

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Estimación del Peso Verde del Cogollo y Rendimiento de Fibra de *Agave lechuguilla* Torr. en
Mazapil, Zacatecas

Por:

GODOFREDO MARTÍNEZ TORRES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Estimación del Peso Verde del Cogollo y Rendimiento de Fibra de *Agave lechuguilla* Torr. en
Mazapil, Zacatecas

Por:

GODOFREDO MARTÍNEZ TORRES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada

M.C. Héctor Darío González López

Asesor Principal

Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Coasesor

M.C. Melchor García Valdéz

Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2015

Este trabajo de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38111-3613-0115086, a cargo del M.C. Héctor Darío López González.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su bendición durante mi formación profesional y por darme la oportunidad de concluir mis estudios para salir adelante.

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de formarme dentro de la carrera de Ingeniero Forestal, por el apoyo para llegar a ser un profesionista y ejercerla orgullosamente ¡buitre!.

A todos los profesores y personal del departamento forestal, por formarme académicamente, proporcionarme los conocimientos, herramientas necesarias para salir adelante, guiarme para ser un profesionista comprometido con la sociedad, mejor como persona.

Al M.C. Héctor Darío López González, asesor principal, no solo por haberme otorgado la oportunidad de realizar este trabajo de tesis, sino por la paciencia y apoyo incondicional durante la realización del documento, sin el cual no hubiera sido posible. Además de ser mi asesor siempre me brindó su confianza y amistad. Gracias maestro.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, por su apoyo constante en la parte estadística, por sus observaciones, orientaciones, consejos, comentarios y sugerencias para la realización de este trabajo, mismas que fortalecieron el contenido del trabajo.

Al M.C. Melchor García Valdés, por darme la oportunidad en el asesoramiento y revisión del contenido esta tesis.

Al C. José Octavio Treviño y a toda su familia del Ejido El Rodeo, Mazapil, por brindarme alojamiento durante el levantamiento de datos y extracción de la fibra.

A Ramón Treviño Ogas presidente del comité pro-proyecto de PRODEZA Ejido El Rodeo, por su colaboración durante la evaluación.

A Eleazar, María del Rocío, Ana quienes me ayudaron en el levantamiento de los datos en campo.

A la generación CXIX de forestales de la UAAAN por los momentos compartidos, apoyo, sugerencias y amistad hacia mi persona.

A mis amigos no acabaría de mencionarlos uno por uno, quienes estuvieron brindándome su amistad, ayudándome en todo momento durante mi estancia dentro de la casa de estudios. A todos ustedes gracias por el apoyo brindado.

DEDICATORIA

A las personas más importantes en mi vida, de quienes he recibido constante apoyo incondicional, consejo, paciencia, sabiduría y cariño, me han dado las fuerzas para concluir esta meta. A mis padres:

Juan Bosco Martínez Gómez

Delfina Torres López

Por su sacrificio, este triunfo es de ustedes. Con respeto y cariño gracias!.

A mis hermanos:

Amador, Felipe y su señora esposa Adelina, Evaristo, Guillebaldo y su señora esposa Ana, María Luisa, Ramiro y Virgilio por creer siempre en mí, por su apoyo incondicional cuando más lo necesitaba, por tenerme la confianza y preocupación por mi persona, estoy orgulloso de ustedes. Espero que este logro que alcanzo hoy los motive e impulse a seguir adelante.

Con admiración a mis sobrinos y sobrinas que con su cariño y felicidad son el motor de la unión de la familia.

A todos mis familiares, que me han brindado consejos, convivencia y por animarme a concluir mi estudio nivel superior.

A todos mis amigos y amigas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDO	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia del estudio.....	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivo general.....	4
1.3.1 Objetivo específico.....	4
1.4 Hipótesis.....	4
1.5 Antecedentes	5
1.5.1 Distribución y hábitat de <i>Agave lechuguilla</i> Torrey.	5
1.5.2 Importancia ecológica	6
1.5.3 Importancia económica	7
1.5.4 Usos de la fibra.....	7
1.5.5 Mercado	9
1.5.6 Precio de la fibra.....	9
1.5.7 Calidad de la fibra	10
1.5.8 Métodos de recolección.....	11

1.5.9 Tallado manual	11
1.5.10 Tallado mecánico	12
1.5.11 Aprovechamiento y recolección	13
1.5.12 Cuantificación de producción.....	13
1.5.13 Método directo	14
1.5.14 Método indirecto.	14
1.5.15 Regresión y correlación.....	14
1.5.16 Estudios realizados	16
II. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1 Descripción del área de estudio	19
2.1.1 Hidrología.....	20
2.1.2 Geología	20
2.1.3 Suelo.....	21
2.1.4 Clima	21
2.1.5 Vegetación.....	21
2.2 Metodología	22
2.2.1 Diseño de muestreo	22
2.2.2. Puntos de muestreo.....	22
2.2.3 Criterios de selección de los puntos de muestreo.....	22
2.2.4 Técnica de muestreo	23
2.2.5 Selección de las muestras.	23
2.2.6 Materiales y equipos de medición	23

2.2.7 Variables evaluadas	24
2.3 Procesamiento de la información	25
2.4 Análisis estadístico.....	26
2.4.1 Diagnósis de las variables	26
2.4.2 Correlación	27
2.4.3 Regresión.....	27
2.4.4 Selección del modelo predictor del peso verde del cogollo de lechuguilla...	30
2.5 Rendimiento de fibra seca.....	31
2.6 Cuadro del peso verde del cogollo y rendimiento de fibra seca	32
2.7 Densidad de plantas	32
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1 Elección de modelo para estimar el peso verde del cogollo de la lechuguilla.....	34
3.2 Valores de fibra seca obtenida posterior al tallado	46
3.3 Cuadro del peso verde del cogollo y de rendimiento en fibra de lechuguilla.....	47
3.4 Densidad y productividad de la planta aprovechable de <i>Agave lechuguilla</i>	51
IV. CONCLUSIONES.....	53
V. RECOMENDACIONES.....	54
VI. LITERATURA CITADA.....	55
APÉNDICE I	63
APÉNDICE II.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Hidrología superficial en el área de estudio	20
Cuadro 2. Modelos utilizados para predecir el peso verde del cogollo de <i>Agave lechuguilla</i> Torr. en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas	29
Cuadro 3. Criterios de selección de los modelos para estimar el peso verde del cogollo a partir de las variables dasométricas de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.)	30
Cuadro 4. Estadísticos de los modelos probados para estimar la biomasa del cogollo de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas	35
Cuadro 5. Parámetros estimadores de los modelos utilizados para predecir el peso verde del cogollo lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas	36
Cuadro 6. Valores de los coeficientes de determinación y correlación para la estimación del peso verde del cogollo y peso seco de la fibra de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.)...	41
Cuadro 7. Valores del peso verde del cogollo de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) y porcentaje de rendimiento de fibra seca	46
Cuadro 8. Estimación del peso verde del cogollo (g) de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) elaborada a partir del modelo predictor elegido para el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas	48
Cuadro 9. Rendimiento de la fibra (g) del cogollo de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en Ejido El Rodeo Mazapil, Zacatecas	50
Cuadro 10. Densidad de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) aprovechable	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio de <i>Agave lechuguilla</i> Torr. Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.....	19
Figura 2. Residuales estudentizados para estimar el peso verde del cogollo de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.....	37
Figura 3. Respuesta del peso verde del cogollo de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) y la combinación de diámetro promedio de cobertura de la planta con diámetro basal del cogollo en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.....	39

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue generar una ecuación de regresión para estimar el peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr. y su rendimiento de fibra seca, en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas. Dentro del área se establecieron 74 puntos central tipo selectivo con equidistancia de 100 m cuando menos, en cada punto se seleccionaron cuatro ejemplares, a cada ejemplar se le midió la distancia del punto central a la planta seleccionada, diámetro mayor y diámetro menor de cobertura, se colectaron un total de 296 cogollos, a cada cogollo se le midió el diámetro basal y la altura. Las muestras se pesaron con una báscula digital, posteriormente, se extrajo la fibra (ixtle) mediante el tallado manual, después se secaron las fibras expuestas directamente al sol.

Se encontró que el mejor modelo para estimar el peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla*, es un modelo lineal simple de la forma: $Y = \beta_0 + \beta_1(Cb * DB)$, en función de la combinación de diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) y diámetro basal del cogollo (DB), con un coeficiente de determinación R^2 de 0.7188, ajustada ($R^2_{Aj.}$) de 0.7177, C.M.E de 2509.28186 g, C.V. de 19.06%, del coeficiente de Mallows $C(p)$ de 2.00, PRESS de 670929.17 g, valor absoluto de PRESS de 10623.02 y con alta significancia de predicción ($P = 0.0001$).

A partir del modelo se elaboró un cuadro para estimar el peso verde del cogollo. Con respecto al rendimiento, se obtuvo un coeficiente de rendimiento (Cr) de 6.63%, con ello se elaboró un cuadro de rendimiento. En el área estudio se determinó una densidad de 2,237 plantas aprovechables ha^{-1} , con peso medio de 287.189 (g) por cogollo y un rendimiento de 42.59 $kg ha^{-1}$.

Palabras clave: *Agave lechuguilla*, cogollo, densidad, fibra, modelo, rendimiento.

ABSTRACT

The objective of this study was to develop a regression equation to estimate the green weight of *Agave lechuguilla* Torr., terminal shoot and its dry fiber yield at El Rodeo, Mazapil, Zacatecas. Seventy four central points were established selectively with at least 100 m equidistance, four plants at each point were selected, the distance from the center point to the selected plant was measured, the larger and the smaller diameters were measured to estimate a diameter coverage, basal diameter and total height were measured to a total sample of 296 terminal shoots which were collected. The samples were weighed with a digital scale, subsequently fiber (sisal) carved by hand extracted, after the fibers exposed directly to the sun dried.

The best model found to estimate the green weight of lechuguilla agave shoots was the linear model: $Y = \beta_0 + \beta_1 (C_b * DB)$, using the average diameter of plant coverage (C_b) and basal diameter of the buds (DB) as independent variables, with a coefficient of determination $R^2 = 0.7188$, adjusted ($R^2_{Aj.}$) = 0.7177, $CME = 2509.282$ g, $CV = 19.06\%$, the coefficient of Mallows $C(p) = 2.00$, $PRESS = 670929.17$ g, $|PRESS| = 10623.02$ and highly significant predictor $p = 0.0001$. Based on the linear model, a table to estimate the green weight of the shoot was developed. With respect to fiber yield, a coefficient of fiber yield (C_r) = 6.63% was used to obtain a fiber yield table. In the study area, a density of 2,237 usable plants ha^{-1} was determined, with an average weight of 287.19 g per shoot and a fiber yield of 42.59 $kg ha^{-1}$.

Key words: *Agave lechuguilla*, bud, density, fiber, model, yield.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del estudio

Además de la materia prima la madera principalmente, los bosques producen bienes y servicios adicionales. Dentro de estos bienes se encuentran la fauna silvestre, el forraje, los materiales de construcción, plantas medicinales, tierra de monte, resinas, gomas y leña combustible entre otros. El valor económico de estos bienes, conocidos como no maderables, es sólo una parte del valor del bosque, ya que el bosque produce otros beneficios adicionales tales como servicios ambientales (FAO, 1995).

En México se utilizan alrededor de 1,000 productos forestales no maderables en todos sus ecosistemas. Comercialmente 100 especies tienen control oficial, sin embargo las condiciones de mercado influyen en su uso comercial (SEMARNAT, 2003). Los recursos forestales no maderables son la parte no leñosa de la vegetación de un ecosistema forestal, y son susceptibles de aprovechamiento o uso, incluyendo líquenes, musgos, hongos, resinas, semillas, fibras, ceras, rizomas, hojas, pencas y tallos; así suelos de terrenos forestales y preferentemente forestales (LGDFS, 2003). En las zonas áridas y semiáridas existen un total de 2,200 especies de las cuales útiles actualmente 450, de uso comercial 25, uso doméstico y regional 425, concentrando un 32% de la producción nacional de recursos forestales no maderables (Tapia *et al.*, 2008).

Uno de los recursos que han cobrado una importancia relevante, sobre todo en las comunidades de las zonas áridas y semiáridas, son las especies del género *Agave*. Actualmente este recurso aunque con problemas en su uso y manejo, recobra vigencia desde el punto de

vista socioeconómico y agroecológico por los beneficios que trae a los pobladores del medio rural y al medio ambiente donde se desarrolla (García *et al.*, 2010).

Los productos no maderables aprovechables en zonas áridas y semiáridas, se concentran en especies como candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), nopal (*Opuntia spp.*), Palmilla (*Nolina spp.*), numerosas cactáceas (*Parekiopsis spp.*, *Hylocereus spp.*, *Mammillaria spp.*, *Lophophora williamsii*), magueyes (*Agave spp.*), gobernadora (*Larrea tridentata*), jojoba (*Simmondsia chinensis*), palo fierro (*Olneya tesota*), yucca (*Yucca carnerosana*), mezquite (*Prosopis spp.*), cortadillo (*Nolina cespitifera*) (FAO, 2000).

Una de las especies más explotadas es la lechuguilla (*Agave lechuguilla*) a través del proceso de tallado de ixtle. (Mayorga *et al.*, 2004). De la candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*) y la lechuguilla (*Agave lechuguilla*); se obtienen cera e ixtle, que representan la fuente de ingresos más importantes para los productores que habitan en las zonas áridas y semiáridas y, en muchos de los casos, es la única actividad, ya que la agricultura de temporal sólo les permite obtener cosechas para autoconsumo por lo errático y escaso de las lluvias (Cano *et al.*, 2005). La importancia económica de esta planta radica en sus hojas debido a que posee un alto contenido de fibras, las cuales son utilizadas para la extracción de ixtle (Méndez, 2010).

Sin embargo, el potencial aprovechable de la lechuguilla, se desconoce por la falta de una metodología para su cuantificación, debiendo ser ésta la base para la planificación de los programas de aprovechamientos (Avilés y Torres, 1991). Para ello es posible utilizar los modelos de regresión similares a los empleados en los recursos forestales maderables a nivel de las unidades de estudio (Velasco *et al.*, 2009).

1.2 Justificación

La aplicación de ecuaciones es importante, para la estimación de la producción de los recursos forestales, con la finalidad de generar tablas de rendimiento que se conviertan en herramienta útil e importante, que facilite el inventario y caracterización en campo por parte de los técnicos (Cano *et al.*, 2005). La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2003) y su reglamento establecen que para otorgarse permisos de aprovechamiento en cualquier comunidad vegetal, previamente deben de realizarse estudios técnicos para conocer las existencias reales y establecer un sistema de aprovechamiento.

El estado de Zacatecas ocupa el sexto lugar a nivel nacional en la producción del ixtle, mediante el tallado manual y mecanizada derivada de las poblaciones naturales de *Agave lechuguilla* Torr. (SAGARPA, 2009).

El área de estudio se encuentra en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas. en ese Ejido no existe un estudio para estimar el potencial productivo de la fibra seca de *Agave lechuguilla* Torr., razón por la cual se canalizaron los esfuerzos y dedicación para realizar este estudio, con la finalidad de desarrollar una ecuación para la cuantificación de la producción y rendimiento de la planta de lechuguilla.

1.3 Objetivo general

Generar una ecuación de regresión para estimar el peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr. y su rendimiento en fibra seca.

1.3.1 Objetivo específico

Seleccionar el mejor modelo de regresión para estimar el peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr.

Determinar el coeficiente de rendimiento en fibra seca de *Agave lechuguilla* Torr. a través del tallado manual.

Elaborar un cuadro para la estimación de peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr. con el modelo seleccionado.

Elaborar un cuadro de rendimiento de la fibra seca de *Agave lechuguilla* Torr. a partir del coeficiente.

1.4 Hipótesis.

H₀. La variabilidad del peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr. no se explica al relacionar el diámetro promedio de la cobertura de la planta y el diámetro basal del cogollo.

1.5 Antecedentes

1.5.1 Distribución y hábitat de *Agave lechuguilla* Torrey.

La planta de lechuguilla es nativa de las zonas áridas y semiáridas del sur de los Estados Unidos y México, identificada como *Agave lechuguilla* la cual es considerada una de las especies más comunes en el desierto Chihuahuense (Castillo *et al.*, 2011). Se distribuye principalmente en el matorral desértico rosetófilo y el matorral desértico micrófilo. En regiones cuya precipitación oscila entre 200 a 500 mm y una altitud entre 200 a 2400 m.s.n.m. (Mayorga *et al.*, 2004; Castillo, 2008).

La planta de lechuguilla, es una especie perteneciente al área de la altiplanicie mexicana, abarcando una superficie cercana a los 100,000 km² (FAO, 1995). Se encuentra en los estados Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Durango y en Zacatecas (Nobel, 1998; Narcia *et al.*, 2012), en menor proporción se distribuye en el centro y sur del país, específicamente en los estados de Hidalgo, México y Oaxaca. En Estados Unidos se desarrolla en el sur de Nuevo México, oeste de Texas y sureste de Arizona (FAO, 2000; Castillo *et al.*, 2011).

Su desarrollo no está limitado a una exposición en especial, sin embargo en la exposición Norte se ha obtenido los mejores rendimientos de producción de fibra por cogollo (Berlanga *et al.*, 1992). Se desarrollan con más vigor en suelos pedregosos, pobres en materia orgánica y con pendientes pronunciadas. (Villarreal y Maiti, 1989).

Se desarrolla en climas secos tipo BWh, correspondiente al más árido, templado, con verano cálido, pudiendo resistir períodos de sequía de varios años, así como inundaciones; logra crecer en temperaturas que van desde -3°C hasta 30°C y en un extremo de -8 a 44°C

(Berlanga *et al.*, 1992; Blando y Baca, 2001). Dicha especie se adapta mejor en suelos coluviales someros de sierras y lomeríos, pedregosos, de origen calizo, entre un pH de 7.2 y 8.5, con drenaje moderado (Martínez *et al.*, 2011).

La densidad de población de la lechuguilla es notablemente variable, Reyes *et al.* (2000) basado en varios autores documentan que se tienen reportadas densidades en poblaciones naturales de 4,300 a 56,000 plantas ha⁻¹ siendo la más frecuente de 21,000 y 28,333 plantas ha⁻¹, 8100 hijuelos ha⁻¹ y 18,000 a 23,200 plantas aprovechables por hectárea en la Ventana, Coahuila, lugar de aprovechamiento intensivo de la lechuguilla. Sin embargo en un rodal bajo aprovechamiento existen 4,200 plantas aprovechables, es decir, que cuentan con una altura adecuada para su extracción.

Eguiarte y Souza (2007) determinaron que morfológicamente las plantas cambian a lo largo del gradiente latitudinal, así los individuos del Sur son significativamente más grandes que los del Norte y alométricamente las plantas del Sur por ser más grandes producen inflorescencias más largas, con más flores y van haciéndose gradualmente cortas entre más al Norte se distribuyan.

1.5.2 Importancia ecológica

La importancia ecológica radica en las flores que son de color amarillo con tinte rojizo y se encuentra en una inflorescencia que alcanza los 4 m de altura. El néctar de las flores es un gran nutriente en la dieta de insectos, murciélagos y algunas aves (CONABIO). Reyes *et al.* (2000) menciona que el *Agave lechuguilla* es una planta con metabolismo fotosintético tipo MAC, ya que en su ambiente natural la mayor absorción de CO₂ la realiza durante toda la noche. La lechuguilla constituye un valioso recurso ecológico, ya que tiene varias funciones

importantes, pues además de la formación, conservación y retención del suelo, tiene un papel muy eficaz contra el impacto de los procesos erosivos (Bautista y Martínez, 2012).

Eguiarte y Souza (2007) documentan que las poblaciones naturales, son indicadores de la presencia de los polinizadores nocturnos y diurnos, tales como murciélagos, colibríes y las abejas principalmente, la cual se refleja directamente en la fecundidad de las plantas y son los que se encargan de asegurar la producción de frutos y semillas.

1.5.3 Importancia económica

En México el *Agave lechuguilla* Torr. es una de las especies sujeta a recolección de la cual se extrae para la obtención de fibras duras (ixtle) y representa una fuente de ingresos para un número aproximado de 20,000 recolectores, quienes mediante el tallado manual obtienen en promedio 1.87 kg de fibra seca por hora y el tallado mecánico llega a proporcionar 15 a 18 kg de fibra seca por hora (Reyes *et al.*, 2000; Mayorga *et al.*, 2004). Por generaciones ha sido una fuente de ingresos para los habitantes de las regiones áridas y semiáridas de México (Castillo *et al.*, 2005).

El aprovechamiento de esta especie representa el mayor valor socioeconómico de las zonas áridas y semiáridas del noreste del país, es una actividad de subsistencia de más de 52,000 familias campesinas de la región ixtlera del país, para algunas familias la recolección de los cogollos, es la única y principal fuente de ingreso, (Berlanga *et al.*, 1992; Zamora *et al.*, 2007; Narcia *et al.*, 2012).

1.5.4 Usos de la fibra

La lechuguilla es una fuente excelente de fibra dura, de alta resistencia y durabilidad, es altamente resistente a solventes químicos, calor, ácidos y productos abrasivos como ácidos

diluidos y concentrados, alcoholes destilados de petróleo, es resistente en agua a altas temperaturas (exposición continua de hasta 150 °C), la fibra por sus características no existe en la actualidad un sustituto sintético y dada su versatilidad de uso y bajo costo (Castillo *et al.*, 2005).

El uso principal de la planta desde su domesticación, semidomesticación y recolección es para la obtención de fibras (ixtle) “fibra Tampico (Tampico fiber)”, clasificada como fibra dura por su alta resistencia y durabilidad, se utiliza como materia prima para la elaboración de diversos productos domésticos, primordialmente en la industria textil para la fabricación hilos, bolsas, tapetes, cepillos o material para pulir metales como cepillos industriales y para albañilería, brochas para maquillaje, cepillos para calzado, cordeles y una amplia gama de productos artesanales; estos productos son elaborados tanto en empresas nacionales como internacionales. De la raíz y del tallo se aprovecha para la fabricación de los productos cosméticos Champúes y Jabones. El jugo de las hojas se utiliza como detergente, jabones y para la extracción de esteroides. Otros como embalaje, relleno de muebles asientos de vehículos (Cruz *et al.*, 1985; Maiti, 1995; Castillo *et al.*, 2005; Pando *et al.*, 2008; Castillo, 2008). También, la fibra se ha sometido a pruebas de sus propiedades físico-mecánicas en las que detectaron valores significativos para usarse como un material de refuerzo en el concreto (Juárez *et al.*, 2004). Márquez *et al.* (1996) señalan que existe la posibilidad de obtener celulosa de la fibra de lechuguilla, ya que contiene cantidades considerables de celulosa, lignina y hemicelulosa. Reyes *et al.* (2000) menciona que la planta sirve como forraje para mantener al ganado durante una parte del año.

Recientemente, se obtiene una bebida llamada “raicilla” en Jalisco la cual se ha popularizado (Zamora *et al.*, 2007).

1.5.5 Mercado

La industria de fibras duras ha sido revalorada después de ser desplazada por los elementos plásticos (Mayorga *et al.*, 2004). La perspectiva actual de comercialización del ixtle de lechuguilla es alentadora debido a la existencia de un mercado nacional e internacional bien establecido con tendencias a una mayor demanda de fibras naturales (Castillo *et al.*, 2011). Ahora se trata de integrar y dar uso al desperdicio o guishe ya que tiene bastantes cualidades para ser empleado en laminados, aglomerados, cartón, papel filtro, esteroides (Martínez *et al.*, 2011).

La fibra de lechuguilla (ixtle) se exporta a países de Europa, Asia, Norte y Sudamérica (Mayorga *et al.*, 2004). Principalmente, a Estados Unidos, Canadá, Holanda, Alemania, España, Francia, Suiza, Japón, América Central, y algunos países de América del Sur. Entre el periodo de 2003 a 2007 se llegaron a registrar ventas de fibra de hasta de 350 mil dólares (Castillo *et al.*, 2011). En el caso particular de la “Raicilla” elaborada en el Ejido El Cuale, Jalisco, se vende en \$100.00 el litro y se comercializa a nivel regional en Puerto Vallarta, Mascota y Talpa. Su producción es de aproximadamente tres mil litros al año (Zamora *et al.*, 2007).

1.5.6 Precio de la fibra

De acuerdo con SAGARPA (2009) para establecer el precio de la fibra se toman en cuenta: longitud de las fibras, la textura, la humedad y el tipo de tallado misma supervisión que realiza el comprador, basado en las características sugiere el precio de la fibra, y maneja un promedio de \$13.00 para la fibra tallada a máquina y de \$16.50 por la fibra tallada a mano. Las empresas compradoras para la región noreste son: Fibras Saltillo S.A. de CV, Compañía mexicana del Desierto S.A. de C.V., Ixtlera de Santa Catarina S.A. de C.V.

Cuando los recolectores no cuentan con suficiente cantidad de acopio las fibras lo comercializan en las tiendas DICONSA, ésta deberá contar con los permisos de explotación emitidos por la SEMARNAT y/o CONAFOR, así como los permisos de traslado emitidos por la autoridad competente. Y para que un tallador pueda entregar su fibra a la tienda DICONSA debe de estar en el padrón de la tienda misma que es elaborada por el comité rural de abasto que se forma por parte de los talladores que tramitan el permiso de aprovechamiento de la lechuguilla por medio del ejido, con esto se logra regular la explotación de la lechuguilla.

1.5.7 Calidad de la fibra

La fibra de lechuguilla se clasifica como fibras duras por su alta resistencia, durabilidad, buen lustre y de gran calidad (Maiti, 1995). En Jaumave, Tamaulipas es donde se obtienen fibra de mejor calidad, también en algunas regiones del sur de Coahuila y el en Norte de San Luis Potosí (Marroquín *et al.*, 1964).

La fibra de mayor calidad y valor comercial se obtiene del cogollo o yema, que está formado por las hojas más tiernas de la planta, que se agrupan al centro de la misma y que contienen menos lignina en relación a las hojas laterales de la planta; sin embargo, en ciertos estados del país, como Hidalgo y San Luis Potosí, los campesinos cosechan las hojas laterales para extraer el ixtle (fibra) (Castillo *et al.*, 2011). Con respecto a los métodos de tallado Zarate (1991) y Zamora *et al.* (2007), determinaron que la fibra de mejor calidad se obtiene a partir del cogollo por medio del tallado manual. Además con este método de tallado, la fibra se desgasta menos y es de mayor longitud a comparación del tallado mecánico, la fibra se desgasta más con restos de bagazo adheridos a las fibras (SAGARPA, 2009). Entonces la calidad de la fibra depende principalmente de la limpieza, coloración y longitud, ésta se

declara únicamente después del proceso de tallado. Y conforme a estas características se fijan los precios (Mayorga *et al.*, 2004).

1.5.8 Métodos de recolección

De acuerdo con Marroquín (1964) existen tres métodos principales de recolección:

La recolección de cogollos, la del ixtle, sin cortar la planta, tallando las hojas externas y la de plantas completas. El primero es el más usado debido a que se aprovechan los cogollos, es decir, la parte central de la roseta.

La recolección se realizan prácticamente todo el año, pero sobre todo en los meses secos, con el fin de mejorar la calidad de la fibra y evitar que se rompa durante el tallado ya que la planta contiene una gran cantidad de agua (Blando y Baca, 2001). En la época de lluvias el productor suspende el aprovechamiento para dedicarse a la siembra de cultivos básicos debido a que la fibra es más quebradiza y baja el rendimiento (Zamora *et al.*, 2007).

1.5.9 Tallado manual

Castillo *et al.* (2012) describen el tallado manual con un proceso que consiste en hacer presión sobre las hojas y tallar contra el trozo de madera (banco), así se separa el tejido o “guishe” de la fibra, lo que se conoce comúnmente como “despunte”. Esta operación se hace hoja por hoja, las fibras se enredan en un cilindro que se conoce como “bolillo”, para proceder a tallar una por una todas las partes troncales del cogollo, es decir, la base de la hoja; este último proceso se conoce como “destronque”. El tallado manual se efectúa en los parajes donde se realiza la recolecta o bien a los lugares cercanos a los sitios de secado (Zamora *et al.*, 2007).

Con este método de extracción, un productor obtiene aproximadamente 6 kg de fibra en una jornada de 8 horas. Martínez *et al.* (2011) el rendimiento individual es de 4.5 kg ha⁻¹/día hasta 6 kg/fibra/día. En estas condiciones la producción promedio es de 74 kg ha⁻¹ (Zamora *et al.*, 2007).

1.5.10 Tallado mecánico

El tallado mecánico de la fibra de lechuguilla inició en la década de 1970, cuando surgen las primeras máquinas “ripiadoras”, cuyo diseño consistía de un tambor de madera con clavos incrustados y funcionaba a base de energía eléctrica. Los cogollos se meten en la máquina en un sentido y en otro, primero las puntas y luego la base del cogollo (Mayorga *et al.*, 2004). En la actualidad las máquinas desfibradoras que ocupa el productor presenta una ligera desventaja en la adquisición, ya que fluctúa de \$14, 000.00 a \$16,000.00 cada una; este equipo es financiado con programas gubernamentales o arrendados por empresas comercializadoras de fibra (Castillo *et al.*, 2005).

El tiempo empleado para obtener fibra de lechuguilla en una hectárea con 18 100 plantas explotables y un número promedio de 23,200 pencas tallables es de 43 horas/hombre en el cual se pueden obtener 62. 900 kg ha⁻¹ de fibra seca. El rendimiento varía de acuerdo con las condiciones climáticas, la densidad de población ha⁻¹, estados de crecimiento y contenido potencial de fibra. (Maiti, 1995).

Una vez extraída la fibra Velasco *et al.* (2009) especifican que cuando la fibra se seca en forma tradicional, es decir, “tendiéndola” sobre el piso de concreto y expuesta directamente al sol se debe dejar durante un periodo de uno a dos días, en condiciones de cielo despejado, hasta que al tacto se perciba libre de humedad. Al extender la fibra en capas delgadas es suficiente dejar secar al sol por un periodo de 2 a 3 horas (Castillo *et al.*, 2012).

1.5.11 Aprovechamiento y recolección

La recolección y tallado del ixtle de “lechuguilla” a menudo se convierte en la única fuente de ingresos para los habitantes de las zonas ixtleras (García y González, 1991).

El turno de aprovechamiento varía entre 24 a 25 meses aproximadamente (Berlanga *et al.*, 1992; Castillo *et al.*, 2008). Una vez extraído el cogollo, éste se regenera y alcanza de nuevo la altura de aprovechamiento entre los 14 a 24 meses dependiendo de las condiciones agroclimáticas del sitio de colecta (Castillo *et al.*, 2009). En el campo experimental del INIFAP en Coahuila y en Tamaulipas determinaron que el turno técnico de la planta o los tiempos necesarios para una cosecha óptima está en rango de 14 a 25 meses (Narcia *et al.*, 2012). Si la planta es sometida a un aprovechamiento ordenado, la vida de la misma puede prolongarse hasta 6 años o más (Reyes *et al.*, 2000).

La producción de fibra de una planta de “lechuguilla” es de 8 a 12 % de su peso, si se talla únicamente el “cogollo” sólo se obtiene una sexta parte de la fibra que se obtendría al utilizar toda la corona. Sin embargo, el tallado del “cogollo” es el más recomendable, debido a que la fibra es de mejor calidad, además ser el método de explotación más adecuado para la conservación del recurso (Castillo *et al.*, 2011).

1.5.12 Cuantificación de producción

En la actualidad existen técnicas para realizar estimaciones de la producción de un recurso forestal mismas que clasifica en: métodos directos y métodos indirectos (Fonseca, 2009).

1.5.13 Método directo

Es un método destructivo (Fonseca, 2009). La estimación consiste en cosechar el material vegetal dentro de las unidades muestrales y separar las partes correspondientes a cada categoría. Luego se secan a peso constante en estufa y se pesa. Se obtiene así el peso seco por categoría, que expresado por unidad de área, de la biomasa (Montani *et al.*, 2004).

1.5.14 Método indirecto.

Las estimaciones indirectas consisten en hallar correlaciones entre la variable de respuesta y explicativas de fácil y precisa medición. La relación se expresa por medio de una ecuación de predicción o gráficos de correlación. Entre las variables que pueden tener buena relación figuran las alturas, cobertura, diámetro, número de individuos, área foliar. La ventaja de los métodos indirectos es que son rápidos y no destruyen la vegetación (Montani *et al.*, 2004).

La medición directa de la biomasa vegetal por medio del método destructivo y muestreo, es sin embargo, laborioso y caro. Para ello se recurren las ecuaciones alométricas en las cuales la biomasa es relacionada para así poder saber la producción del mismo en una forma rápida. (Méndez, 2001).

1.5.15 Regresión y correlación

El análisis de regresión consiste en desarrollar un modelo matemático que pueda describir la relación existente entre la variables a pronosticar variable de respuesta, y las variables explicativas (De la Garza *et al.*, 2013). Cuando se realiza un análisis se debe prestar atención en las medidas de bondad de ajuste; error estándar de la estimación (s_e), coeficiente

de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustad ($R^2_{Aj.}$) (Harnett y Murphy, 1987).

Cuando hay solo una variable independiente, se le llama regresión simple, pero si se tienen dos o más variables independientes se trata de una regresión múltiple (Rebolledo, 2002).

El coeficiente de correlación (r), es una estadística que mide el grado de asociación entre dos variables. Es una medida relativa y no está dado en las unidades de medida de “X” o de “Y”, puede ser positivo o negativo, cuando r es igual a +1 indica una perfecta asociación positiva aumentando “Y” al aumentar “X”. Cuando r es igual a -1, indica una perfecta asociación negativo, al aumentar “Y” al disminuir “X” o viceversa, disminuyendo “Y” al aumentar “X”. Cuando r es igual a cero, indica que no hay asociación; es decir que existen independencia entre las dos variables (Caballero, 1985). La correlación se determina la fuerza de relación entre las variables que compone la ecuación de predicción (Harnett y Murphy, 1987).

Para saber que variables utilizar y de qué manera intervienen en la estimación del volumen o que modelos de ecuación probar, es factible realizar una revisión de literatura para conocer que modelos son más prometedores entre variables (Barrena *et al.*, 1986). Al trabajar con regresión múltiple existen procesos de selección de variables propuestas, de tal manera que solo queden incluidas aquellas que cumplan con el nivel de significancia con que se trabaje, las más utilizadas son: Backward, eliminación de variables hacia atrás y Stepwise, se le conoce como regresión por pasos (Rebolledo, 2002).

Una vez generadas las ecuaciones más prometedoras se debe realizar una comparación para determinar qué modelo explica mejor la relación entre variables y si se tienen variables

dependientes en transformaciones logarítmicas utilizadas para construir modelos tienden a subestimar la variable de respuesta, por lo tanto, se recomienda una destransformación o utilizar un factor de corrección (FC) a través de Índice de Furnival (Barrena *et al.*, 1986).

1.5.16 Estudios realizados

Los estudios realizados por los investigadores para estimar la producción y rendimiento de la lechuguilla, se puede citar a: Zárate (1991) quien realizó un estudio dimensional para estimar el peso verde del cogollo de la lechuguilla, generó un modelo potencial ocupando con un coeficiente de correlación en función del volumen. Berlanga *et al.* (1992) generaron la misma ecuación también una ecuación potencial, ocupando el volumen del cogollo como la variable independiente, de la que elaboró una tabla para estimar el peso verde del cogollo (g), también determinaron coeficiente de determinación para el tallado manual (6.2%) y en maquina (8%). No obstante, algunos prestadores de servicios técnicos la utilizan para elaborar los avisos de aprovechamiento tanto en Coahuila, como en la parte norte de San Luis Potosí.

Blando y Baca (2001) realizaron un estudio en el municipio San Juan de Guadalupe, Durango, en la que desarrollaron un modelo de regresión lineal para la estimación del peso seco de la fibra, considerando como variables independientes al área de la cobertura y número de hojas aprovechables (tallables), con 0.7609 del coeficiente de determinación.

En un estudio al sur de Nuevo León Pando *et al.* (2004) trabajaron mediante diversas variables y generaron un modelo de regresión lineal simple para estimar peso del cogollo con la variable independiente volumen, con 0.9098 de correlación.

Velasco *et al.* (2009) desarrollaron modelos predictivos de regresión del peso seco de la especie de lechuguilla bajo manejo en función del diámetro y altura del cogollo, en las comunidades de San Antonio Coronado, Catorce, El coyote y Puerto de Clavellinas, Guadalcázar, San Luis Potosí. Obteniendo coeficientes de determinación 0.68, 0.68 y 0.75, respectivamente.

El estudio más reciente se llevó a cabo en tres localidades; una en General Cepeda y dos localidades en el estado de San Luis Potosí por Bautista y Martínez (2012) analizaron diversas variables y generaron un modelo lineal múltiple con un coeficiente de determinación de 0.6346 a partir de las variables independientes de diámetro de la base de la planta (DBP), diámetro del cogollo (DC) y longitud del cogollo (LC) con respecto al peso seco de la fibra (PSF). Con el inconveniente de que solo es aplicable cuando los valores de las variables no sean muy pequeños y de ser el caso la ecuación estima rendimiento negativo.

No obstante otros investigadores han estudiado otras especies, por ejemplo, Cano *et al.* (2005) estudiaron a *Dasyilirion cedrosanum* Trel. en Coahuila, llegaron a la conclusión que el modelo que mejor estima el peso de la piña es una regresión simple en función del diámetro de la piña con un coeficiente de determinación de 0.8333 y una correlación de 0.9135. Castillo *et al.* (2009) a través de modelo potencial estimaron el peso de las hojas del cortadillo (*Nolina cespitifera*) y con ello elaboraron tablas de producción en cuatro tipos de vegetación en Coahuila, obtuvieron una correlación de 7.1%, para el matorral rosetófilo. Villavicencio *et al.* (2010) realizaron una tabla de producción en hoja seca (g) de orégano (*Lippia graveolens* H. B. K) en función del diámetro de cobertura y altura de arbusto para rodales naturales del municipio de Parra de la Fuente, Coahuila. Para la cuantificación de las existencias reales a nivel sitio y a nivel predio ocuparon los elementos estadísticos. Recientemente, Roblero

(2012) trabajó sobre modelos de predicción del peso verde en candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en dos Ejidos de Cuatro Ciénegas, Coahuila, obtuvo un coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{Aj.}$) de 0.9414. En este mismo estudio determinó rendimiento de cera (3.551% y 4.067%) y con ello elaboró cuadros de rendimiento.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se ubica al Norte de Zacatecas en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas, donde se distribuye la población natural de la especie de *Agave lechuguilla* Torr. Se localiza entre las coordenadas geográficas 23° 08' latitud Norte y 101° 07' longitud Oeste (Figura 1), a una altitud promedio de 2200 m.s.n.m. (INEGI, 2004; INEGI, 2005a). El ejido cuenta con una superficie de 10,317.553 ha.

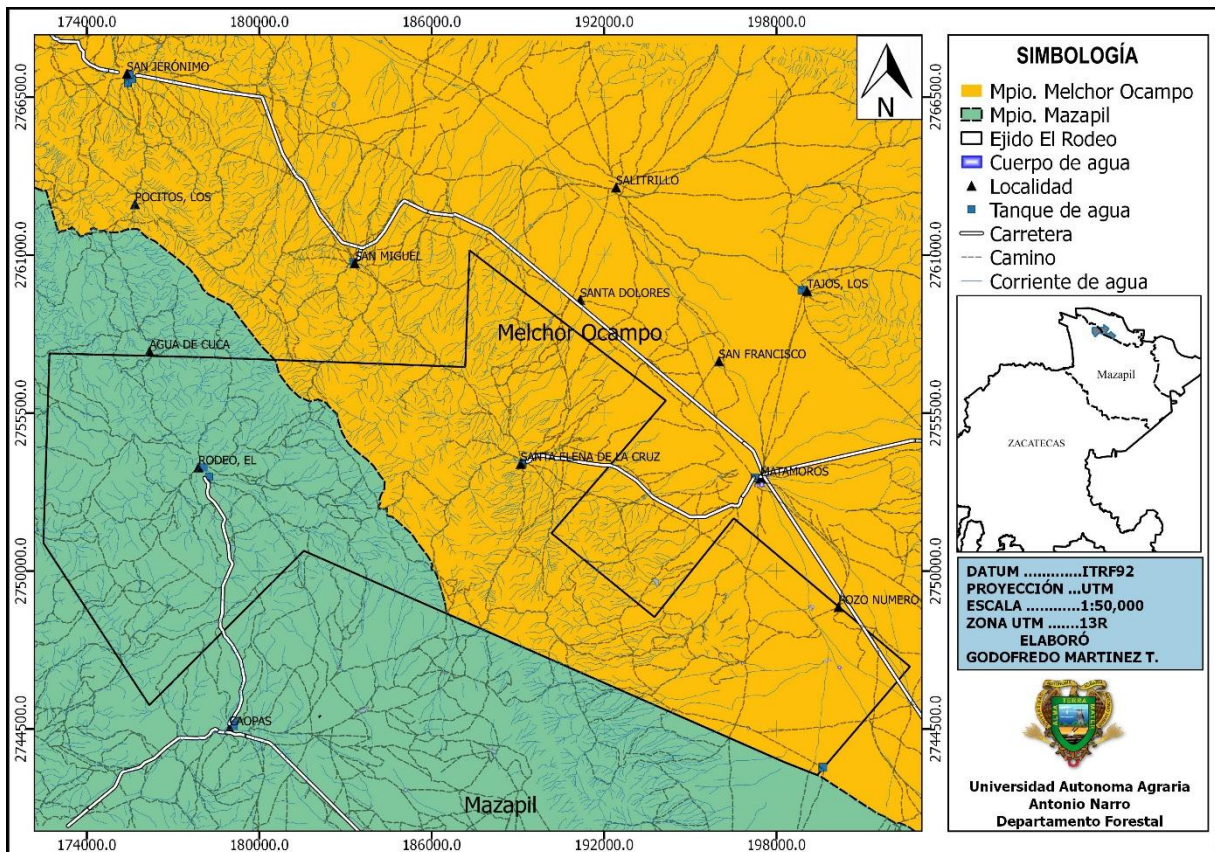


Figura 1. Localización del área de estudio de *Agave lechuguilla* Torr. Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

2.1.1 Hidrología

El área de estudio forma parte de las regiones hidrológicas El Salado y Nazas Aguanaval, ambas regiones por su extensión corresponden una de las vertientes interiores más importantes del país, se ubican en la altiplanicie septentrional, la primera región comprende la porción nororiental y la segunda región la porción noroccidental del estado de Zacatecas (Cuadro 1) (INEGI-CONAGUA, 2007a; INEGI-CONAGUA, 2007b; INEGI, 2010).

Cuadro 1. Hidrología superficial en el área de estudio.

Ejido	Municipio	Región hidrológica	Cuenca	Subcuenca
El Rodeo	Mazapil	RH37. El salado	Cuenca	Camacho
			Gruñidora	Camacho
El Rodeo	Mazapil	RH36. Nazas Aguanaval	L. de Mayrán y Viesca	L. de Viesca.
				Ambas

2.1.2 Geología

El material geológico predominante en el ejido son rocas de clase metamórfica perteneciente a era paleozoica, le sigue de la era cenozoico cuaternario de clase sedimentaria conglomerado y mesozoica cretácico superior e inferior de origen volcano-sedimentaria. Las rocas sedimentarias, que se encuentran presentes en el área de estudio son materiales formados como consecuencia de la actividad química por los agentes de denudación sobre las rocas preexistentes. La petrificación de los sedimentos a temperaturas y presiones relativamente bajas, conducen a la formación de las rocas sedimentarias (INEGI, 2011).

2.1.3 Suelo

De acuerdo con la clasificación de suelos elaborada por la FAO-UNESCO (1988), modificada por INEGI (2009), los suelos característicos dentro del área de estudio se encuentran suelos poco profundos y pobres en materia orgánica. De los cuales se puede mencionar Litosol (I), Solonchak órtico (Zo), Xerosol cálcico (Xk) y Xerosol háplico (Xh), todas con clase textural media (INIFAP-CONABIO, 1995).

2.1.4 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por E. García, el clima predominante dentro del área de estudio corresponde a un clima semiárido templado (BS1kw). La temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, la temperatura del mes más caliente menor de 22°C. El régimen de lluvias es en verano, con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 % del total anual. La precipitación varía entre 300 a 500 mm anuales (CONABIO, 1998).

2.1.5 Vegetación

La vegetación predominante en el estado de Zacatecas, se puede dividir en dos grandes asociaciones; en la parte baja se encuentra matorral micrófilo, esto se refiere a las plantas cuya fisionomía corresponde a arbustos con hojas pequeñas, los géneros asociados a este tipo de matorral en la zona son *Larrea*, *Acacia*, *Prosopis*, *Opuntia*, *Ambrosia*, etc. Mientras que en las partes más altas, donde se ubica el área de estudio corresponde a vegetación rosetófila; este tipo de vegetación se distingue por la presencia de especies arbustiva y subarbustivas con hojas alargadas y estrechas, agrupadas en forma de roseta como es el caso de la especie bajo

estudio *Agave lechuguilla*, *Agave striata*, *Hetchia podontha*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Lippia graveolens*, entre otras (INEGI, 2005b; Rzedowski, 2006).

2.2 Metodología

2.2.1 Diseño de muestreo

Para el registro de los datos en campo se utilizó el muestreo sin parcela tipo selectivo, considerando que las plantas de lechuguilla se distribuyen espacialmente al azar, Berlanga *et al.* (1992) sugieren que se debe utilizar como guía la equidistancia entre punto, los puntos se establecieron a una distancia prefijada de 100 metros cuando menos de acuerdo con Velasco *et al.* (2009), siempre y cuando en el sitio se encontraran las condiciones necesarias que se buscaban para cada punto de muestreo. Velasco *et al.* (2009) mencionan que para que se cumpla la normalidad se debe levantar un total de 60 sitios cuando menos. El número de sitios que se establecieron en este estudio fue un total de 74 sitios.

2.2.2. Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo que se establecieron en el área de estudio, fue de punto central basado en Berlanga *et al.* (1992) y Velasco *et al.* (2009) con la diferencia que en este trabajo la selección de las muestras fue la más cercana al punto establecido buscando cubrir las dimensiones de las plantas en etapa de madurez de cosecha.

2.2.3 Criterios de selección de los puntos de muestreo

El establecimiento de los puntos de muestreo en el levantamiento de los datos se realizó en áreas donde los recolectores hacían la extracción de los cogollos de la especie en estudio, áreas próximas a ser aprovechados, también, se ubicaron puntos de muestreo en aquellas áreas donde no acostumbran aprovechamiento, lo anterior, con el fin de cubrir la

variabilidad del desarrollo biológico de la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), la productividad en fibra y variación altitudinal.

2.2.4 Técnica de muestreo

La técnica de muestreo que se aplicó fue “método destructivo” que consiste básicamente en la extracción de los cogollos de la planta madre, mediante el utensilio conocido “cogollera” y dichas muestras se colocan en “huajaca” utensilio para el transporte durante la recolección de cogollos.

2.2.5 Selección de las muestras.

Para la selección de las muestras se consideró la longitud del cogollo, estas deben tener una altura mínima de 25 cm, (NOM-008-SEMARNAT-1996). Otras características son: la rectitud del cogollo, que la planta haya sido aprovechada en años anteriores, los ejemplares de las muestras estén libre de daño biológico y mecánico.

2.2.6 Materiales y equipos de medición

Para la evaluación de las muestras y registro de los datos en campo se emplearon equipos y materiales de medición; cinta métrica graduada en cm y en mm para medir las distancias del centro del punto hacia la planta más cercana, una regla de madera (longitud 1m) graduada en cm y mm utilizada para medir diámetro mayor y menor en cobertura de la planta y el diámetro del cogollo se midió con cinta métrica. Con un GPS para ubicar los sitios de muestreo, báscula digital modelo TOR-REY L-EQ 5/10 con capacidad de 20 kg para pesar las muestras obtenidas en campo.

2.2.7 Variables evaluadas

Una vez establecido el punto central de muestreo se seleccionaron las cuatro plantas aprovechables más cercanas, se midió la distancia en metros entre el punto y el centro de la planta seleccionada, con cinta métrica.

Posteriormente, se midieron los diámetros de cobertura de la planta; el diámetro mayor (cm) se obtuvo sobreponiendo regla de madera en la parte más ancha de la cobertura de la planta de lechuguilla, el diámetro menor (cm) se midió sobreponiendo regla de madera en la parte más angosta de la planta. Después las dos mediciones se promediaron con la siguiente expresión:

$$Cb = \frac{D+d}{2} \quad (1)$$

En dónde:

Cb = Diámetro promedio de cobertura en cm

D = Diámetro mayor cm

d = Diámetro menor cm

Diámetro basal del cogollo (cm). Para determinar la dimensión del diámetro es necesario cortar el cogollo de la planta, mediante una cinta métrica graduada en cm se midió el diámetro basal con aproximación a milímetro (mm).

Altura de cogollo (cm). Se midió desde la base hasta la punta de cada cogollo en cm. La medición de esta variable se realizó con cinta métrica. Aquellas que presentaban cierta curvatura fueron medidas ajustando la cinta a lo largo de la curvatura del cogollo.

Una vez realizadas las mediciones de cada cogollo, se les colocó etiquetas para guardar orden y facilidad de su identificación. Posteriormente, dichas muestras colectadas fueron llevadas a los patios de almacenamiento.

Peso verde del cogollo (g). En los patios de tallado se pesaron cada una de las muestras, es decir, se pesó cogollo por cogollo con una báscula digital modelo TOR-REY L-EQ 5/10 con capacidad de 20 kg.

Peso seco de la fibra (g). Para la obtención de los datos previamente con la ayuda de los ejidatarios se tallaron los cogollos de forma manual, la fibra resultante se agruparon por cogollo mediante etiquetas, después se dejó secar en forma tradicional tendiéndola sobre el piso, dejándolas directamente al sol de tres a cinco horas (hasta que se perciba libre de humedad al sentido del tacto) y una vez secado las muestras se pesaron por cogollos con una balanza portátil plato 180 x 190 mm de diámetro con capacidad 2,000 g x 0.05 g de precisión.

Además de las mediciones de las muestras en cada punto de muestreo, también se registraron datos fisiográficos (altitud, exposición, coordenada). Todos estos datos fueron recabados en un solo formato de campo que se muestra en el (APÉNDICE II).

2.3 Procesamiento de la información

Los datos recabados en campo se capturaron en hoja de cálculo EXCEL, para facilitar el manejo de la información al momento de la ordenación, procesamiento de todos los individuos evaluados.

Con el propósito de tener una base de datos más completo y asumiendo que los cogollos presentan una forma similar a la figura geométrica denominado cono, se procedió a determinar el volumen de los cogollos, para ello se requieren de los datos individuales de

diámetro y altura del cogollo obtenidos en las mediciones directas; empleando la ecuación de Berlanga y colaboradores (1992) cuya expresión es la siguiente:

$$V = \frac{\pi D^2 h}{12} \quad (2)$$

En donde:

V = Volumen en cm³

D = Diámetro basal del cogollo en cm

h = Altura del cogollo en cm

$\pi = 3.1416$

2.4 Análisis estadístico

El análisis de los datos recabados en campo fue analizado mediante el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1.

2.4.1 Diagnósis de las variables

Con herramienta Interactive Data Analysis de Sistema de Análisis Estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1. Fueron analizados las variables originales en un diagrama de dispersión. Tomando como variable de respuesta el peso verde del cogollo (g) y en variables explicativas Cb = Diámetro promedio de cobertura de la planta en cm, DB = Diámetro basal del cogollo (cm), Hc = Altura de cogollo (cm). Con la finalidad de detectar valores alejados de la disposición de la nube de puntos denominados “valores atípicos” o “puntos aberrantes”. Aquellos puntos alejados de la unicidad de la distribución se revisaron sus valores para determinar la existencia de algún error durante la captura o en el procesamiento de la información.

2.4.2 Correlación

Con el método de Correlación de Pearson se analizaron las variables originales y se crearon variables logarítmicas e inversas, cuadráticas y cúbicas, con el propósito de ver el grado de asociación mediante el valor de coeficiente de correlación (r) y el grado de significancia entre variables que se asocian mejor.

2.4.3 Regresión

Andrade y Segura (2008) utilizaron análisis de regresión mismos que deben cumplir el supuesto de normalidad e independencia. En caso de no cumplirse, entonces se transformarán las variables usando logaritmos (natural y de base 10), potencias. Se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas; es una prueba estadística que consiste en comparar la varianza de los datos reales contra los estimados con la tarifa de rendimiento, de tal manera que indica si estadísticamente son iguales a un nivel de confiabilidad (Castillo *et al.*, 2009).

La prueba de normalidad se realizó con PROC UNIVARIATE. Con base en el análisis gráfico de residuales (Ramírez *et al.*, 2014) y la prueba Kolmogorov-Smirnov (D), donde $Pr > D$ es el criterio de cumplimiento del supuesto. Todo valor de probabilidad igual o menor 0.05 se rechaza el supuesto.

Con el procedimiento PROC REG con la opción BACKWARD se realizaron regresiones lineales tomando como variable de respuesta el peso verde del cogollo con y sin transformación logarítmica en relación a las demás variables creadas anteriormente, se determinaron las variables que alimentan al modelo con entrada al 0.1 y con nivel de significancia de permanencia al 0.05 en el modelo.

A partir de las variables significativas seleccionadas, se realizó regresiones lineal múltiple mediante el procedimiento PROC RSQUARE con opción de CP y MSE, se determinaron modelos que explican mejor la relación de las dimensiones, con este procedimiento se generaron modelos con una variable, dos variables y de tres variables.

A partir de los modelos se procedió a realizar de nueva cuenta análisis de regresiones para obtener los valores de los parámetros que conforman la ecuación del modelo, dichos valores se obtuvieron del análisis de varianza (ANVA), así como los valores de los criterios de calificación para la selección del mejor modelo de predicción de biomasa del cogollo de lechuguilla. Para el caso de la variable de respuesta transformada en logarítmico sus valores de coeficiente de determinación ajustada (R^2 Aj.) y cuadrado medio del error (CME) generados en análisis de varianza no se pueden comparar directamente con los modelos no transformados la cual fue necesario una destransformación.

Los datos que fueron identificados en la proyección del diagrama de dispersión se eliminaron durante el análisis de los modelos, mediante la gráfica de los residuales con límites de las desviaciones de -2.5 a +2.5, para ello se observó la dispersión de puntos considerados en el análisis de la regresión, todo punto encontrado fuera de los límites se revisaron y se eliminaron aquellas que presentaron consistencia en la mayoría de los modelos analizados. Los modelos de regresión considerados para la estimación del peso verde del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla*) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Modelos utilizados para predecir el peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr. en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

Modelo	Ecuación
1	$Y = \beta_0 + \beta_1(Cb * DB)$
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 Hc^2$
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 Vol$
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 Hc^2 + \beta_2(Cb * DB)$
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 Vol + \beta_2(Cb * DB)$
6	$Y = \beta_0 + \beta_1 Vol^3 + \beta_2(Cb * DB)$
7	$Y = \beta_0 + \beta_1 Hc^2 + \beta_2 Vol^3 + \beta_3(Cb * DB)$
8	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln Vol$
9	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 Cb$
10	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 Hc$
11	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 Cb + \beta_2 \ln Vol$
12	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 Cb + \beta_2 \ln DB$
13	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 Cb + \beta_2 \ln DB$
14	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 Cb + \beta_2 \ln Vol + \beta_3 Hc^2$

Y = Peso verde del cogollo (g); β_0 , β_1 , β_2 y β_3 = Parámetros estadísticos; ln = logaritmo natural; Vol = volumen del cogollo (cm³) Cb = Diámetro promedio de la cobertura de la planta (cm), DB = Diámetro basal del cogollo y Hc = Altura del cogollo (cm) e ln = valor inverso.

2.4.4 Selección del modelo predictor del peso verde del cogollo de lechuguilla

Para la estimación del peso verde del cogollo de la lechuguilla se probaron 14 modelos, se les realizó análisis de regresión para obtener los parámetros estadísticos y valores de los criterios, para la elección del mejor modelo predictor (Cuadro 3). Para la elección del mejor modelo ésta debe tener sencillez, simplicidad de las variables así como la practicidad y que incluya un máximo de dos variables de fácil y precisa medición (Segura y Andrade, 2008). Los modelos que no cumplieron con los supuestos de regresión fueron eliminados.

Cuadro 3. Criterios de selección de los modelos para estimar el peso verde del cogollo a partir de las variables dasométricas de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.).

Estadístico	Criterio
R^2 Aj.	Coefficiente de determinación ajustado, valor más alto cercano a 1.
CME	Cuadrado Medio del Error, valor más bajo.
C.V.	Coefficiente de Variación expresado en %, valor más bajo.
C(p)	Coefficiente de Mallows, valor cercano al número de parámetro del modelo.
PRESS	Error de predicción de la suma de cuadrados, valor más bajo.
$\sum \text{PRESS} $	Valor absoluto de la sumatoria de PRESS, valor más bajo.
Pr>F	Probabilidad de significancia del modelo al 0.0001 (altamente significativa).

El cuadrado medio del error (CME), mide la dispersión de los valores observados, respecto a la línea de regresión (Y) (es la cantidad que se minimiza cuando se obtiene la recta de regresión), el criterio de decisión será al valor más cercano al 0. Para el caso de los valores del Coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{Aj.}$), se optará por el valor más cercano a 1. El valor de coeficiente de variación (C.V.) mide el error estándar con respecto a la media de la variable de respuesta expresado en porcentaje (%), se selecciona el menor valor. Todos los modelos considerados se calificará con una probabilidad altamente significancia ($Pr < .0001$).

Además de los criterios también se calificaron los residuales estudentizados con límites de ± 2.5 , considerando el patrón de distribución de puntos de los residuales; para la gráfica que presenta un patrón de distribución se le asignará la calificación más baja y la que presenta una distribución aleatoria o sin ningún patrón dentro de los límites de la desviación del mismo, se le asigna la mejor calificación.

2.5 Rendimiento de fibra seca

El producto final que el mercado demanda es la fibra seca entonces es necesario determinar un valor de fácil aplicación en la cuantificación y determinación de rendimiento denominado “coeficiente de rendimiento”; para ello los valores de peso seco de la fibra deben ser totalizados mediante una sumatoria, de igual manera a los valores de peso verde de los cogollos, posteriormente con la regla de tres simple se determina el valor del peso seco, la sumatoria del peso verde de los cogollos representa el 100%, luego se despeja el valor que representa la sumatoria de fibra seca con la siguiente expresión:

$$Cr = \frac{\sum PFS * 100}{\sum PeV} \quad (3)$$

En donde:

Cr = Coeficiente de rendimiento de fibra seca en %.

\sum PFS = Sumatoria del peso fibra seca.

\sum PeV = Sumatoria del peso verde del cogollo.

Dicho procedimiento fue empleado por Roblero (2012), para determinar el rendimiento de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.).

2.6 Cuadro del peso verde del cogollo y rendimiento de fibra seca

A partir del modelo seleccionado de mejor ajuste se construyó un cuadro del peso verde de cogollo, basado de las variables que integra la ecuación; diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) y diámetro basal del cogollo (DB). Se fijaron rangos de 0.5 para el diámetro basal del cogollo y para el diámetro promedio se tienen rangos de 5 en 5.

2.7 Densidad de plantas

Para la determinación de la densidad de las plantas aprovechables en el área de estudio, se consideraron las distancias entre el punto central y la planta seleccionada de todas las muestras, estas fueron sumadas y posteriormente, promediados para determinar la distancia media entre el punto central y la planta seleccionada, este valor obtenido se eleva al cuadrado para obtener el dato del área media por planta

Una vez hecho lo anterior, se determinó la densidad por hectárea dividiendo la unidad de superficie ha (10,000 m²) entre el dato del área media por planta:

$$DMP = \frac{\sum \text{distancia}}{n} \quad (4)$$

En dónde:

DMP = Distancia media entre plantas.

\sum distancia = sumatoria total punto-planta.

n = número de plantas muestreada.

Obtiene

$$AMP = (DMP)^2 \quad (5)$$

En dónde:

AMP = Área media por planta.

$$Dha = \frac{ha}{AMP} \quad (6)$$

En dónde:

Dha = Densidad de plantas aprovechable por hectárea.

Una vez obtenido la densidad de plantas aprovechables en una hectárea, se procede a obtener el peso verde del cogollo por hectárea, para ello se considera el promedio del peso verde del cogollo expresado en gramos multiplicado por la densidad de planta aprovechable existente en una hectárea. Luego el dato determinado se convierte en fibra seca, para ello se multiplicó por el coeficiente de rendimiento (RLGDFS, 2005; Berlanga *et al.* (1992).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Elección de modelo para estimar el peso verde del cogollo de la lechuguilla

Al analizar las variables de la planta de *Agave lechuguilla* Torr. se encontró que el diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) en combinación con el diámetro basal del cogollo (DB), explican en buena proporción la variabilidad del peso verde el cogollo.

Los criterios estadísticos que se consideraron para la elección del mejor modelo en este estudio, han sido empleados por Espinoza y Almaguer (2007), Segura y Andrade (2008). Los valores de los criterios del modelo de regresión elegido cuya ecuación fue $Y = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2(Cb*DB)$, presenta los mejores valores para el coeficiente de determinación ajustada ($R^2Aj.$) de 0.7177, menores valores del cuadrado medio del error (C.M.E) de 2509.28 g, del coeficiente de variación (C.V.) de 19.06%, del coeficiente de Mallows C(p) de 2.00, de la suma de cuadrados de los residuos de los predichos (PRESS) de 670929.17 g, del valor absoluto de PRESS de 10623.02 y con alta significancia de predicción ($P = 0.0001$) (Cuadro 4).

Para la elección del mejor modelo se consideró la sencillez, la simplicidad de la variable así como la practicidad en el uso y un máximo de hasta 2 variables independientes (Segura y Andrade, 2008). Sin embargo, los modelos 4, 5 y 6 (Cuadro 4) tienen valores cercanos al modelo elegido, por razones de la falta de simplicidad, practicidad y sencillez no se consideran como modelos estimadores del peso verde cogollo de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr).

Cuadro 4. Estadísticos de los modelos probados para estimar el peso verde del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

Modelo	Ecuación	R ² Aj.	CME	C.V.	C(p)	PRESS	$\sum RESS $	Pr>F
1	$Y = \beta_0 + \beta_1(Cb*DB)$	0.7177	2509.28	19.06	2.00	670929.17	10623.02	<.0001
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 Hc^2 + \beta_2(Cb*DB)$	0.7012	3674.44	21.65	5.92	1072982.23	13531.48	<.0001
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 Vol + \beta_2(Cb*DB)$	0.7009	3192.37	20.80	19.06	893645.54	12146.32	<.0001
6	$Y = \beta_0 + \beta_1 Vol^3 + \beta_2(Cb*DB)$	0.7136	2559.01	19.21	18.23	694774.01	10834.43	<.0001

R² = Coeficiente de determinación, C.M.E = Cuadrado medio del error (g), C.V. = Coeficiente de variación (%), C(p) = Coeficiente de Mallows, Pr>F = Significancia del modelo, PRESS = Error de predicción de la suma de cuadrados (g).

Los valores de los parámetros del modelo de regresión seleccionado de este estudio (modelo 1), β_0 fue de 77.67324 y β_1 fue de 0.65934, también se muestran valores de los parámetros del modelo cuatro, cinco, seis (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros de los modelos utilizados para estimar el peso verde del cogollo lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

Modelo	Ecuación	β_0	β_1	β_2
1	$Y = \beta_0 + \beta_1(Cb * DB)$	77.67324	0.65934	-----
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 Hc^2 + \beta_2(Cb * DB)$	35.18613	0.03368	0.56905
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 Vol + \beta_2(Cb * DB)$	71.13891	0.02779	0.67276
6	$Y = \beta_0 + \beta_1 Vol^3 + \beta_2(Cb * DB)$	74.51104	-4.29E-08	0.68081

Y = Peso verde del cogollo (g); β_0 , β_1 , y β_2 = Parámetros estadísticos; Vol = volumen del cogollo (cm³)
Cb = Diámetro promedio de la cobertura de la planta (cm), DB = diámetro basal del cogollo (cm) y Hc = Altura del cogollo (cm).

Los modelos se ajustaron, en la que se revisaron los errores entre los observados y el dato estimado a través de gráficas de los residuales estudentizados, con desviaciones de ± 2.5 , con la finalidad de evaluar la homocedasticidad (De la Garza *et al.*, 2013). Los “valores atípicos” se detectaron por el método univariante, se examinaron los valores de los observados contra estimados y se eliminaron aquellos valores que presentaron consistencia (Hair *et al.*, 2008).

En los ajustes de los modelos se realizó con el fin de evaluar que tan bien se ajustaron los datos a través de la ecuación de regresión, todas basadas en los errores (De la Garza *et al.*,

2013). Se encontró que el modelo 1 presenta mejores ajustes con una $n = 265$ (Figura 2), los “valores atípicos” se eliminaron mediante una programación de sintaxis APÉNDICE I.

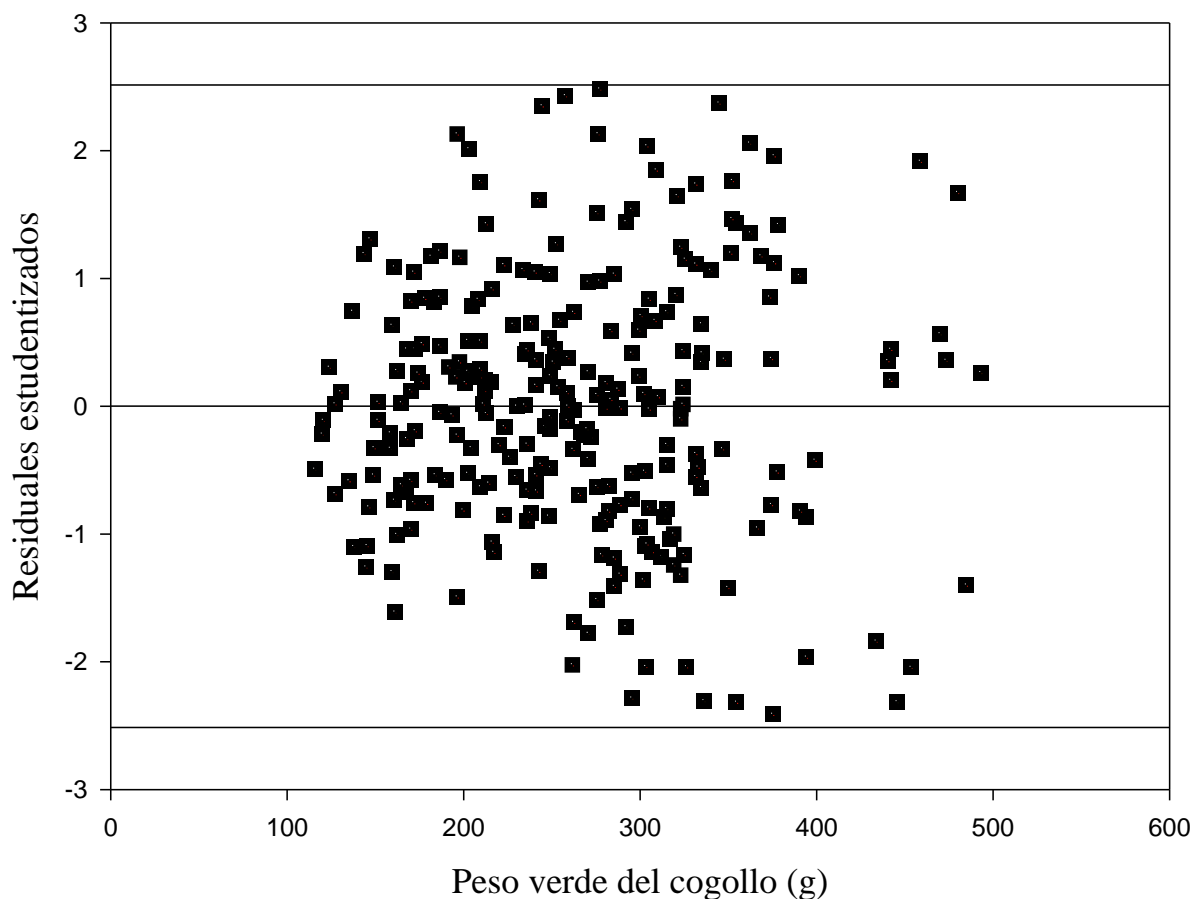


Figura 2. Residuales estudentizados para estimar el peso verde del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

El supuesto de varianza constante se cumple, puesto que la dispersión de los residuales es aleatoria. Cualquier otro patrón reflejado dentro del umbral ± 2.5 implica la violación de la premisa (Velasco *et al.*, 2009).

La evaluación de la normalidad se realizó a través de la prueba estadístico de Kolmogorov-Smirnov (D) (De la Garza *et al.*, 2013). Se obtuvo que $D = 0.036636$ con una probabilidad de significancia $Pr > D = 0.1500$, de acuerdo con los valores del análisis y las

especificaciones De la Garza *et al.*, (2013) se afirma que los datos del estudio provienen de una población con distribución normal. Velasco *et al.* (2009) el supuesto de normalidad de los errores se cumple puesto que valor de $p = 0.1500$ correspondiente a la prueba de Kolmogorov-Smirnov 0.05 es mayor. Los valores especificados es resultado del análisis entre el diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) y el diámetro basal del cogollo (DB) de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.).

Los resultados muestran que el modelo 1 es el mejor para estimar el peso verde del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), cumple con los supuestos de regresión la normalidad, y homogeneidad de varianzas en los residuales. La tendencia (Figura 3) de la distribución de los valores del peso verde del cogollo en gramos observado y los valores estimados (predichos) para la estimación del peso verde del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

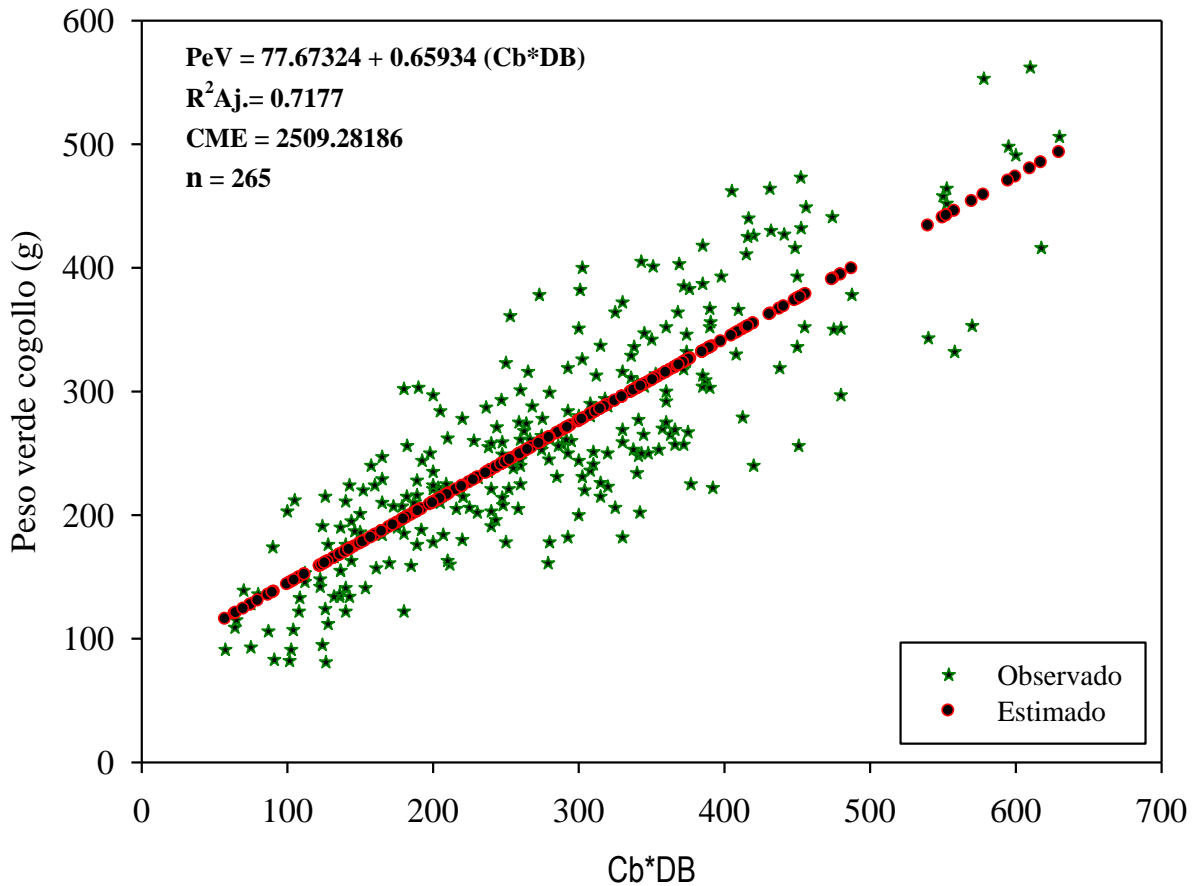


Figura 3. Respuesta del peso verde del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en función de la combinación de diámetro promedio de cobertura de la planta con diámetro basal del cogollo en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

El modelo de regresión generado estima el peso verde del cogollo en función de la variable combinada, entre el diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) y el diámetro basal del cogollo (DB) las cuales presentan un coeficiente de determinación ajustado del 71.77% del peso verde del cogollo; mismas que presentan una asociación del 84.78%. De acuerdo con Caballero (1985), se tiene una correlación positiva cercana a 1, la cual indica que las variables explican un alto grado de asociación. La ecuación de regresión permite la estimación del peso verde del cogollo a nivel individuo, grupo de individuos y a gran escala además de facilitar la toma de decisiones para el aprovechamiento de la especie (Fonseca *et*

al., 2009). La programación del análisis del modelo seleccionado se muestra en APÉNDICE II.

En general el modelo seleccionado presenta buenos ajustes con el coeficiente de determinación ajustada de 0.7177 y correlación de 0.8478 con una ($P < 0,05$) para el componente del peso verde del cogollo de la lechuguilla y poco grado de dificultad para la estimación de la misma. Tiene como variable regresora a la combinación del diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) con el diámetro basal (DB), las cuales son fáciles de medir en campo y se puede obtener de manera rápida en las evaluaciones. Esta es una ventaja ya que el modelo estima el peso verde del cogollo a partir de una variable combinada.

El ajuste determinado puede ser a la variabilidad en diámetro promedio de cobertura y diámetro basal del cogollo, a comparación de una plantación bajo manejo donde las condiciones de establecimiento son más uniformes. En el Cuadro 6 se presentas los valores del coeficiente de determinación y la correlación (r) que han obtenido los investigadores.

Cuadro 6. Valores de los coeficientes de determinación y correlación para la estimación del peso verde del cogollo y peso seco de la fibra de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr).

Autor	Valor estimado	Variables	R ²	r
Este estudio	PeV	1	0.7188	0.8478
Zárate (1991)	PeV	1	0.579	0.761
Blando-Navarrete y Baca (2001)	PSF	2	0.7609	
Pando-Moreno <i>et al.</i> (2004)	PSF	2		0.9098
	PSF	2	0.68	
Velasco <i>et al.</i> (2009)	PSF	2	0.68	
	PSF	2	0.75	
Bautista y Martínez (2012)	PSF	3	0.6346	

PeV = Peso verde del cogollo (g) y PSF = Peso seco de la fibra (g)

Al respecto Zárate (1991) por medio de una regresión potencial estimó el peso verde del cogollo, donde obtuvo un coeficiente de determinación y correlación de 0.579 y 0.761 respectivamente utilizando al volumen como variable explicativa. Un año después Berlanga *et al.* (1992), generaron la misma ecuación de la que elaboraron una tabla de producción de doble entrada en La Saucedá, Coahuila, determinando así la cantidad del peso del cogollo en gramos por individuo. Los valores son más bajos que los de este estudio, la diferencia posiblemente se deba a que en este estudio se ocupa la variable diámetro promedio de cobertura de la planta en vez de la altura del cogollo, además, el área de estudio se encuentra

más elevado. El modelo en comparación requiere determinación previa del volumen, para estimar el peso verde del cogollo en contraste con el modelo lineal simple obtenido en este estudio.

Resultados similares en grado de ajuste (R^2) y variables utilizadas obtienen otros investigadores, por ejemplo, en San Juan de Guadalupe, Durango, realizaron un análisis de regresión de la planta de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) para la estimación del peso seco de la fibra de toda la corona mediante una regresión lineal múltiple en función del área de cobertura (a) y número de hojas tallables (ht), reportan una R^2 de 0.7609 (Blando y Baca 2001). A comparación con el análisis del presente estudio se tiene un coeficiente de determinación del 0.7188. misma que es menor obtenido por los autores.

Posiblemente, estas diferencias se deben a la metodología empleada por el autor ya que consideraron todas las hojas tallables de la planta y el área de cobertura, del modelo que genera es para estimar el peso seco de la fibra y no el peso verde del cogollo como el de este estudio. Otra causa probable de la variación son las características del suelo, los factores climáticos y ecológicos donde se encuentre distribuida la planta ya que de esta depende su crecimiento y productividad. En cuanto a las variables del modelo del autor en comparación, implican más tiempo para contabilizar las hojas y al extraer la planta toda la planta se desprotege el suelo, en contraste con el de este estudio el modelo predictor las variables son mucho más fácil de obtener en campo y al momento de sustituir los valores en la ecuación solamente se combinan.

Pando *et al.* (2004) generaron un modelo de regresión que predice el rendimiento de la fibra seca por cogollo, combinando las variables del diámetro y altura del cogollo teniendo como variable el volumen, obtuvieron un coeficiente de determinación $R^2 = 0.8277$ y

correlación 0.9098 por medio de una regresión lineal simple. Los valores obtenidos del coeficiente de determinación fue de 0.7188 y de correlación de 0.8478.

Con base en lo anterior, el coeficiente de determinación (R^2) obtenido en este estudio es menor al que obtuvieron Pando *et al.* (2004) en el cual consideraron el diámetro basal y altura del cogollo como una sola variable (volumen) se le atribuye a la forma de un cono. Se asume que la diferencia se debe a que en el estudio en comparación considera específicamente las dimensiones del cogollo lo que viene siendo una parte de la planta. En contraste, con el presente estudio se tiene como variable la combinación de diámetro promedio de la cobertura de la planta (Cb) y el diámetro basal del cogollo (DB), mismas que se ubican en distintas partes de la planta. Sin embargo estadísticamente dicha variable combinada es estadísticamente significativa (0.0001) para la estimación del peso verde del cogollo en gramos (g), además las variables que se tiene en el análisis son fáciles de medirlas en campo.

En dos localidades del estado de San Luis Potosí y en una Coahuila realizaron un estudio de la lechuguilla mediante una regresión exponencial, teniendo como variables explicativas el diámetro basal del cogollo y su altura, obtuvieron un coeficiente de determinación de 0.68 y 0.75 (Velasco *et al.*, 2009). En contraste, el valor del coeficiente de determinación de 0.7188 encontrado a través del modelo lineal simple en este estudio, es mayor al 0.68, pero menor comparado con el de 0.75. La diferencia seguramente se debe a que están estimando directamente el peso seco de la fibra, basados en las dimensiones del cogollo y al momento de calcular el volumen lo representan como la forma geométrica de un cono. Otra causa posible son las condiciones físicas biológicas y ecológicas del lugar de donde se encuentre la población. Cabe mencionar que la ecuación de regresión simple en cuanto a la

expresión es mas facil de emplearla para estimacion el peso verde del cogollo a comparación de un modelo exponencial.

Recientemente, Bautista y Martínez (2012) estudiaron dos localidades en el estado de San Luis Potosí y una en Coahuila, donde ocuparon al diámetro de la base de la planta (DBP), diámetro del cogollo (DC) y longitud del cogollo (LC) como variables independientes, con ello generaron un modelo lineal múltiple para estimar peso seco de la fibra (PSF), obtuvieron un coeficiente de determinación del ($R^2 = 0.6346$). En contraste, con el estudio realizado en el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zac., se tiene el diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) y diámetro basal del cogollo (DB) como variables, con un coeficiente de determinación del 0.7188 la cual es mayor a lo obtenido por Bautista y Martínez (2012). Seguramente la diferencia se debe al modelo de regresión lineal multiple que contempla tres variables y ademas están estimando directamente el peso seco de la fibra. tambien se le puede atribuir a las características del suelo así como a los factores ecológicos y la densidad de plantas, ya que influyen directamente en la productividad del *Agave lechuguilla* (Zamora *et al.*, 2007). Además, el modelo en comparación excede el número de variables sugerido por Segura y Andrade (2008), cabe mencionar que subestima los valores para individuos con dimensiones pequeñas (estima valores en negativo) y para las dimensiones grandes sobrestima la biomasa seca del cogollo.

Con respecto a los valores de los parámetros obtenido en este estudio difieren con el de Zárate (1991) y Berlanga *et al.* (1992) donde reportan que $\beta_0 = 0.563$ y $\beta_1 = 0.6093$ para la estimación de la biomasa del cogollo. Blando y Baca (2001) reportan $\beta_0 = -2.155994$, $\beta_1 = 0.020571$ y para $\beta_2 = 0.320297$, para la estimación directa del peso seco de la fibra de la corona de la planta de lechuguilla (*Agave lechuguilla*). Pando *et al.* (2004) reportan para $\beta_0 =$

55.91614 y para $\beta_1 = 10.37115$ para la estimación del peso seco de la fibra. Bautista y Martínez (2012) reportan para $\beta_0 = -72.81340$, $\beta_1 = 1.49089$, $\beta_2 = 7.57018$ y $\beta_3 = 0.83146$ para estimar fibra seca en lechuguilla (*Agave lechuguilla*).

Otros investigadores reportan un valor de $\beta_0 = 0.000347$ y $\beta_1 = 1.1769$ para predicción de biomasa en candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en Ejido de Cuatro Ciénegas Coahuila, (Roblero, 2012). Cano *et al.* (2004) reportan valores $\beta_0 = -15.529$ y $\beta_1 = 1.118$ para *Dasyllirion cedrosanum* Trel. en el estado de Coahuila. En el matorral desértico rosetófilo, al sureste de Coahuila, Castillo *et al.* (2009) reportan para $\beta_0 = -1.6881$ y $\beta_1 = 0.6552$ para estimar el peso de hojas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.).

De acuerdo con Ostile (1981) el valor de la pendiente (β_1), es decir, la intersección con el punto de origen de la nube de puntos no debe ser negativo, ya que se sobrestiman los valores medios.

Los modelos de regresión desarrollados por distintos investigadores difieren con el objeto del presente estudio, ya que las ecuaciones generadas son para la estimación del peso seco de la fibra, a excepción de Zárate (1991) y Berlanga *et al.* (1992) quienes ocuparon el volumen para determinar la biomasa del cogollo. Las ecuaciones que estiman el rendimiento de la fibra seca en lechuguilla (*Agave lechuguilla*), para su uso requieren medición de las variables de la planta, extracción de la fibra y el secado, el proceso es laborioso. En cambio el modelo lineal generado en esta investigación estima el peso verde del cogollo expresado en gramos, la cual solamente requiere las medidas del diámetro promedio de cobertura de la planta y el diámetro basal del cogollo, para estimar el rendimiento en fibra seca, los valores del peso verde del cogollo (g) estimado por el modelo se multiplican por el coeficiente de

rendimiento y se ahorra el proceso de extracción y secado de la fibra, con este procedimiento se estima de manera rápida fácil el peso verde de los cogollos y su respectivo rendimiento.

3.2 Valores de fibra seca obtenida posterior al tallado

Se obtuvo el peso verde del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr de un total de 85.008 kg, una vez secado las muestras de las fibras extraídas, el peso seco de la fibra obtenida fue de 5.639 kg, traducido en valor de porcentaje representa el 6.63% . El valor de rendimiento 6.63% obtenido en este trabajo es parecido a lo que determinaron Berlanga *et al.* (1992) quienes realizaron un estudio sobre metodología de evaluación y manejo de la lechuguilla en La Saucedá, Saltillo, Coahuila, determinaron un rendimiento de 6.2% en función del tallado manual (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores del peso verde del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) y porcentaje de rendimiento de fibra seca.

Estudio/Autor	Peso verde del cogollo (kg)	Rendimiento fibra seca (kg)	Rendimiento de fibra seca (%)
El Rodeo, Mazapil, Zactecas.	85.008	5.639	6.63
Berlanga <i>et al.</i> (1992)	nd	Nd	6.2

nd = no disponible

En el presente estudio se obtuvo un rendimiento promedio de 19.05 g de fibra seca por cogollo, dicho valor está se parece a los valores obtenidos por Pando *et al.* (2004) en el sur del estado de Nuevo León un rendimiento promedio de 22.7 g por cogollo, valor que depende de las características topofomas de donde se distribuya la especie. El valor de rendimiento en

fibra obtenido en este estudio es similar a lo mencionado por Castillo *et al.* (2008) donde especifica que la fibra seca obtenida por cogollo de la planta se lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) es de 21.2 gramos. Sin embargo, las condiciones climáticas, densidad de la población por hectárea, estado de crecimiento y contenido potencial de la fibra influyen en la producción de fibra (Zamora *et al.*, 2007).

3.3 Cuadro del peso verde del cogollo y de rendimiento en fibra de lechuguilla

Una vez elegido el modelo predictor, se procedió a construir la tabla de valores de doble entrada de biomasa (peso verde del cogollo en g) con la intersección del diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) y diámetro basal del cogollo (DB) (Cuadro 8).

El cuadro de rendimiento en fibra seca se construyó a partir de los valores de intersección de la tabla de biomasa del cogollo, la cual se le aplicó el porcentaje del Coeficiente de rendimiento del 6.63% (Cuadro 9).

Cuadro 8. Estimación del peso verde del cogollo (g) de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) elaborada a partir del modelo predictor elegido para el Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

		Diámetro basal del cogollo (cm)												
		0	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
Diámetro promedio de cobertura (cm)	20	104.0	110.6	117.2	123.8	130.4	137.0	143.6	150.2	156.8	163.4	170.0	176.6	
	25	110.6	118.9	127.1	135.4	143.6	151.8	160.1	168.3	176.6	184.8	193.1	201.3	
	30	117.2	127.1	137.0	146.9	156.8	166.7	176.6	186.5	196.4	206.2	216.1	226.0	
	35	123.8	135.4	146.9	158.4	170.0	181.5	193.1	204.6	216.1	227.7	239.2	250.7	
	40	130.4	143.6	156.8	170.0	183.2	196.4	209.5	222.7	235.9	249.1	262.3	275.5	
	45	137.0	151.8	166.7	181.5	196.4	211.2	226.0	240.9	255.7	270.5	285.4	300.2	
	50	143.6	160.1	176.6	193.1	209.5	226.0	242.5	259.0	275.5	292.0	308.4	324.9	
	55	150.2	168.3	186.5	204.6	222.7	240.9	259.0	277.1	295.3	313.4	331.5	349.7	
	60	156.8	176.6	196.4	216.1	235.9	255.7	275.5	295.3	315.0	334.8	354.6	374.4	
	65	163.4	184.8	206.2	227.7	249.1	270.5	292.0	313.4	334.8	356.2	377.7	399.1	
	70	170.0	193.1	216.1	239.2	262.3	285.4	308.4	331.5	354.6	377.7	400.7	423.8	
	75	176.6	201.3	226.0	250.7	275.5	300.2	324.9	349.7	374.4	399.1	423.8	448.6	
	80	183.2	209.5	235.9	262.3	288.7	315.0	341.4	367.8	394.2	420.5	446.9	473.3	
	85	189.8	217.8	245.8	273.8	301.8	329.9	357.9	385.9	413.9	442.0	470.0	498.0	
	90	196.4	226.0	255.7	285.4	315.0	344.7	374.4	404.0	433.7	463.4	493.1	522.7	
	95	202.9	234.3	265.6	296.9	328.2	359.5	390.9	422.2	453.5	484.8	516.1	547.5	
100	209.5	242.5	275.5	308.4	341.4	374.4	407.3	440.3	473.3	506.2	539.2	572.2		
105	216.1	250.7	285.4	320.0	354.6	389.2	423.8	458.4	493.1	527.7	562.3	596.9		
110	222.7	259.0	295.3	331.5	367.8	404.0	440.3	476.6	512.8	549.1	585.4	621.6		

$$Y = 77.67324 + 0.65934 (Cb*DB)$$

Cano *et al.* (2005) las tablas representan una forma tabulada de expresar la producción promedio de plantas en pie de diversos tamaños y especies, en función de sus dimensiones. Al respecto Berlanga *et al.* (1992) construyeron una tabla de rendimiento de doble entrada con las variables; diámetro basal del cogollo y la altura del cogollo en mm y cm respectivamente para la población de “La Saucedá”, Coahuila.

Castillo *et al.* (2009) establecieron rangos de 5 en 5 para la estimación de la fibra en cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.). Roblero (2012) construyó una tablas con rangos de 10 para estimación del peso de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) y su rendimiento en cera. Considerando lo anterior los valores de los rangos se construye de acuerdo a la variabilidad de las dimensiones de la especie sujeto a la evaluación, particularmente a los valores mínimos y máximos.

Cuadro 9. Rendimiento de la fibra (g) del cogollo de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en Ejido El Rodeo Mazapil, Zacatecas.

		Diámetro basal del cogollo (cm)												
		0	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
Diámetro promedio de cobertura (cm)	20	6.90	7.34	7.77	8.21	8.65	9.08	9.52	9.96	10.40	10.83	11.27	11.71	
	25	7.34	7.88	8.43	8.97	9.52	10.07	10.61	11.16	11.71	12.25	12.80	13.35	
	30	7.77	8.43	9.08	9.74	10.40	11.05	11.71	12.36	13.02	13.67	14.33	14.99	
	35	8.21	8.97	9.74	10.50	11.27	12.03	12.80	13.56	14.33	15.09	15.86	16.62	
	40	8.65	9.52	10.40	11.27	12.14	13.02	13.89	14.77	15.64	16.52	17.39	18.26	
	45	9.08	10.07	11.05	12.03	13.02	14.00	14.99	15.97	16.95	17.94	18.92	19.90	
	50	9.52	10.61	11.71	12.80	13.89	14.99	16.08	17.17	18.26	19.36	20.45	21.54	
	55	9.96	11.16	12.36	13.56	14.77	15.97	17.17	18.37	19.58	20.78	21.98	23.18	
	60	10.40	11.71	13.02	14.33	15.64	16.95	18.26	19.58	20.89	22.20	23.51	24.82	
	65	10.83	12.25	13.67	15.09	16.52	17.94	19.36	20.78	22.20	23.62	25.04	26.46	
	70	11.27	12.80	14.33	15.86	17.39	18.92	20.45	21.98	23.51	25.04	26.57	28.10	
	75	11.71	13.35	14.99	16.62	18.26	19.90	21.54	23.18	24.82	26.46	28.10	29.74	
	80	12.14	13.89	15.64	17.39	19.14	20.89	22.64	24.38	26.13	27.88	29.63	31.38	
	85	12.58	14.44	16.30	18.15	20.01	21.87	23.73	25.59	27.44	29.30	31.16	33.02	
90	13.02	14.99	16.95	18.92	20.89	22.85	24.82	26.79	28.76	30.72	32.69	34.66		
95	13.46	15.53	17.61	19.68	21.76	23.84	25.91	27.99	30.07	32.14	34.22	36.30		
100	13.89	16.08	18.26	20.45	22.64	24.82	27.01	29.19	31.38	33.56	35.75	37.94		
105	14.33	16.62	18.92	21.21	23.51	25.80	28.10	30.39	32.69	34.98	37.28	39.57		
110	14.77	17.17	19.58	21.98	24.38	26.79	29.19	31.60	34.00	36.41	38.81	41.21		

Coefficiente de rendimiento = 6.63%

La tabla para estimar el peso verde del cogollo y de su rendimiento es resultado del estudio realizado en una población natural, perteneciente al matorral rosetófilo en altitudes que van de los 1567 a 1654 m.s.n.m. con pendientes de 1 a 55%, en rangos de diámetro promedio

de cobertura de la planta (Cb) de 20 a 110 cm y diámetro basal del cogollo (DB) de 2.3 a 7.5 cm. En la intersección de la tabla los valores indican la cantidad de biomasa en gramos por cogollo con base a las dimensiones y en la tabla de rendimiento el valor expresa la cantidad de fibra seca por cogollo.

3.4 Densidad y productividad de la planta aprovechable de *Agave lechuguilla*

Se determinó una densidad de 2,237 plantas ha⁻¹, con una biomasa promedio de 287.189 gramos por cogollo, esto multiplicado por la densidad de plantas obtenida se tiene un total del peso verde del cogollo 642.442 kg ha⁻¹ y al convertirlo a fibra seca se tiene un rendimiento de 42.59 kilogramos en una hectárea (Cuadro 10).

Con respecto al peso promedio del cogollo, Reyes *et al.* (2000) determinaron un peso promedio del cogollo de 356.54 g, la cual difiere con el valor de 287.189 g obtenido en este estudio. La causa de la diferencia probablemente se deba al contenido de humedad (agua) así como las dimensiones del cogollo, sin descartar a la altitud donde se distribuyan y la pendiente del terreno.

Cuadro 10. Densidad de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) aprovechable.

Ejido/Autor	Densidad (ha)	Peso promedio cogollo (g)	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Rendimiento fibra seca (kg ha ⁻¹)
El Rodeo, Mazapil, Zac.	2,237	287.189	642.442	42.59
Reyes <i>et al.</i> (2000)	nd	356.54	nd	nd
Blando-Navarrete y Baca (2001)	nd	Nd	nd	240.77
Zamora-Martínez <i>et al.</i> (2007)	18,100	Nd	nd	62.900

nd = no disponible.

Blando y Baca (2001) en San Juan Guadalupe, Durango, estudiaron el potencial productivo de plantas completas, en la que encontraron que el potencial productivo por hectárea se concentra en la loma con 240.77 kg ha⁻¹ de fibra seca, mientras que en la meseta se concentra un potencial de 85.880 Kg ha⁻¹. Referente a lo especificado por Cruz y Medina (1988) la producción de fibra de una planta de “lechuguilla” es de 8 a 12 % de su peso, si se talla únicamente el “cogollo” sólo se obtiene una sexta parte de la fibra que se obtendría al utilizar toda la corona; como en este caso se tiene se tiene valores del cogollo, entonces al determinar la sexta parte del valor del potencial de la loma se tendría un valor de 40.12 kg ha⁻¹ de fibra seca, dicho valor es menor a 42.59 kg ha⁻¹ obtenido en este estudio.

En poblaciones naturales con densidad de 18,100 plantas aprovechables por hectárea con un promedio de 23,200 pencas tallables, se puede obtener 62.900 Kg ha⁻¹ (Zamora *et al.*, 2007). Dicho valor es casi el doble a 42.59 kg ha⁻¹ ya que se refiere a las hojas tallables de toda la planta y en esta investigación se está abarcando solamente el cogollo de la planta de lechuguilla (*Agave lechuguilla*).

La diferencia de los valores de producción puede obedecer a factores ambientales donde se encuentre distribuida la especie bajo estudio. Villareal y Maití (1989) determinaron que las plantas se desarrollan con más vigor en suelos pedregosos, pobres en materia orgánica y en pendientes pronunciadas, con altitudes de 950 a 2300 m.s.n.m. Eguiarte y Souza (2007) encontraron que alométricamente las plantas del Sur son más grandes que las del Norte. Por tanto se puede asumir que el desarrollo de la planta depende las condiciones del área distribución y por ende su potencial productivo.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultado se rechaza la hipótesis nula, debido a que las variables de diámetro promedio de cobertura de la planta en combinación con el diámetro basal del cogollo explican en buena proporción el peso verde del cogollo de la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), para la población natural del Ejido El Rodeo, Mazapil, Zacatecas.

El modelo de regresión lineal simple obtenido en este estudio, permite estimar de manera sencilla, el peso verde del cogollo (g) a través de la variable combinada entre el diámetro promedio de cobertura de la planta (cm) y el diámetro basal del cogollo (cm), las variables son fácil de medir en campo y su aplicación en la ecuación.

De acuerdo al supuesto del modelo, la especie de *Agave lechuguilla* bajo estudio, proviene de una población con distribución normal.

A partir del modelo de regresión para estimar el peso verde del cogollo (g), se elaboró un cuadro de doble entrada en función del diámetro promedio de cobertura de la planta (cm) y el diámetro basal del cogollo (cm).

El cuadro de rendimiento del cogollo en fibra seca se elaboró en base al coeficiente de rendimiento (%) determinado y con los valores estimados de peso verde obtenidos en el modelo de regresión.

El procedimiento utilizando el coeficiente de rendimiento resulta ser rápido y fácil, ya se puede hacer estimación a nivel individuo o grupo de individuos.

Conociendo la densidad de la planta aprovechable por hectárea, se puede determinar la producción de fibra seca.

V. RECOMENDACIONES

El modelo de regresión generado en este estudio se puede emplear en los inventarios para la cuantificación de existencias reales a nivel local y en condiciones climáticas y fisiográficas similares.

Para la aplicación de los cuadros en inventarios se debe de ajustar a los rangos más pequeños para cubrir la variabilidad de las variables existente en la población evaluada, debiendo ser de 0.1 cm para el diámetro basal del cogollo (DB), 1 cm para diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb).

Aun cuando los cuadros son de fácil aplicación, se sugiere aplicar directamente la ecuación generada para mayor precisión en los valores del peso verde del cogollo y aplicarle el coeficiente de rendimiento para la estimación del rendimiento en fibra seca.

Validar la ecuación en campo, seleccionando una cantidad de muestra al azar registrar las medidas del diámetro basal del cogollo (DB) con una cinta métrica, el diámetro promedio de cobertura de la planta (Cb) con una regla de madera, ambos con precisión en cm.

Para estudios posteriores, realizar un premuestreo, para establecer los rangos de variabilidad cuidando tener al menos tres muestras para cubrir la variabilidad, con el fin de evaluar la relación entre variables y el ajuste de la ecuación del modelo.

VI. LITERATURA CITADA

- Avilés C. y M. Torres E. 1991. Tablas de Rendimiento de peso de fibra seca de palma Samandoca en III simposio nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de plantas útiles del Desierto. INIFAP. Saltillo, México.
- Barrena A., V. J. Dancé C. y D. Sáenz Y. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú*. 13(2):1-10.
- 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., L. A. González L., y H. Franco L. 1992. Metodología para evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto Técnico No. 1 SARH-INIFAP-CIRNE. Campo Experimental. "La Saucedá", Saltillo, Coahuila. 22 p.
- Blando, J. L. y S. Baca M. 2001. Determinación del potencial productivo de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr) en el municipio de San Juan de Guadalupe, Dgo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 100-105.
- Caballero A, W. 1985. Introducción a la estadística. Cap. 12. Regresión y Correlación. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Editorial IICA. San José, Costa Rica. pp:256-279.
- Cano P., A., C. A. Berlanga R., D. Castillo Q., O. U Martínez B., y A. Zárate L. 2005. Análisis dimensional y tablas de producción de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) para el estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 18. Coahuila, México. 24 p.

- Castillo Q, D., A. Cano P., y C. A. Berlanga R. 2012. Establecimiento y aprovechamiento de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). CONAFOR. INIFAP. México. 35 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., O. Mares A., y E. E. Villavicencio G. 2011. Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), planta suculenta de importancia económica y social de las zonas áridas y semiáridas de México. Bol. Soc. Lat. y del Caribe. INIFAP, Saltillo, Coahuila. 8(2):6-9.
- Castillo Q., D. 2008. Manejo intensivo de plantaciones de *Agave lechuguilla* para el incremento de fibra en el noreste de México. *In*: Catálogo de recursos forestales maderables y no maderables. SEMARNAT. México. pp: 4-5.
- Castillo Q., D., C.A. Berlanga R., M. Pando M., y A. Cano P. 2008. Regeneración del cogollo de *Agave lechuguilla* Torr., de cinco procedencias bajo cultivo. Revista Ciencias Forestal en México. 33 (103):27-40.
- Castillo, Q. D., T. Sáenz R., L. M. Torres E. y D. Sánchez A. 2009. Tablas de producción para el inventario de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) en el sureste de Coahuila. Revista Ciencia Forestal en México. 34(105):159-174.
- CONABIO. 1995. Climatología. México. Escala 1:100000.
- Cruz C., J. A. y J.G. Medina T., 1988. La Lechuguilla *Agave lechuguilla*. DIF Coahuila.

- Cruz, C., Del Castillo, L., Robert, M. y Ondarza, R. N. (1985). *Biología y aprovechamiento integral del henequén y otros agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
- De la Garza G., J., B. N. Morales S., y B. A. González C. 2013. *Análisis Estadístico Multivariante*. Cap 2. Análisis de regresión múltiple. Mc Graw Hill. México. 32-329 p.
- Eguiarte L, E. y V. Souza. 2007. *Historia Natural del Agave y sus parientes: Evolución y Ecología*. Departamento de Ecología Evolutiva. Instituto de Ecología UNAM. 12-14 p.
- Espinoza E., J. R. y G. Almaguer V. 2007. Estimación de biomasa de órganos aéreos de plantas de manzana. *Revista Chapingo* 13(2): 179-184.
- FAO. 1995. Memoria - Consulta de expertos sobre productos forestales no madereros para América Latina y el Caribe. (Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2354s/t2354s00.HTM>) (Consultado el 28 de enero 2015).
- FAO. 2000. Estado de la información forestal en México. (Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/006/AD398S/AD398S00.HTM>) (Consultado el 29 de enero 2015).
- Fonseca G, W., F. Alice G. y J. M. Rey B. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *BOSQUE* 30(1):36-47.
- García H, E. J., S. de Jesús. Méndez G. y D. Talavera M. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 5:109-129.

- Hair Jr., J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham, y W.C. Black. 2008. Análisis Multivariante. Universidad Autónoma de Madrid. 799 p.
- Harnett L. D. y Murphy L. J. 1987. Traducido por Pereyra S. H. Martínez J. y Solis V. M. Introducción al análisis estadístico.. México. Sistemas Técnicos de Edición, S.A. de C.V. 708 p.
- INEGI - CONAGUA. 2007a. Región Hidrológica de la República Mexicana. Escala 1:250,000.
- INEGI- CONAGUA. 2007b. Cuenca Hidrológica de México. Escala 1:250,000.
- INEGI. 2004. Carta topográfica. G13D59. Coapas. Escala 1:50,000.
- INEGI. 2005a. Carta topográfica. G14C51. Sierra Zuloaga. Escala 1:50,000.
- INEGI. 2005b. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Serie III.
- INEGI. 2009. Diccionario de datos edafológicos. Escala 1:250,000.
- INEGI. 2010. Subcuencas Hidrológicas de México. 2a. Escala 1:50000.
- INEGI. 2011. Diccionario de datos geológicos. Escala 1:50,000.
- INIFAP - CONABIO. 1995. Edafología. México. Escala 1:250000.
- Juárez A., C. A., P. Rodríguez L. 2004. Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. FCF-UANL. Ingenierías. 7(22): 7-19.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LDFS). 2003. Título primero. Capítulo II. Artículo 7. Fracción XVIII, XXIII y XXIX. Sección III. Del aprovechamiento de los

- recursos forestales no maderables. Diario Oficial de Federación (DOF). Actualizado 06 de Marzo de 2015. 80 p.
- Maiti M., R.1995. Fibras vegetales en el mundo. Aspectos botánicos, calidad y utilidad. Trillas. México. 300 p.
- Marroquín J., S. G. Borja L., R. Velásquez C., y J. A. De la Cruz C. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 166 p.
- Martínez B., O. U., D. Castillo Q., y O. Mares A. 2011. Caracterización y selección de sitios para plantaciones de lechuguilla (*Agave lechuguilla Torr.*) en el estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Folleto técnico No. 11. 41 p.
- Mayorga H, E., D. Rössel K., H. Ortiz L., A. R. Quero C., y A. Amante O. 2004. Análisis comparativo en la calidad de fibra de *Agave lecheguilla* torr., procesada manual y mecánicamente. Ensayo. Agrocienca 38:(2)219-225.
- Méndez G., E. 2001. Ecuaciones de biomasa para especies de Matorral Espinozo Tamaulipeco del nordeste de México. Datos con aplicaciones para inventarios de biomasa. Tesis de Maestría. UANL. Linares, Nuevo León. México. 58 p.
- Méndez H., C. A. 2010. Efecto de Cd disuelto en agua en la germinación de semillas y el crecimiento de Plántulas de *Agave lechuguilla* provenientes de zonas con diferente nivel de contaminación por metales. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). San Luis Potosí. México. 64 p.
- Montani T. y C. Busso. 2004. Métodos de estudio de la vegetación. Ecología. Departamento de Agronomía. U.N.S.

- Narcia V., M., D. Castillo Q., J. A. Vázquez R., y C. A. Berlanga R. 2012. Nota de investigación turno técnico de la lechuguilla (*Agave Lechuguilla* Torr.) en el noreste de México. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*. 3(9):81-88.
- Nobel S. P. (1998). Los incomparables agaves y cactus. En *Agaves, alimento y fibra*. Primera edición. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-008-SEMARNAT-1996. Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos. *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. Actualizado 23 de Abril de 2003. 10 p.
- Ostle B. 1981. *Estadística aplicada*. Limusa. México. 629 p.
- Pando M., M., O. Eufrazio, E. Jurado, y E. Estrada. 2004. Post-Harvesting Growth of Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr. *Agavaceae*) in Northeastern Mexico. *Economic Botany*, 58(1):78-82.
- Pando M., M., R. Pulido, D. Castillo, E. Jurado, and J. Jiménez. 2008. Estimating fiber for lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr., *Agavaceae*), a traditional non-timber forest product in México. *Forest Ecology and Management*. 255(11):3686-3690.
- Ramirez T., H. M., C. B. Peña V., y J. Rogelio A. 2014. Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences* 92(1):131-139.
- Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS) 2005. *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. México. 44 p.
- Reyes A, J. A., J. R. Aguirre R., & C. B. Peña V. 2000. Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Bol. Soc. Bot. México* 67: 75-88.

- Robelleo R., H. H. 2002. Manual SAS por computadora: análisis estadístico de datos experimentales. México. Trillas. 208 p.
- Roblero P., E. F. 2012. Modelos de predicción de biomasa y rendimiento de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en poblaciones naturales en Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1a. Ed. Digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 p.
- SAGARPA. 2009. Estudio orientado a identificar los mercados y canales de comercialización internacionales para la oferta de productos de ixtle con valor agregado. Empresa Integradora de Ixtleros de Zacatecas S.A. de C.V. 388 p.
- Segura M. & H. J. Andrade 2008. ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. Agroforestería de las Américas. 46:89-96.
- SEMARNAT. 2003. Productos forestales no maderables. Tuxtla Gtz, Chiapas. 50 p.
- Tapia T., E. C. y R. Reyes C. 2008. Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. Instituto de Ecología. A. C. México. Madera y Bosques 14(3):95-112.
- 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.

- Villareal, 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. Cano P. y X. García C. 2010. Metodología para determinar las existencias de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K) en rodales naturales de Parras de la Fuente, Coahuila. Folleto Técnico No. 2. INIFAP. CIRNE. México. 42 p.
- Zamora-Martínez, M. C., E. Velasco B., D. Castillo Q., y A. Arellano R. 2007. Manual que establece los Criterios Técnicos para el Aprovechamiento Sustentable de Recursos Forestales no Maderables de Clima Árido y Semiárido. SEMARNAT-INIFAP-CIRNE. 38-44 p.
- Zárate L., A. 1991. Análisis dimensional en lechuguilla *In*: III Simposio Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de plantas útiles del Desierto. INIFAP. Saltillo, México.

APÉNDICE I

Programación SAS para estimar los parámetros del modelo 1

Comando	Significado
<code>data rendi;</code>	Se crea un archivo SAS con el nombre de “rendi”.
<code>infile 'F:\datostesis2(1)\lechunuevo.dat';</code>	Leer el archivo lechunuevo.dat, el cual está almacenado extraíble ubicado en la unidad de disco F.
<code>input Hc DBcm DBmm Cb PeV PeSF Vol;</code>	Se indican los nombres de las variables que se van a utilizar.
<code>CbDB=Cb*DBcm;</code>	Se crea una nueva variable denominada CbDB, que es la combinación (multiplicación) de los valores de Diametro promedio de la cobertura de la planta y el Diámetro Basal del cogollo en cm.
<code>if PeV=376 and vol=905.66 then delete;</code>	Se excluye los pares de datos para el análisis. En seguida aparece una lista de variables creadas consideradas para el análisis.
<code>proc rsquare data=rendi;title3 'seleccion de modelos con peso verde sin transformar'; model PeV =CbDB/ cp mse;run;</code>	Se instruye al programa que calcule el coeficiente de determinación, con title se especifica un título, con el model se especifica el modelo. Con cp y mse se instruye al programa genere valores de coeficiente de Mallows y el cuadrado medio del error. Y ejecutar el programa con run .
<code>proc reg data=rendi; title3 'Modelo del Peso verde sin tranformacion'; model PeV= CbDB; output out=pred1 p=pv_hat press=press r=rpv l95=l95 u95=u95 l95m=l95m u95m=u95m rstudent=rstu;</code>	Se realiza un procedimiento de regresión del archivo llamada “rendi”, con titulo especificado. Se obtiene un análisis de varianza donde se estiman los parámetros del modelo 1 y los criterios. Teniendo a “PeV” como variable de respuesta y “CbDB” como variable explicativa. Se crea un archivo denominado “pred1” y se renombran variables “ p ” (predichos), “ press ” (error de predicción de la suma de cuadrados), “ r ” (residuales), “ l95 ” (limite inferior), “ u95 ” (límite superior) y “ rstudent ” (residual studentizado).
<code>data reg1; set pred1; pres_sqh=press**2; abspress=abs(press);</code>	Se crea un archivo SAS con el “reg1”, se llama el archivo “pred1”, se crea variable “pres_sqh” (press elevado al cuadrado) y “abspress” (valor absoluto de press).
<code>proc print; var press pres_sqh abspress rpv ; sum press pres_sqh abspress rpv;run;</code>	Se instruye al programa que imprima las variables de “press” “pres_sqh” “abspress” y “rpv”. Con sum haga las sumatorias de las variables, y run

para que se ejecute el programa.

```
proc univariate normal plot data=pred1;  
var rpv; run;
```

Se hace la prueba de normalidad para los residuales y se genera una gráfica del archivo denominado “pred1”, se ejecuta el programa.

```
proc plot data=pred1; plot rpv*pv_hat='*' /  
VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60  
VPOS=40; plot rstu*pv_hat='*' /  
VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60  
VPOS=40; run;
```

Se hace una gráfica del archivo residual “pred1” con las variables “rpv” (eje de las X) y “pv_hat” (eje de las Y), con valor de referencia estandarizada a **-2.5 0 +2.5**, una gráfica residual estudentizada con valores de **-2.5 0 +2.5** y se ejecuta el programa.

```
proc plot data=pred1; plot PeV*Vol='O'  
pv_hat*Vol='P' I95*Vol='l' u95*Vol='u'  
I95m*Vol='m' u95m*Vol='m' /  
HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY; run;
```

Se hace una gráfica a partir de los valores de PeV*Vol, (observados con volumen) y pv_hat*Vol (predichos con volumen) con límites sus límites de confianza y con el comando **OVERLAY** se instruye al programa que los valores se muestren en una sola gráfica.

```
proc sort data=pred1; by rstu PeV Vol  
pv_hat;
```

Se ordenan los datos del archivos “pred1” considerando a las variables tomando en cuenta rstu PeV Vol pv_hat.

```
proc print data=pred1; var rstu PeV Vol  
pv_hat; run;
```

Se ordena al programa que imprima en pantalla los valores ordenados de las variables rstu PeV Vol pv_hat, y que se ejecute la programación.

APÉNDICE II

Formato 1. Datos dasométricas de *Agave lechuguilla*

Estado _____ Municipio _____ Ejido _____

Predio _____ Evaluador _____ Fecha _____

Punto	Coordenadas	No. Plantas	D (m)	Hc (cm)	DB(cm)	Cb(cm)	PeV (g)	PSF (g)	Exposición	Altitud
		1								
		2								
		3								
		4								
		1								
		2								
		3								
		4								
		1								
		2								
		3								
		4								
		1								
		2								
		3								
		4								

Punto: punto central de muestro-

D (m): Distancia entre el centro del punto central y la planta más cercana seleccionada.

Hc (cm): Altura del cogollo o longitud del cogollo medida en centímetros.

DB (cm): Diámetro basal del cogollo medido en centímetros.

Cb (cm): Diámetro promedio de cobertura de la planta (corona)

PeV (g): Peso verde del cogollo expresado en gramos.

PSF (g): Peso seco de la fibra expresado en gramos.