potencial para el aprovechamiento de los recursos forestales no maderables y al mismo tiempo hace énfasis en que en el aprovechamiento y la industria existe una debilidad en las prácticas de extracción. También menciona la falta de conocimiento sobre las técnicas de aprovechamiento y caracterización biológica, realizando estas actividades de manera tradicional, así como la carencia de programas de evaluación y monitoreo de los aprovechamientos (SEMARNAT-CONAFOR, 2001).

Para determinar los niveles de aprovechamiento sostenibles de un producto, debe contarse con información sobre el recurso, tal como su abundancia, su distribución y su biología reproductiva. Esta información puede conseguirse de diversas fuentes,

incluyendo el conocimiento informal recopilado de la población rural (Wong *et al.*, 2001).

Uno de los factores para lograr un aprovechamiento sostenible de los recursos forestales no maderables, es el que la tasa de aprovechamiento no rebase a la capacidad productiva, determinado utilizando un modelo de rendimiento en los planes de manejo (Wong *et al.*, 2001). Por tal razón, desde hace tiempo se han desarrollado metodologías para predecir, por medio de mediciones simples y directas, la producción de los árboles o arbustos de una especie o rodal (Caballero, 1972; Romahn *et al.*, 2010).

2.5.1 Modelos alométricos

La alometría o análisis dimensional consiste en el estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento (Díaz *et al.*, 2007), se basa en relacionar las dimensiones de las plantas o de sus partes que sean fáciles de obtener y relacionarlas con otras más difíciles de obtener, como la biomasa de los individuos, mediante la técnica de regresión. Estas relaciones se hacen con el propósito de generar ecuaciones que serán utilizadas para estimar la biomasa de los individuos, ya sea total o de alguna(s) de sus partes; o bien, para la elaboración de tablas o tarifas de producción empleadas para el mismo propósito. Las principales ventajas es que se produce un método no destructivo, rápido, preciso, económico y libre de la influencia personal (Meza, 1998).

Con las ecuaciones alométricas pueden determinarse algunas relaciones como la de la masa (generalmente en peso seco) de los árboles y sus datos dimensionales (ej. altura, diámetro). Dependiendo del número de variables independientes (datos dimensionales) la ecuación puede ser una regresión lineal simple (una única variable, ej. dap) o una regresión lineal múltiple (más de dos variables, ej. dap y altura total). Dependiendo de otras circunstancias las ecuaciones pueden ser lineales o no lineales (Rügnitz *et al.*, 2009).

Según Villavicencio *et al.*, (2018) en estudios forestales de especies de zonas áridas, el análisis dimensional se aplica para calcular la biomasa foliar de gobernadora (*Larrea tridentata*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), acacia (*Acacia pennatula*), palma samandoca (*Yucca carnerosana*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), sotol (*Dasyilirion cedrosanum*), cortadillo (*Nolina cespitifera*) y en arbustos forrajeros como *Atriplex canescens* (costilla de vaca).

2.5.2 Tablas de volumen y rendimiento

El rendimiento se refiere normalmente a la cantidad del producto disponible (Wong *et al.*, 2001). Por su parte Alder (1980) señala que el rendimiento puede expresarse en términos de volumen de los árboles de una cosecha, o el volumen de los árboles de un grupo particular de especies, o también algún producto no maderable, tal como corteza, follaje, resina, etc..

En especies de zonas áridas se han desarrollado este tipo de herramientas para especies como lechuguilla, guayule, candelilla, mezquite, orégano y cortadillo; pero a diferencia de aquellas, se les ha denominado “Tablas de producción o rendimiento” (Cano *et al.*, 2005).

Al respecto, Wong *et al.*, (2001) la define como una tabla que puede utilizarse para estimar el rendimiento, basándose en una medición sencilla del tamaño; es decir, una tabla que se puede utilizar para estimar el volumen de madera a partir del diámetro de un árbol; la tabla se obtiene normalmente a partir de una ecuación de regresión.

Sin embargo, las tablas de rendimiento presentan como inconveniente, que su aplicación espacial está restringida a predios con las características ecológicas similares a las existentes en el sitio dónde se tomaron los datos de campo para su elaboración (Velasco *et al.*, 2009).

2.5.3 Estudios afines mediante modelos matemáticos

Uno de los primeros trabajos realizados para cuantificar la producción de biomasa de lechuguilla fue el descrito por Zárate *et al.*, (1991), quienes generaron un modelo matemático para estimar biomasa del cogollo de la lechuguilla para poblaciones naturales en la localidad de La Saucedá, Coahuila; analizaron cuatro modelos de regresión (lineal, potencial, exponencial y logarítmico) y encontraron que el modelo de regresión potencial era la forma funcional más adecuada ($R^2 = 0.76$), utilizando el volumen del cogollo (forma de cono) como variable independiente. Apoyándose de esta ecuación, Berlanga *et al.*, (1992) elaboraron una tabla para estimar la producción de biomasa de cogollos (g) de lechuguilla, utilizando datos de altura (cm) y diámetro basal (mm) del cogollo. Con el inconveniente que para transformar el valor obtenido al peso seco de la fibra es necesario aplicar factores en función del tipo de tallado del cogollo; sí es manual (6.2 %) o en máquina (8 %).

Por su parte, en el Sur del Estado de Nuevo León, Pando *et al.*, (2004) ajustaron una ecuación para estimar la biomasa del cogollo, obteniendo un modelo de regresión lineal simple ($R^2=0.91$), utilizando como variable independiente el volumen del cogollo (forma de cono). En poblaciones naturales del Estado de Zacatecas, Martínez (2015) generó un modelo lineal simple para estimar el peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla*, en función de la combinación de diámetro promedio de cobertura de la planta y el diámetro basal del cogollo, con un coeficiente de determinación $R^2=0.72$. A partir del modelo elaboró una tabla para estimar el peso verde del cogollo, además, reporta un coeficiente de rendimiento de 6.63 % con respecto a la fibra seca por planta.

Respecto a la predicción de la producción de fibra seca por planta, se puede citar a Blando y Baca (2001), quienes evaluaron el potencial productivo del *Agave lechuguilla* Torr. en el Municipio de San Juan de Guadalupe, Durango, ajustando una ecuación lineal para estimar el peso seco de la fibra por planta en las diferentes topofomas, tomando como variables predictoras el área de la cobertura de la planta y el número de hojas aprovechables (tallables), con una R^2 de 0.76; estos autores

encontraron variabilidad en los rendimientos de fibra seca en las diferentes topografías del terreno, atribuyendo dichas variaciones a las características ambientales en que se desarrolla la planta, siendo factores importantes el relieve y tipo de suelo.

Otros trabajos en Coahuila y San Luis Potosí, fueron los de Bautista y Martínez (2012) y Velasco *et al.*, (2009) quienes generaron modelos con coeficientes de determinación de 0.63 y 0.68; en el primer caso, las variables independientes fueron el diámetro de la base de la planta, el diámetro del cogollo y la longitud del cogollo; en tanto que para el segundo valor se usaron la altura y el diámetro del cogollo.

Pando *et al.*, (2008) en un estudio realizado en los estados de Coahuila y en Tamaulipas, ajustaron un modelo de regresión cuadrática ($R^2=0.87$), utilizando las variables altura cogollo (cm) multiplicado por el diámetro cogollo (cm) para predecir el peso seco de la fibra de lechuguilla.

Para el Estado de Tamaulipas, Martínez (2011) elaboró una tabla para estimar el rendimiento de fibra seca de *Agave lechuguilla* Torr. en poblaciones naturales, donde ajustó un modelo utilizando como única variable independiente la longitud del cogollo ($R^2=0.11$), señala que el valor de la varianza explicada por el coeficiente de determinación (R^2) parece ser muy pequeño; sin embargo, indica que debido al número de observaciones tan alto ($n=955$) es estadísticamente significativo y puede ser referente para calcular un estimado del peso de la fibra seca por cogollo en la región.

3 OBJETIVOS

Objetivo general

Generar un modelo de regresión para estimar el rendimiento en fibra seca de *Agave lechuguilla* Torr. en el Ejido José María Morelos–El Nopal, Jaumave, Tamaulipas.

Objetivos particulares

- Seleccionar el mejor modelo de regresión para estimar el peso seco en fibra de *Agave lechuguilla* Torr.
- Elaborar una tabla de rendimiento de la fibra seca de *Agave lechuguilla* Torr.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Ejido José María Morelos–El Nopal, que tiene una superficie de 3,646 ha. Se ubica dentro del Municipio de Jaumave, Tamaulipas, entre las coordenadas 23° 27' 47.38" y 23° 32' 59.27" de latitud Norte y 99° 19' 58.16" y 99° 24' 5.92" de longitud Oeste (Figura 4). El predio colinda al Norte con los ejidos General Francisco Medrano e Independencia, al Sur con los ejidos El Alamito y San Juanito, al Este con los ejidos San Juan de Oriente, Conrado Castillo y San Francisco y al Oeste con los ejidos San Juanito e Independencia.

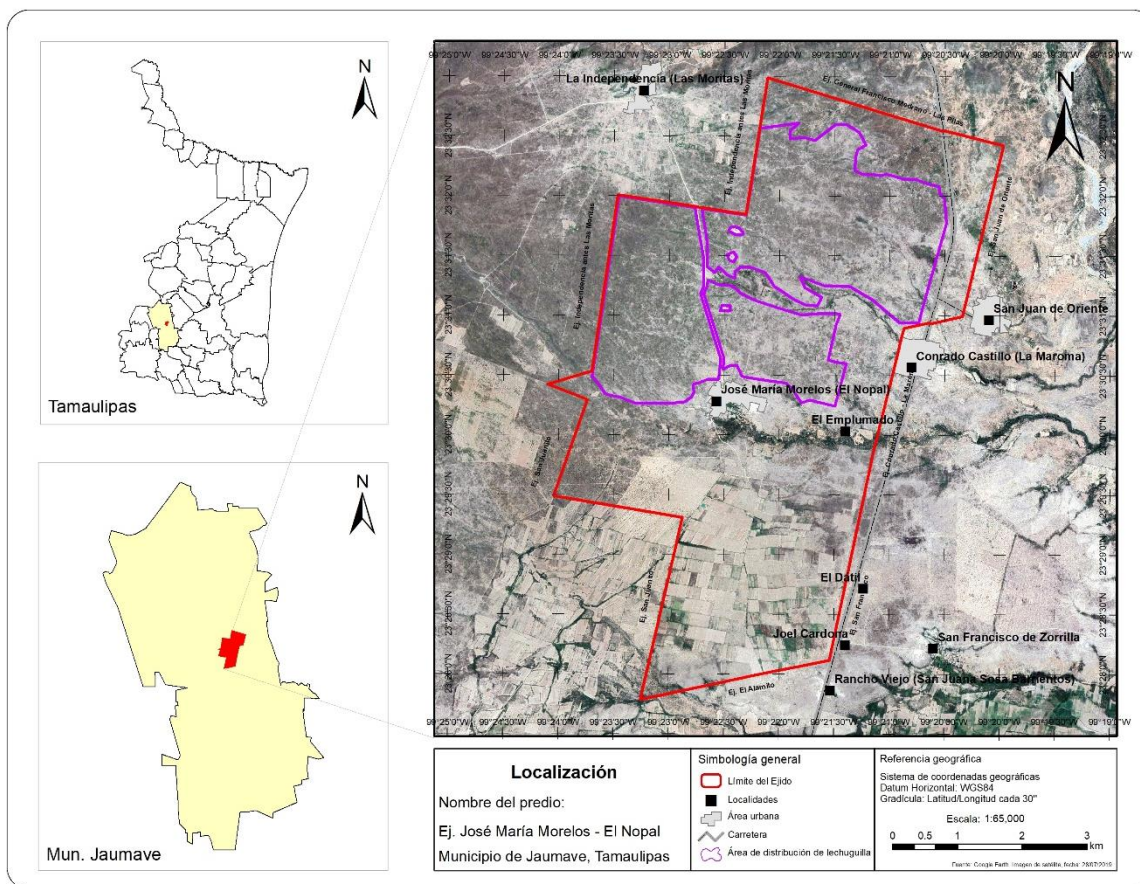


Figura 4. Localización del área de estudio y del área de aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr.

El área se caracteriza por una topografía de valles con laderas tendidas en una altitud de 720 a 820 msnm, pendientes de 0 a 15 % y exposiciones del terreno

predominantes Este y Sureste. Se ubica en la subprovincia Gran Sierra Plegada, de la Sierra Madre Oriental (INEGI, 2001). Presenta suelos poco profundos (menor de 25 cm), limitados por la presencia de caliche endurecido, pedregosidad superficial escasa y con textura media. El suelo predominante es de tipo Rendzina (E) asociado con el Litosol (I), la clave edafológica de esta asociación es: E+I/2/PC (INEGI, 1982).

De acuerdo a la Clasificación Climática de Köppen modificada por García (2004), el clima predominante es BSo_{hw} seco semicálido, lluvias en verano, porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2 % del anual, con temperatura media anual entre 18°C y 22°C y temperatura del mes más frío menor de 18°C. Las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020) reportan en la región de estudio, para el período de 1981 a 2010, una temperatura media anual de 21.8°C, la media mensual más alta en el mes de junio con 33.8°C, la temperatura más baja en el mes de enero con 7.1°C. La precipitación anual es de 382.3 mm (Figura 5).

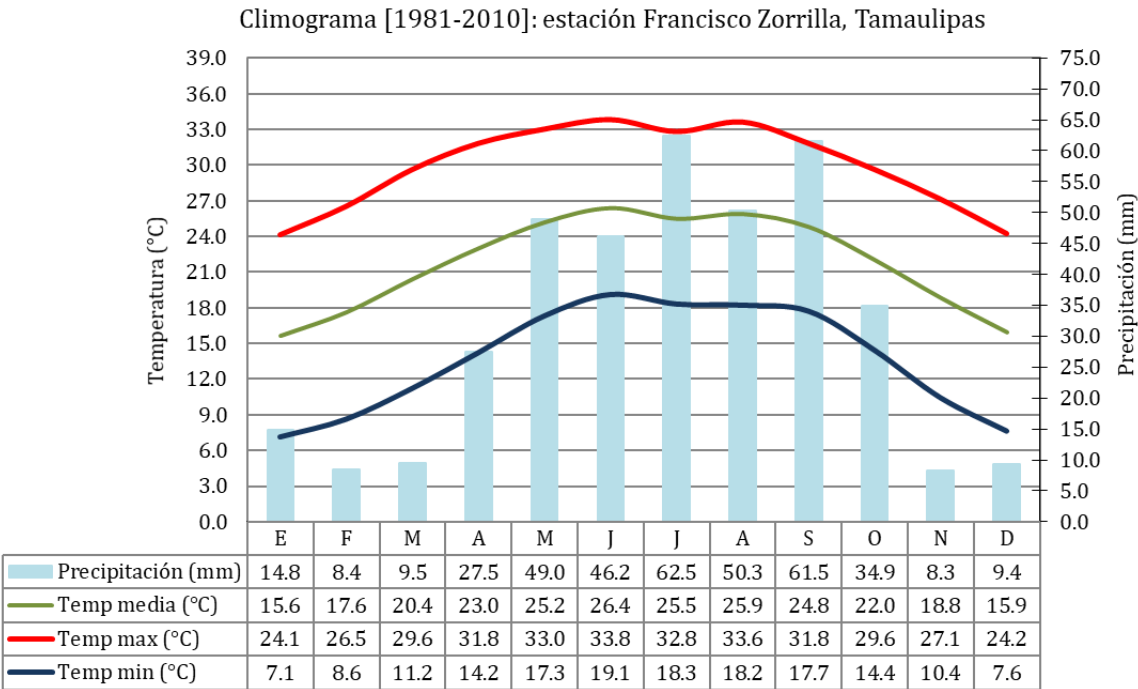


Figura 5. Climograma de la región. Estación Francisco Zorrilla, clave 28034 (SMN, 2020).

La vegetación natural corresponde a Matorral submontano (INEGI, 2017). Las especies presentes son palma barreta (*Yucca filifera*), mezquite (*Prosopis laevigata*), nacahua (*Cordia boissieri*), gavia (*Acacia rigidula*), granjeno (*Celtis pallida*), huizache (*Acacia farnesiana*), guajillo (*Acacia berlandieri*), palo vidrioso (*Neopringlea integrifolia*), orégano (*Lippia graveolens*), damiana (*Turnera diffusa*), sangre de drago (*Jatropha dioica*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*), calderona (*Krameria ramosissima*), tasajillo (*Cylindropuntia leptocaulis*), cenizo (*Leucophyllum frutescens*), pata de gallina (*Citharexylum brachyanthum*), cardón (*Cylindropuntia imbricata*), nopal cuijo (*Opuntia engelmannii*), biznaga burra (*Echinocactus platyacanthus*) y pastos (*Bouteloua* sp.) (CONABIO, 2020).

El manejo de recursos forestales no maderables del área de estudio se ha enfocado al aprovechamiento con fines comerciales, principalmente de: orégano (*Lippia graveolens*), damiana (*Turnera diffusa*) y lechuguilla (*Agave lechuguilla*). Además, se realizan algunas prácticas para la protección, conservación y producción, como brechas cortafuego, podas de conformación, terrazas individuales y replante de hijuelos de lechuguilla.

4.2 Elección y Tamaño de muestra

El muestreo utilizado fue sistemático con líneas equidistantes cada 1000 metros y una distancia entre cada sitio de muestreo de 200 metros (Figura 6), la localización y georreferenciación de cada sitio se realizó con un GPS Garmin GPSMAP 64s. (Velasco *et al.*, 2009). Se establecieron un total de 60 sitios, empleando el método de cuadrantes de punto central, el punto localizado se señaló con una estaca, y a partir de ahí se trazaron líneas de acuerdo a los rumbos francos N, S, E y W, formando cuadrantes y se marcaron con números del uno al cuatro, en sentido de las manecillas del reloj (Figura 7) (Velasco *et al.*, 2009).

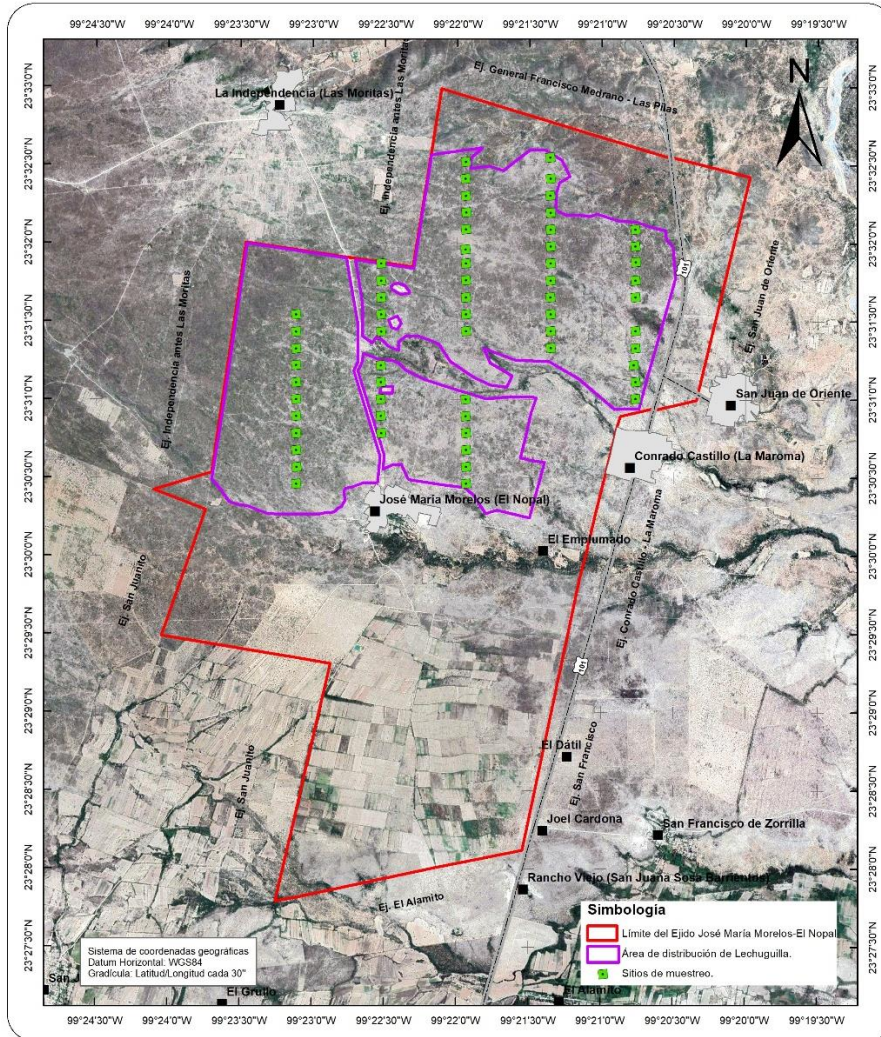


Figura 6. Distribución de sitios de muestreo en el área de estudio.

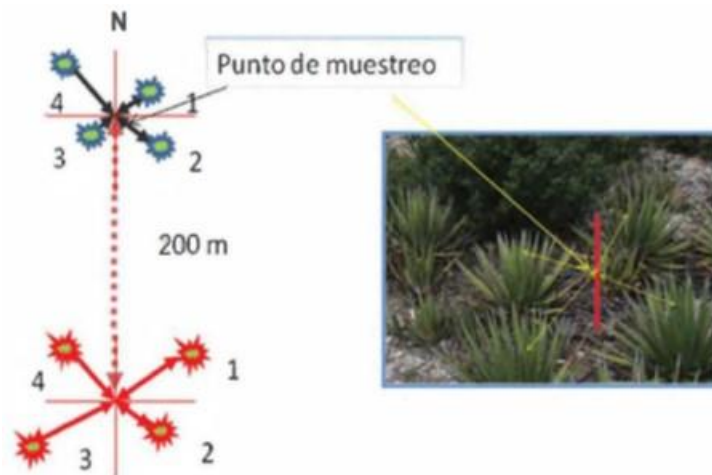


Figura 7. Evaluación de plantas de lechuguilla mediante muestreo de cuadrantes de punto central (Velasco *et al.*, 2009).

En cada sitio de muestreo se midieron cuatro plantas (unidades de estudio) con madurez de cosecha, las más cercanas al centro de cada cuadrante. Con esta metodología se lograron 240 observaciones para la estimación de los parámetros del modelo.

Para la selección de las unidades de estudio, se consideró la longitud del cogollo, que debe ser mínimo de 25 cm, según lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SEMARNAT-1996; Además, que no sean individuos con malformaciones o daños mecánicos y que estén libres de plagas y enfermedades.

4.3 Información de campo

Una vez establecido el punto central de muestreo se seleccionaron las cuatro plantas más cercanas (Figura 8). Con una cinta métrica se midieron las siguientes variables a cada individuo: Altura total (A_t , cm), desde la base del suelo, hasta la punta del cogollo; Diámetro Norte-Sur (D_c NS, cm) y diámetro Este-Oeste (D_c EO, cm) de la cobertura arbustiva; a partir de estos diámetros se estimó el diámetro promedio (D_p , cm) (Figura 9).

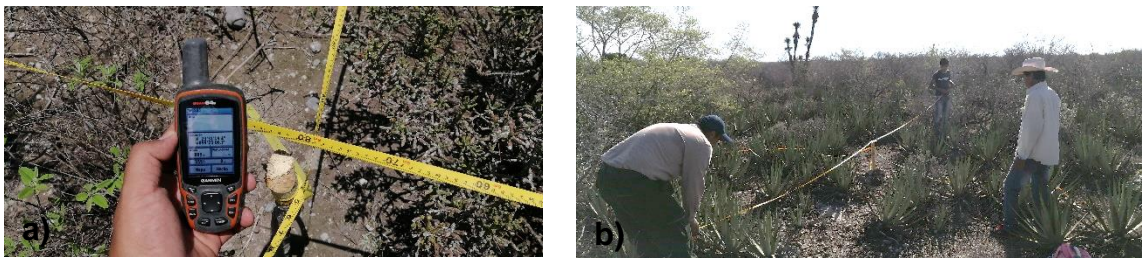


Figura 8. Trazo del sitio en cuadrantes de punto central.

Una vez dimensionada la planta, se procedió a cortar el cogollo para su medición, la longitud del cogollo (L_c), desde su base hasta la punta terminal y el diámetro basal del cogollo (D_b) medido en la base con una cinta diamétrica con aproximación al milímetro; posteriormente, con una báscula electrónica se determinó el peso verde del cogollo (kg) (Figura 9). A cada cogollo, se le colocó una etiqueta para guardar orden y facilitar su identificación.



Figura 9. Medición de a) altura (A_t); b) diámetro promedio (D_p); c) Longitud (L_c) y d) diámetro basal del cogollo (D_b); e) etiquetado y f) determinación del peso verde por cogollo.

Posteriormente, los cogollos fueron llevados a las tallanderías rústicas, para extraer y cuantificar la cantidad de fibra por cogollo; este proceso lo realizaron los habitantes locales usando el método tradicional (tallado a mano); la fibra resultante se etiquetó por cogollo y se dejó secar al sol de tres a cinco horas. Enseguida, se determinó el peso de la fibra seca (P_{fs} , g) por cogollo en una báscula electrónica marca Rhino, modelo BAR-8, con una precisión de 2 g. De este modo, se obtuvo la P_{fs} por planta, que representa el componente aprovechable de importancia comercial (Figura 10).

Además, se contabilizó el total de hojas que conforman el cogollo (HTC) y el número de hojas aprovechables (HAP). Debido a que durante el proceso de extracción de la fibra (tallado), el productor selecciona las hojas de mayor dimensión (con longitud y dureza de fibra adecuada) y desecha a las más tiernas y de menor tamaño localizadas en el centro del cogollo (Figura 10).



Figura 10. a) y b) selección de hojas aprovechables, c) secado de fibra y d) determinación del peso de fibra seca por cogollo.

4.4 Análisis estadístico

Los datos utilizados en el análisis se depuraron con apoyo de diagramas de dispersión, con la finalidad de conocer si existen valores alejados de la disposición de los puntos denominados como valores atípicos, estos valores se revisaron para determinar la existencia de algún error en la toma de datos en campo, durante la captura o por la naturaleza de la planta.

Con la herramienta Análisis de datos de Excel se obtuvieron las estadísticas descriptivas, como la media, la desviación estándar y valores máximo y mínimo de cada variable.

4.4.1 Construcción de los modelos de predicción

Correlación

Una vez que se contó con los datos de campo, se estudiaron las relaciones entre la variable dependiente (Pfs) con las variables independientes (Dp, At, Db y Lc) en forma individual y/o en forma combinada (Dp×At, Dp×Db, Db×At, Db×Lc, Dp², Db², Dp²×At y Db²×Lc) a fin de conocer la medida de su asociación.

Con el objeto de evaluar el grado de asociación, se hace uso del coeficiente de correlación (r), donde valores positivos indican que las variables tienden a crecer (o decrecer) simultáneamente, y valores negativos indican que una aumenta cuando la otra disminuye. La correlación será alta cuando el valor de “r” se aproxime a +1 o -1, y será baja cuando se acerque a cero (0) (Caballero, 1973; Romahn *et al.*, 2010; Infante y Zárate, 2012). Para obtener el coeficiente de correlación entre las variables se utilizó la función de Excel COEF.DE.CORREL; este fue un primer filtro de las variables independientes, desechando aquellas que no aportaban información o que cuya correlación resultó muy baja.

Regresión

Los modelos de regresión propuestos en el presente trabajo se definen como ecuaciones que estiman el valor de una variable dependiente (peso seco fibra), en función de una o varias independientes. Es decir, encontrar una función que haga posible estimar eficientemente, el Pfs (variable dependiente) en función de las variables básicas (Dp, At, Db y Lc) en forma individual y/o en forma combinada:

$$Pfs = f(Dp, At, Db, Lc)$$

Para el desarrollo de las ecuaciones se probaron diferentes combinaciones de variables predictivas o independientes, en el ajuste de ocho diferentes modelos lineales para la estimación del peso de fibra seca (Pfs) (Cuadro 1). Los modelos se

ajustaron a través de la técnica de mínimos cuadrados ordinarios (Romahn *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Modelos ajustados para estimar el peso de fibra seca de lechuguilla.

Núm.	Estructura
1	$Pfs = b_0 + b_1 \times Db$
2	$Pfs = b_0 + b_1 \times (Db \times Lc)$
3	$Pfs = b_0 + b_1 \times (Db \times At)$
4	$Pfs = b_0 + b_1 \times Db^2$
5	$Pfs = b_0 + b_1 \times (Db^2 \times Lc)$
6	$Pfs = b_0 + b_1 \times Db + b_2 \times Db^2$
7	$Pfs = b_0 + b_1 \times Db^2 + b_2 \times (Db^2 \times Lc)$
8	$Pfs = b_0 + b_1 \times Db + b_2 \times (Db \times Lc) + b_3 \times (Db^2 \times Lc)$

Donde: Pfs= Peso seco de la fibra (g), At= Altura total (cm), Db= Diámetro basal del cogollo (cm) Lc= longitud del cogollo (cm), *b*= coeficientes a determinar mediante el ajuste.

Selección del modelo

El ajuste de los modelos se realizó con Excel. Los criterios para calificar la bondad de ajuste del modelo que mejor explica la variabilidad de los datos de Pfs se basan en un análisis numérico y en gráficos de los residuales. En el caso numérico, se utilizaron: el coeficiente de determinación corregido por el número de parámetros (R^2_{adj}), cuanto más cercano a 1 sea R^2_{ajust} , el ajuste del modelo será mejor; los menores valores de la raíz del cuadrado medio del error (RECM), suma de cuadrados del error (SCE) y el cuadrado medio del error (CME).

Todos estos criterios se evaluaron en un sistema de calificación, consistente en jerarquizar cada estadístico de cada modelo asignando valores consecutivos del 1 al 8 en función al orden de importancia (1 correspondió al mejor valor del estadístico y 8 al valor más pobre), posteriormente la sumatoria de los valores conformó la calificación final (CF) a cada modelo, por comparación se identificaron los mejores modelos, siendo mejores aquellos con el más bajo valor en la CF (Tamarit, 2013).

También, se utilizaron gráficos de dispersión de residuales contra los valores predichos de la variable dependiente, con la finalidad de detectar valores atípicos o tendencia inusual de los datos; este análisis es útil para determinar si los ajustes se adecuan a los datos o se presenta alguna falta de ajuste al modelo empleado (Pardo y Ruíz, 2005).

Además de los análisis gráfico y numérico (con los estadísticos de ajuste), se evaluó la significancia del modelo a través de pruebas de hipótesis con la distribución F, bajo las hipótesis $H_0: \beta_1=0$ y $H_1: \beta_1 \neq 0$, para esto se utilizó el *p-valor* con un $\alpha=0.05$, si el *p-valor* $< \alpha$, entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0). Asimismo, se probó la significancia de los coeficientes de regresión, a través de pruebas de hipótesis con la distribución *t* Student, lo anterior significa que el *p-valor* para ese estimador debe ser menor que el valor alfa $\alpha=0.05$ para la prueba, para rechazar la hipótesis nula de que dicho coeficiente es igual a cero. Si se rechaza la hipótesis significa que la variable contribuye significativamente al poder explicativo del modelo (Millones *et al.*, 2017).

Por último, se trata de analizar el modelo en su estructura y el significado biológico y número de variables que lo componen. Si dos o más modelos se ajustan relativamente igual a la información existente, este criterio conduce a la selección del modelo más simple.

4.5 Tablas de rendimiento

A partir del modelo seleccionado, se elaboró una tabla de doble entrada para estimar el peso de fibra seca de lechuguilla. Las variables de medición que sirven de entrada son la longitud y el diámetro basal del cogollo, ambas expresadas en centímetros. A partir de ellas, se pueden identificar el peso en gramos de la fibra seca en plantas en pie, sin necesidad de extraer el cogollo.

El uso de esta tabla en campo permitiría la estimación fiable, rápida y sencilla de la producción de fibra de lechuguilla en poblaciones naturales. Por lo tanto, los prestadores de servicios técnicos serían capaces de determinar las existencias reales y los volúmenes de extracción, para realizar un manejo sostenible de la especie.

4.6 Estimación del rendimiento de fibra seca

Para evaluar una población natural de lechuguilla y determinar las existencias de peso seco de la fibra, es necesario conocer la longitud y diámetro basal del cogollo.

En cada sitio de muestreo se registraron las plantas de lechuguilla, midiendo las variables longitud del cogollo (L_c , cm) y diámetro basal (D_b , cm); con estos valores se consultó la tabla de rendimiento previamente construida para estimar el peso en fibra de cada planta; posteriormente, se obtuvo el peso total de cada sitio expresándose la cantidad en gramos o kilogramos y se calculó el promedio de la producción por sitio.

La producción promedio de fibra seca/sitio se multiplicó por el número de sitios posibles en una hectárea para estimar la producción promedio/ha. Finalmente, la producción promedio/ha se multiplicó por el número de hectáreas de cada unidad mínima de manejo (UMM), y se suma de la producción de todas las UMM para determinar las existencias del predio.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Estadísticos descriptivos de las variables

Los resultados del análisis de las variables obtenidas en campo se presentan en el Cuadro 2. El tamaño de la planta varía de 30 a 105 cm en altura y diámetros de cobertura entre 21 y 150.5 cm, la longitud del cogollo está entre 26 y 84 cm, el diámetro basal del cogollo entre 2.8 y 7.1 cm, Pando *et al.*, (2008) reportaron alturas entre 25 y 97 cm, longitudes del cogollo de 25 a 73 cm y diámetros del cogollo entre 1.2 a 5.7 cm, para la misma especie en Coahuila y Tamaulipas.

El número de hojas totales por cogollo está en el rango de 5 a 39 y las hojas aprovechables entre 3 y 20; que difiere a lo reportado por Castillo *et al.*, (2005), que indican que se obtienen de 6 a 8 hojas tallables por cogollo. Variación que se atribuye a que no todas las hojas del cogollo son utilizadas por los ixtleros; ellos seleccionan cierto número de hojas de cada cogollo, que cumplen con las características de longitud y dureza de fibra adecuada.

El peso fresco del cogollo se encuentra entre 94 y 1,016 gramos, con una media de 348.9 g, similar a lo reportado por Orozco *et al.*, (1977) citado por Reyes *et al.*, (2000) para el peso fresco promedio de un cogollo en 356.5 g; Asimismo, Martínez (2015) reporta 287.2 g de peso promedio para una población natural en el Estado de Zacatecas.

Con relación a la fibra seca por cogollo, está mostro un peso mínimo de 2 g, un máximo de 58 g, con una media de 19.9 g, equivalente a lo reportado por Martínez (2015) de 19.1 g de fibra seca por cogollo. Por su parte, Pando *et al.*, (2008) indican un promedio 26.3 g de peso por cogollo con valores mínimos y máximos de 2.7 y 65.1, para la región de Jaumave, Tamaulipas

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables evaluadas en lechuguilla.

VARIABLES (n= 240)	Media	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar
Altura total de la planta (cm)	66.1	30.0	105.0	14.2
Diámetro de la planta (cm)	77.3	21.0	150.5	23.3
Longitud del cogollo (cm)	49.7	26.0	84.0	9.4
Diámetro basal cogollo (cm)	4.5	2.8	7.1	0.8
Hojas totales del cogollo (núm)	19.1	5.0	39.0	5.6
Hojas aprovechables del cogollo (núm)	7.9	3.0	20.0	3.1
Peso del cogollo verde (g)	348.9	94.0	1,016.0	153.8
Peso fibra seca (g)	16.9	2.0	58.0	9.8

La relación del peso de la fibra seca obtenida posterior al tallado (4,066 g), entre peso total de la muestra de los cogollos (83,744 g), equivale a un 4.9 % de rendimiento de fibra seca (por cada 100 g de peso en cogollo, se obtienen 4.9 g de fibra seca), este valor difiere a lo obtenido por Berlanga *et al.*, (1992) con un rendimiento de 6.2 % y Martínez (2015) con un 6.6 % en función del tallado manual. Las diferencias pueden atribuirse a las características ambientales en las que se desarrolla esta especie, siendo factores importantes el relieve y el tipo de suelo (Blando y Baca, 2001), la precipitación, la humedad en el suelo y la temperatura (Nobel y Quero, 1986; Narcía *et al.*, 2012), las cuales influyen substancialmente en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

5.2 Correlación

Se encontraron correlaciones positivas entre el peso de fibra seca y las variables independientes (Cuadro 3), los valores oscilan entre 0.65 a 0.87, es decir, muestran una relación de moderada a fuerte. Las variables que presentan una mayor relación significativa son Db, DbxAt, DbxLc, Db² y Db²xLc, por lo que se utilizaron como base para el ajuste de los modelos para predecir la producción de fibra seca de lechuguilla (Figura 11). La variable combinada Db²xLc fue la que demostró mayor grado de asociación con el peso de fibra seca ($r = 0.87$).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables independientes con el peso de fibra seco.

Variables	Peso fibra seco Pfs (g)
Coeficientes de correlación de Pearson (r)*	
Dp (cm)	0.67
At (cm)	0.71
Db (cm)	0.80
Lc (cm)	0.65
Dp×At	0.72
Dp×Db	0.78
Db×At	0.84
Db×Lc	0.85
Dp²	0.67
Db²	0.81
Dp²×At	0.70
Db²×Lc	0.87

*nivel de significación alfa=0.05

Pfs = Peso seco de la fibra (g), Dp = Diámetro promedio de cobertura (cm), At = Altura total (cm), Db = Diámetro basal del cogollo (cm) y Lc = Longitud del cogollo (cm).

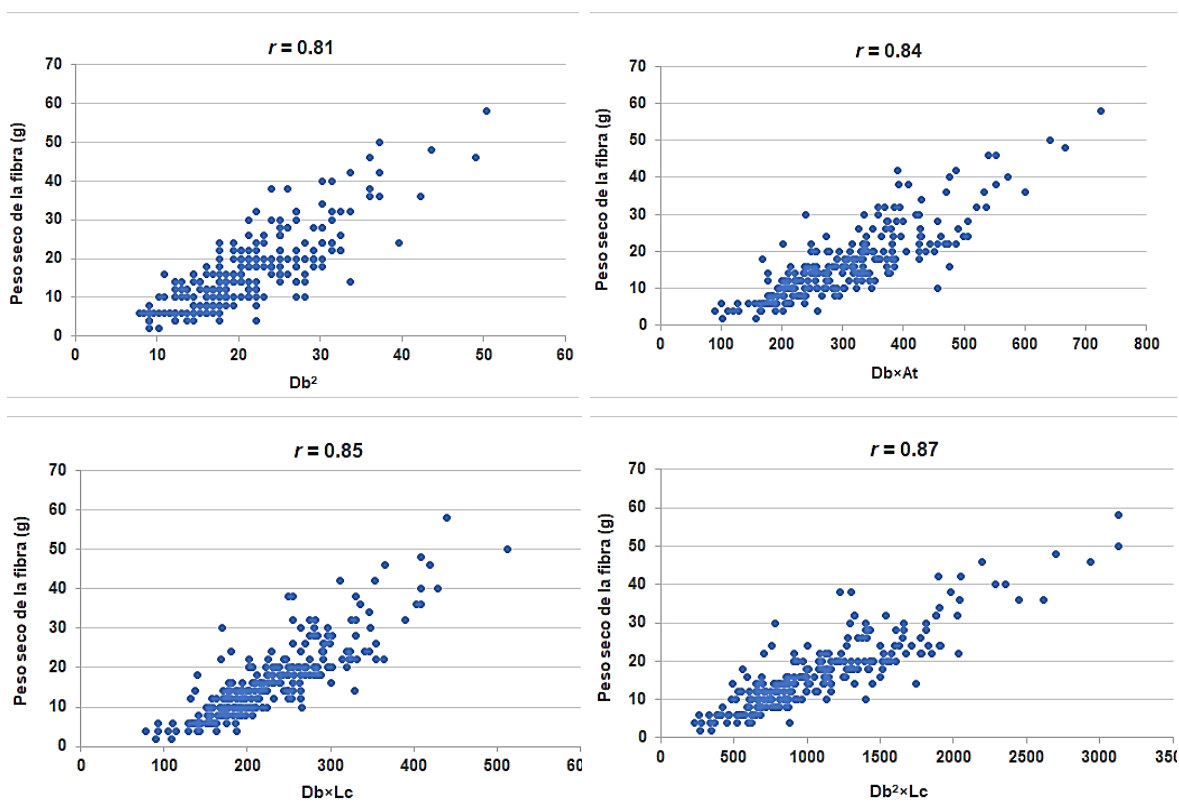


Figura 11. Diagramas de dispersión entre las variables con mayor coeficiente de correlación (r).

5.3 Modelos ajustados para la estimación de peso de fibra seca (Pfs)

En virtud de que el *p*-valor correspondiente a la prueba de F del análisis de varianza de la regresión, es menor a 0.05, se concluye que al menos uno de los parámetros es significativo o distinto de cero, y que existe una relación lineal entre el peso seco de la fibra y cualquiera de las variables independientes. El ajuste estadístico fue similar para todos los modelos; destacando los modelos 5, 7 y el 8 con valores de R^2_{aju} superiores e inferiores de RCME, CME y SCE (Cuadro 4); con base en el sistema de calificación implementado se observa que el modelo 5 tiene el mejor ajuste respecto a los otros, al presentar la calificación más baja, dada por presentar el valor más alto de la R^2_{adj} que es indicativo que el modelo explica en mayor grado la variabilidad total presente en la variable dependiente (76.3 %), la primera más alta precisión en las estimaciones dado sus menores valores de la RCME, del SCE y del CME.

Cuadro 4. Prueba de bondad de ajuste de los modelos lineales para estimar el peso de la fibra seca de lechuguilla.

Modelo	R^2_{adj}	RCME	SCE	CME	F	Pr > F	CF
1	0.6328 (8)	5.916 (8)	8,330.29 (8)	35.001 (8)	412.926	< 0.0001	32
2	0.7218 (4)	5.150 (4)	6,312.06 (4)	26.521 (4)	621.053	< 0.0001	16
3	0.7018 (5)	5.331 (5)	6,764.90 (5)	28.424 (5)	563.549	< 0.0001	20
4	0.6583 (7)	5.707 (7)	7,752.70 (7)	32.574 (7)	461.421	< 0.0001	28
5	0.7629 (1)	4.754 (1)	5,379.07 (3)	22.601 (1)	770.055	< 0.0001	6
6	0.6637 (6)	5.662 (6)	7,598.24 (6)	32.060 (6)	236.820	< 0.0001	24
7	0.7620 (2)	4.763 (2)	5,377.05 (2)	22.688 (2)	383.599	< 0.0001	8
8	0.7617 (3)	4.766 (3)	5,361.73 (1)	22.719 (3)	255.605	< 0.0001	10

R^2_{aju} =Coeficiente de determinación ajustado por el número de parámetros; RCME=Raíz del cuadrado medio del error; SCE=Suma de cuadrados del error; CME=Cuadrado medio del error; F=estadístico F; Pr>F = Significancia ($p<0.05$) y CF=calificación final.

Además, para la elección del mejor modelo se consideró el nivel de significancia de los parámetros de regresión ($Pr>|t|$) y la parsimonia o simplicidad del modelo. Los parámetros de regresión b_1 en el modelo (7) y b_1 y b_2 del modelo (8) son mayores los *p*-valor que el nivel de significancia de 0.05, lo que indica que no es

estadísticamente significativo y no contribuyen a explicar la variable dependiente. Por esto y por una mayor parsimonia se elige el modelo (5), como el mejor para estimar el peso de fibra seca (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros de regresión de los modelos lineales para estimar el peso de la fibra seca de lechuguilla.

Modelo	Parámetro	Valor	Error estándar	Valor t	Pr > t
1	b_0	-27.28554	2.2097	-12.348	< 0.0001
	b_1	9.75511	0.4801	20.321	< 0.0001
2	b_0	-9.27492	1.1033	-8.407	< 0.0001
	b_1	0.11454	0.0046	24.921	< 0.0001
3	b_0	-5.99862	1.0258	-5.848	< 0.0001
	b_1	0.07474	0.0031	23.739	< 0.0001
4	b_0	-5.57814	1.1112	-5.020	< 0.0001
	b_1	1.06287	0.0495	21.481	< 0.0001
5	b_0	-0.78307	0.7086	-1.105	0.2703
	b_1	0.01631	0.0006	27.750	< 0.0001
6	b_0	13.62792	8.8194	1.545	0.1236
	b_1	-8.40014	3.8271	-2.195	0.0291
	b_2	1.95386	0.4089	4.778	< 0.0001
7	b_0	-0.55229	1.0494	-0.526	0.5992
	b_1	-0.03431	0.1149	-0.299	0.7655
	b_2	0.01677	0.0016	10.233	< 0.0001
8	b_0	3.36047	4.7960	0.701	0.4842
	b_1	-0.95504	1.1578	-0.825	0.4103
	b_2	-0.01543	0.0226	-0.682	0.4962
	b_3	0.01973	0.0042	4.704	< 0.0001

El parámetro de regresión b_1 del modelo (5) es altamente significativo, exceptuando el parámetro b_0 relacionado con el intercepto con valor de rechazo, esto significa que el Pfs no es plausible que alcance -0.78 gramos; con todo es el que mejor

describe la realidad de los datos (Figura 12). La estructura del modelo elegido corresponde al de la variable combinada ($Db^2 \times Lc$), además utiliza el Db^2 y Lc , que caracterizan la forma del cogollo (parte aprovechable) y que permiten generar una tabla de doble entrada para la estimación del rendimiento en peso de fibra seca (g), por lo tanto, el modelo quedó estructurado como se indica a continuación:

$$Pfs = -0.78307 + 0.01631 \times (Db^2 \times Lc)$$

Donde: Pfs: Peso estimado de la fibra seca (g); Db^2 : Diámetro basal del cogollo (cm) y Lc : longitud de cogollo (cm).

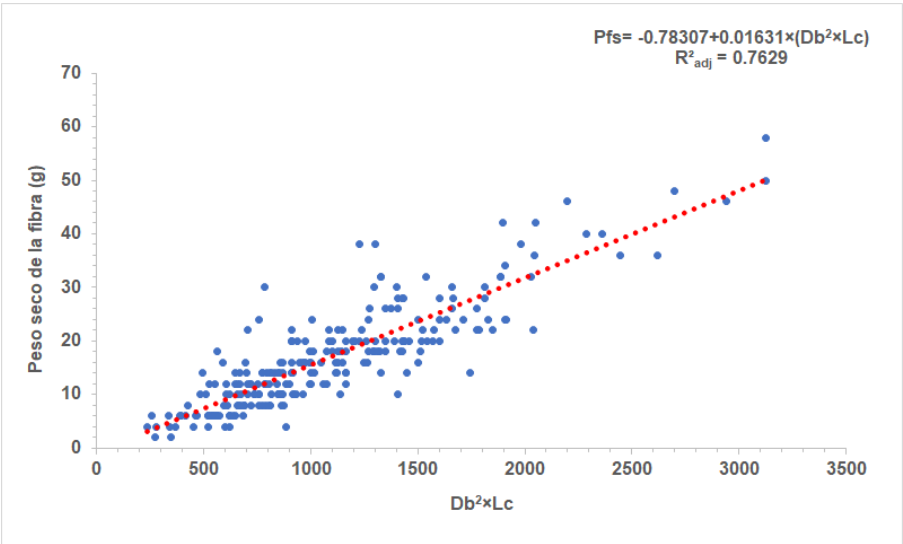


Figura 12. Valores de fibra peso seco (Pfs) y línea recta de mejor ajuste.

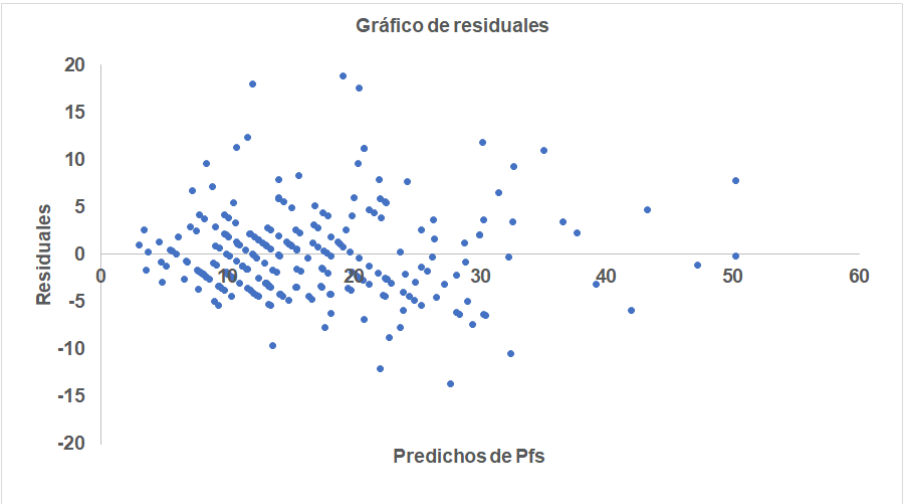


Figura 13. Dispersión de residuos frente a los valores estimados del peso de fibra seca de lechuguilla.

En la Figura 13, la distribución de los residuales sugiere una desviación aceptable; se observa que los valores están distribuidos equitativamente, es decir que existe casi la misma cantidad de valores subestimados que sobrestimados.

El modelo de la variable combinada es aplicable para las condiciones y el sitio de estudio, este tipo de modelo se ha usado para predecir el volumen maderable de especies templadas; proporciona un ajuste eficiente y tiene a su favor la simplicidad que implica el trabajar con una ecuación de regresión lineal simple (Caballero, 1972; Romahn *et al.*, 2010). De acuerdo con Pando *et al.*, (2008) la combinación de estas variables (Dd y Lc) predicen de manera significativa el peso seco de la fibra.

Resultados similares en bondad de ajuste (R^2) y variables utilizadas han sido publicados en otros trabajos como el de Bautista y Martínez (2012), quienes obtuvieron una $R^2=0.63$ con una ecuación de regresión lineal múltiple para estimar el Pfs, a partir del diámetro del cogollo, la longitud del cogollo y el diámetro de la base de la planta. Martínez (2015) generó un modelo de regresión lineal simple para estimar el peso verde del cogollo, utilizando las variables diámetro promedio de cobertura de la planta en combinación con el diámetro basal del cogollo ($R^2_{adj}=0.72$), que se consideran variables fáciles de medir en campo y pueden ayudar a evaluar las poblaciones de lechuguilla para su aprovechamiento.

5.4 Tabla de producción de fibra seca (g).

La tabla para estimar el rendimiento en fibra seca de lechuguilla es resultado del estudio realizado en una población natural, perteneciente al matorral submontano (MSM) en altitudes que van de los 720 a 820 msnm, con pendientes de 0 a 15 %, en rangos de diámetro basal del cogollo (Db) de 2.8 a 7.1 cm y longitud del cogollo (Lc) de 26 a 84 cm.

A partir del modelo de la variable combinada, se elaboró una tabla para estimar el rendimiento de fibra seca (g). Esta tabla es de doble entrada en filas y columnas; por un lado, se tienen los datos del diámetro basal del cogollo (Db, cm) y por el otro

la longitud del cogollo (L_c , cm). El dato que se encuentra en el cruce de una fila con una columna, representa el peso de fibra seca (g), que se obtiene con un D_b y L_c específicos (Cuadro 6). Por ejemplo, si el diámetro basal del cogollo mide 4.5 cm y una longitud de 50 cm, el peso seco estimado de la fibra será de 15.7 g. El uso de esta tabla en el campo permitirá una estimación confiable, rápida y sencilla de la producción de fibra de lechuguilla en poblaciones naturales. Por lo tanto, los manejadores podrán determinar rápidamente las existencias reales y la posibilidad de aprovechamiento.

Aun cuando esta tabla de rendimiento es de fácil consulta, su uso está restringido a los valores de diámetro basal y altura del cogollo incluidos en ellas, por lo que es preferible emplear directamente la ecuación (5) que la originó.

Cuadro 6. Tabla de rendimiento para estimar el peso de fibra seca de lechuguilla (Pfs, g) utilizando el diámetro basal (Db, cm) y longitud (Lc, cm) del cogollo.

Diámetro basal del cogollo (cm)	Longitud del cogollo (cm)																																					
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54								
2.8	2.4	2.5		2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.2	4.3	4.5	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2														
2.9	2.6	2.8		2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.3	5.4	5.5	5.7														
3.0		3.0		3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.6	4.8	4.9	5.1	5.2	5.4	5.5	5.7	5.8	6.0	6.1														
3.1		3.3		3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5.0	5.2	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.1	6.3	6.4	6.6														
3.2																																						
3.3																																						
3.4																																						
3.5																																						
3.6																																						
3.7																																						
3.8																																						
3.9																																						
4.0																																						
4.1																																						
4.2																																						
4.3																																						
4.4																																						
4.5																																						
4.6																																						
4.7																																						
4.8																																						
4.9																																						
5.0																																						
5.1																																						
5.2																																						
5.3																																						
5.4																																						
5.5																																						
5.6																																						
5.7																																						
5.8																																						
5.9																																						
6.0																																						
6.1																																						
6.2																																						
6.3																																						
6.4																																						
6.5																																						
6.6																																						
6.7																																						
6.8																																						
6.9																																						
7.0																																						
7.1																																						

Ecuación: $Pfs = -0.78307 + 0.01631 \times (Db^2 \times Lc)$

5.5 Rendimiento potencial de fibra seca

El Ejido José María Morelos–El Nopal tiene una superficie total de 3,647 hectáreas, con un área de distribución y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torr. de 1,420 hectáreas. Para la cuantificación potencial de las existencias reales se tomó una muestra de 30 sitios cuadrangulares de 10x10 metros (100 m²), en cada sitio se midió el diámetro basal y longitud del cogollo (cm) de cada planta aprovechable.

La densidad de población promedio fue de 2,640 plantas/ha, cuyo intervalo de confianza al 95 % tiene como límite inferior 2,030 plantas/ha y un límite superior de 3,250 plantas/ha (Cuadro 7). Esta población presenta una densidad similar a la encontrada en otros estudios, como los documentados en el Estado de Durango, con densidades de 1,520 a 3,560 plantas/ha (Blando y Baca, 2001) o los resultados obtenidos en el Estado de Zacatecas con 2,237 plantas/ha (Martínez, 2015). Sin embargo, difiere a lo reportado para el Estado de Coahuila con densidades de 4,200 a 4,500 individuos/ha en poblaciones naturales bajo aprovechamiento (Berlanga *et al.*, 1992). Debido a la variedad de cada uno de los sitios donde se desarrolla la planta, resulta muy difícil el atribuir la variación de la densidad a un factor ambiental específico, así como a las prácticas empleadas para su aprovechamiento.

Cuadro 7. Densidad y Rendimiento de fibra de lechuguilla por hectárea.

Zona de estudio		Densidad	Rendimiento	Fuente
Mun / Estado	Localidad / Región	(plantas/ha)	fibra seca (kg/ha)	
Jaumave, Tamaulipas	Ejido José María Morelos–El Nopal	2,640	37.9	
San Juan de Guadalupe, Durango	Municipio de San Juan de Guadalupe	1,520 – 3,560	85.9 – 240.1 (planta completa)	Blando y Baca (2001)
Saltillo, Coahuila	Campo experimental La Saucedá	4,200 – 4,500	74.0 – 79.0	Berlanga <i>et al.</i> , (1992)
Mazapil, Zacatecas	Ejido El Rodeo	2,237	42.6	Martínez (2015)

El rendimiento potencial promedio en fibra seca de lechuguilla es de 37.9 kg/ha, varía entre valores mínimos y máximos de 28.3 a 47.6 kg/ha, respectivamente, con una confiabilidad del 95 %; contrasta con lo documentado por Berlanga *et al.*, (1992) que con tallado manual obtiene de 74 a 79 kg/ha en poblaciones naturales. La

diferencia de los valores de producción puede obedecer a factores ambientales donde se encuentre distribuida la especie; Villarreal y Maiti (1989) refieren que las plantas de lechuguilla se desarrollan con más vigor en suelos pedregosos, pobres en materia orgánica y con pendientes pronunciadas; señalando que en las partes altas de los cerros se localizan plantas con mayor vigor, pero en menor abundancia.

Por su parte, Silva y Eguiarte (2003) mencionan que en el gradiente latitudinal las condiciones del ambiente influyen en el desarrollo de la especie: hacia el norte, la especie tiene un tamaño menor y hacia el sur el tamaño es mayor. Por tanto, puede asumirse que el desarrollo de la planta depende las condiciones del área de distribución y por ende su potencial productivo.

Con los datos de rendimiento por hectárea se infiere que el Ejido José María Morelos–El Nopal, presenta un potencial de aprovechamiento en fibra de lechuguilla de 54 toneladas de fibra seca, con un valor neto de liquidación de \$1,346,515 pesos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Potencial de rendimiento de *Agave lechuguilla* Torr. a nivel predial.

Existencias reales por hectárea		Superficie (ha)	Existencias reales totales		Valor (\$)
Densidad (plantas)	Rendimiento fibra seca (kg)		Densidad (plantas)	Rendimiento fibra seca (kg)	
2,640	37.93	1,420.00	3,748,800	53,860.6	1,346,515

*\$25 pesos/kg.

6 CONCLUSIONES

En el Ejido José María Morelos–El Nopal, la lechuguilla tiene un impacto social y económico importante en la economía familiar de la comunidad; su colecta y venta generan una actividad económica que complementa el ingreso familiar durante una temporada de sequía, que coincide con la época baja de actividades económicas tradicionales en que normalmente se emplean los lugareños.

Mediante el modelo $Pfs = -0.78307 + 0.01631 \times (Db^2 \times Lc)$ fue posible estimar el rendimiento de fibra seca del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr., con el cual se elaboró una tabla de doble entrada para estimar la fibra seca en función del diámetro basal y la longitud del cogollo en centímetros, variables de fácil medición en campo; sus estimaciones son confiables y los prestadores de servicios técnicos la pueden utilizar para estimar el rendimiento de fibra en el predio y zonas cercanas con características ecológicas similares a las existentes en el sitio dónde se tomaron los datos de campo.

Esta tabla contribuye al manejo sustentable de los recursos forestales no maderables, impactando favorablemente en el diseño, formulación, ejecución y evaluación de los Estudios Técnicos, en estricto apego a la Normatividad, por lo que representa una base técnica para avanzar hacia un rendimiento sostenido.

El tallado para la extracción de la fibra se realiza de forma manual, proceso que es más lento y cuyos rendimientos son menores; por ejemplo, un productor puede obtener seis kilogramos de fibra en una jornada de ocho horas y una alternativa para aumentar la producción y por consiguiente los ingresos en un menor tiempo, es el tallado mecánico, con el cual, los productores pueden obtener hasta 100 kg en una jornada similar, si cuentan con el material tallable suficiente.

7 LITERATURA CITADA

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Predicción del rendimiento, Vol 22/2. FAO: Montes. 198 pp.
- Bautista, L.P. y M. Martínez C. 2012. Aprovechamiento, rendimiento en fibra y regeneración del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr. en el Altiplano Mexicano. Tesis de Licenciatura. Chapingo. Edo de México. 159 p.
- Berlanga, R.C.A., M. García V. y L.A. González L. 1992. Técnicas para el establecimiento y manejo de una plantación de lechuguilla. Folleto divulgativo No. 1 SARH- INIFAP- CIRNE. Campo Experimental La Sauceda. Saltillo, Coah. México. 8 p.
- Berlanga, R.C.A. 1998. Evaluación de las poblaciones naturales de lechuguilla. En: Tecnologías Llave en Mano. Serie 1998. División Forestal. México, D. F.
- Blando, N.J.L. y Baca, M.S. 2001. Determinación del potencial productivo de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torrey) en el Municipio de San Juan de Guadalupe, Dgo. Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas 2 (2), 100–105.
- Caballero, D.M. 1972. Tablas y tarifas de volúmenes. (Análisis de algunas metodologías existentes y su aplicación a las condiciones de los bosques mexicanos). Folleto técnico No. 7. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. México. D. F. 55 p.
- Caballero, D.M. 1973. Estadística práctica para dasónomos. Publicación No. 26. Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Dirección General del Inventario Nacional Forestal. México. 195 p.
- Cano, P.A., Berlanga R.C.A., Castillo Q.D., Martínez B.O.U. y Zárate L.A. 2005. Análisis dimensional y tablas de producción de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) para el estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 18. Coahuila, México. 24 p.
- Castillo, Q.D., C.A. Berlanga R. y A. Cano P. 2005. Recolección, extracción y uso de la fibra de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación Especial Núm. 6 Coahuila, México. 13 p.
- Castillo, Q.D., C.A. Berlanga R. y A. Cano P. 2007. Establecimiento y manejo intensivo de plantaciones de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el sureste de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 33. Coahuila. México. 27 p.
- Castillo, Q.D. y A. Cano P. 2007. Selección de procedencias de lechuguilla para el establecimiento de plantaciones para la obtención de fibra con características

- comerciales. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 34, Coahuila, México. 29 p.
- Castillo, Q.D., Martínez B. O.U., Ríos G. L.J., Rodríguez, D. J.A., Morales M. T.K., Castillo, R.F. y Ávila, F.D.Y. 2014. Determinación de Áreas Potenciales para Plantaciones de *Agave lechuguilla* Torr. para la Producción de Etanol. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila. Volumen 6, No 12. Pp 5-11.
- CONABIO. 2020. EncicloVida. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, Recuperado en 02 de octubre de 2020 de <https://www.enciclovida.mx>.
- CONAFOR. 2008. Estudio Regional Forestal. UMAFOR 2804. Altiplanicie Tamaulipeca. Asociación Regional de Silvicultores de la Altiplanicie Tamaulipeca, A. C. 165 p.
- CONAFOR. 2009. Fichas de información comercial de productos forestales. México. Lechuguilla o ixtle Tampico. 42 p.
- Díaz, F.R., Acosta, M.M., Carrillo, F.A., Buendía, E.R., Flores, E.A. y Etcheveres B. J.D. 2007: Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus Patula* Schl. et Cham. Madera y Bosques. 13 (1): 25-34.
- Eguiarte, L.E., V. Souza. 2007. Historia natural del agave y sus parientes: evolución y ecología. En: En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves (Eds. Colunga-García, M.P., A. Larque, L.E. Eguiarte, D. Zizumbo-Villarreal) CICY, CONACYT, CONABIO, SEMARNAT, INE. Mérida, Yucatán, pp: 3-21.
- Freeman C.E. y Reid W.H. 1985. Aspects of the reproductive biology of *Agave lechuguilla* Torr. Desert Plants 7:75-80.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. University of Arizona Press. Tucson, Arizona, USA. 670 p.
- INEGI. 1982. Conjunto de datos vectoriales de la carta Edafológica. Escala 1:250000. serie I. Ciudad Victoria. México.
- INEGI. 2001. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Cartas Fisiográficas. Escala 1:1000000. México.
- INEGI. 2017. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Serie VI. Conjunto Nacional. Escala 1:250 000. México.

- Infante Gil, S. y Zárate de Lara G. 2012. Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 610 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Quinta Edición. México. 90 p.
- Martínez, D.P. 2011. Tabla para estimar el rendimiento de fibra seca de lechuguilla *Agave lecheguilla* Torrey, en poblaciones silvestres en el estado de Tamaulipas. INIFAP, CONAFOR, CONACYT. Tamaulipas. 104 pág.
- Martínez, T.G. 2015. Estimación del Peso verde del Cogollo y Rendimiento de Fibra de *Agave lechuguilla* Torr. en Mazapil, Zacatecas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 65 p.
- Marroquín, J.S.G., Borja L., R. Velásquez C. y J.A. De la Cruz C. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 166 p.
- Mayorga, H.E. 2004. Evaluación funcional y modificaciones a una máquina desfibradora de lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.) Colegio De Postgraduados. Campus San Luis Potosí. México.
- Meza, S.R. 1998. Método indirecto para estimarla fitomasa aérea en plantas. En: Tecnologías Llave en Mano. Serie 1998. División Forestal. México, D. F.
- Millones, R., Barreno E., Vásquez, F. y Castillo C. 2017. Estadística aplicada a la ingeniería y los negocios. Universidad de Lima. Fondo Editorial. Perú. 638 p.
- Narcía, V.M., Castillo. Q.D., Vázquez, R. J.A. y Berlanga R., C.A. 2012. Turno técnico de la Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el noreste de México. Revista mexicana de ciencias forestales, 3(9), pp. 81-88.
- Nobel, P. S. y E. Quero. 1986. Environmental Productivity Indices for a Chihuahuan Desert Cam Plant, *Agave lechuguilla*. Ecology 67(1): 1–11.
- Orozco L. M., Nava C.R., Medina T. J.G. y de la Cruz C. J.A. 1977. Investigación silvoagropecuaria de las zonas áridas de México, campo experimental Noria de Guadalupe. Monografía Técnico Científica, UAAAN 3:182-265.
- Pardo, A. y Ruiz M.Á. 2005. Análisis de datos con SPSS 13 Base. McGraw-Hill. España. 624 p.
- Pando, M. M., O. Eufrazio, E. Jurado y E. Estrada. 2004. Post-harvest growth of lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr., Agavaceae) in Northeastern Mexico. Economic Botany 58(1): 78–82.

- Pando, M. M., R. Pulido, D. Castillo, E. Jurado y J. Jiménez. 2008. Estimating fiber for lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr., Agavaceae), a traditional non-timber forest product in Mexico. *Forest Ecology and Management* 255:3686–3690.
- Reyes, A. J.A., Aguirre, R. J.R., y Peña V. C.B., 2000. Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67:75–88.
- Reyes, C. R. 1981. La lechuguilla (*Agave lechuguilla*) como un importante factor en la formación del suelo en las zonas áridas. Primera reunión nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las plantas útiles del desierto. pp 390-393
- Romahn, V. C.F. y H. Ramírez M. 2010. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 294 p.
- Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazônica (IA). Lima, Perú. 79 p.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- SEMARNAT. 1996. NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SEMARNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 10 p.
- SEMARNAT. 2005. Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación, publicada el 21 de febrero de 2005.
- SEMARNAT. 2008. Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de Recursos Forestales no Maderables de clima árido y semiárido. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 110 pp.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2001. Programa Estratégico Forestal para México 2025. México. 191 p.
- SEMARNAT. 2018. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación, publicada el 5 de junio de 2018.

- SEMARNAT. 2020a. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2017. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Ciudad de México, México. 285 p.
- SEMARNAT. 2020b. Estadísticas del aprovechamiento forestal no maderable de fibra (ixtle) de *Agave lechuguilla*, en el Estado de Tamaulipas. Consulta del 28 de octubre de 2020.
- Sheldon, S. 1980. Ethnobotany of *Agave lecheguilla* and *Yucca carnerosana* in Mexico's Zona Ixtlera. *Economic Botany* 34(4):376-390.
- Silva M.A. y L.E. Eguiarte. 2003. Geographic patterns in the reproductive ecology of *Agave lechuguilla* (Agavaceae) in the Chihuahuan Desert. I. Floral Characteristics, visitors, and fecundity. *American Journal of Botany* 90(3):377-387.
- SMN. 2020. Normales climatológicas 1981-2010. Estación: 00028034 Francisco Zorrilla. Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua, México.
- Tamarit, U. J.C. 2013. Cubicación, crecimiento y rendimiento maderable e inventario operativo para *Tectona grandis* en el sureste de México. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 108 p.
- Velasco, B, E., A. Arredondo G., M. C. Zamora M., y F. Moreno S. 2009. Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderables: Lechuguilla. Manual Técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigación Forestales Agropecuarias y Pecuarias, México. 56 p.
- Villarreal, R. L. y Maiti R. K. 1989. Características morfoanatómicas y productividad de fibra en *Agave lechuguilla* Torr. en Nuevo León. *Turrialba*. 41(3):423-429.
- Villavicencio, G. E.E., A. Hernández R., C. N. Aguilar G., X. García C. 2018. Estimación de Biomasa foliar seca de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) del sureste de Coahuila. *Rev. Mex. Cienc. Ftal.* Vol. 9(45): 188-207.
- Wong, J. L. G., K. Thornber, y N. Baker. 2001. Evaluación de los recursos forestales no madereros. Experiencia y principios biométricos. *Productos forestales no madereros* 13. FAO. Roma, Italia. 124 p.
- Zapién, B. M. 1981. Evaluación de la producción de ixtle de lechuguilla en cuatro sitios diferentes. Primera reunión nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las plantas útiles del desierto. pp 385-389.
- Zárate, L.A., Franco, H., Berlanga, C.A., 1991. Análisis dimensional en lechuguilla. In: III Simposio Nacional sobre ecología, manejo y domesticación de plantas útiles del desierto. INIFAP. Saltillo, Coahuila. México. pp. 13–14.