inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderables
LECHUGUILLA

Efraín Velasco Bautista Alberto Arredondo Gómez
Marisela Cristina Zamora-Martínez Francisco Moreno Sánchez

Manual Técnico Núm. 2 CENID-COMEF Noviembre 2009

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. Arturo Cruz Vázquez
Encargado del Despacho de la Coordinación de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial Alfredo García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE ECOSISTEMAS FORESTALES

Dr. Fabián Islas Gutiérrez
Director

Ing. Ramón Noguez Hernández
Jefe de Operación

Lic. Carlos Gabriel Damián Díaz
Jefe del Departamento Administrativo

MODELOS PREDICTIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES: LECHUGUILLA

CRÉDITOS EDITORIALES

Edición Técnica:
Dr. Gustavo Cruz Bello
Ing. Franciso Camacho Morfín

Cuidado de la Edición:
Biól. Marisela C. Zamora-Martínez

Diseño
Graphx, S.A. de C.V.

Fotografía
Biól. Alberto Arredondo Gómez
M.C. Efraín Velasco Bautista

Mapas
M.C. Francisco Moreno Sánchez

La cita correcta es:

Velasco B, E., A. Arredondo G., M. C. Zamora-Martínez y F. Moreno S. 2009. Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderables: Lechuguilla. Manual Técnico Núm. 2. CENID-COMEF. INIFAP, México, D.F. México, 56 p.

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

Derechos Reservados © 2009
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Av. Progreso No. 5 Barrio de Santa Catarina, Del. Coyocán
C.P. 04010 México, D.F.
Tel. (0155)36268700 ext. 406 y 301
Primera edición 2009
1000 ejemplares

Impreso en Graphx, S.A. de C.V., Tacuba 40-205, Col. Centro México. D.F. 06010. La edición se terminó de imprimir en marzo de 2010.

ISBN: 978-607-425-286-6

MODELOS PREDICTIVOS PARA LA PRODUCCION DE PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES: LECHUGUILLA

M.C. Efraín Velasco Bautista
Investigador Titular. Red Nacional de Investigación e Innovación de Modelaje.CENID-COMEF

Biól. Alberto Arredondo Gómez
Investigador Titular. Red Nacional de Investigación e Innovación de Manejo Forestal Sustentable CIR-NORESTE. CAMPO EXPERIMENTAL SAN LUIS

Biól. Marisela C. Zamora Martínez
Investigadora Titular. Red Nacional de Investigación e Innovación de Manejo Forestal Sustentable. CENID-COMEF

M.C. Francisco Moreno Sánchez
Investigador Titular. Red Nacional de Investigación e Innovación de Modelaje. CENID-COMEF

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales

Manual Técnico Núm. 2 Diciembre de 2009

CONTENIDO

RESUMEN.....7
INTRODUCCIÓN..... 9
Normatividad.....15
Biometría.....15
OBJETIVOS.....17
MODELO PREDICTIVO.....17
Definición del área de estudio.....17
Descripción de los predios.....18
Tamaño de muestra..... 20
Diseño de muestreo..... 21
Obtención de la altura, diámetro basal y peso seco del cogollo.....25
Base de datos.....26
Generación del modelo predictivo.....26
Validación del modelo.....38
Ventajas y desventajas del modelo generado.....41
RECOMENDACIONES.....41
REFERENCIAS.....42
APÉNDICE 1.....45
Tabla de producción del predio Coronado
APÉNDICE 2.....49
Tabla de producción del predio El Coyote
APÉNDICE 3.....53
Tabla de producción del predio Puerto Clavellinas

RESUMEN

En la última década los Productos Forestales No Maderables (PFNM) han sido reconsiderados como elementos relevantes del manejo integral de los ecosistemas forestales; ya que su recolecta contribuye a disminuir la presión sobre las comunidades arbóreas y en consecuencia son factor importante en la conservación de las mismas. Para el caso particular de las zonas áridas constituyen los principales recursos disponibles. En México, la Comisión Nacional Forestal ha definido a la lechuguilla como uno de los diez PFNM de mayor importancia.

El aprovechamiento de la lechuguilla en la zona norte del país se practica, en general, sobre la base del conocimiento empírico y sin técnicas de manejo que garanticen su conservación. Son pocos los predios con tablas de producción para estimar la cantidad de lechuguilla susceptible de recolectarse. Lo anterior es resultado de la falta de investigaciones regionales que hayan generado herramientas para predecir el peso seco de la fibra a partir de variables fáciles de medir.

En este contexto, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), conscientes de la necesidad que tienen las dependencias gubernamentales y los prestadores de servicios técnicos forestales de contar con modelos prácticos para estimar la producción por unidad de superficie y dar seguimiento al aprovechamiento de la lechuguilla, presentan este manual sobre la generación de modelos para la predicción del peso seco de la fibra de lechuguilla a partir de las variables diámetro basal y altura del “cogollo”. La explicación conceptual se ejemplifica con el procesamiento de datos tomados en tres ejidos de San Luís Potosí, durante el año 2008.

INTRODUCCIÓN

La recolecta de los recursos forestales no maderables (RFNM) de los ecosistemas áridos y semiáridos se realiza en el Desierto Chihuahuense que incluye los estados de Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Chihuahua, Nuevo León, Coahuila; así como el Desierto Sonorense en el estado de Sonora y la Península de Baja California. La producción en menor escala se concentra en el Estado de México, Oaxaca, Puebla, Hidalgo y Tamaulipas. Se estima que toda el área de distribución cubre una superficie de 58.5 millones de hectáreas, mismas que representan 30% del territorio nacional. Los PFNM de climas áridos y semiáridos más importantes son: lechuguilla, candelilla, orégano, sotol, yuca, agaves, jojoba, gobernadora y cortadillo (Zamora-Martínez *et al.,* 2001).

En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), dentro de su Plan Estratégico de Comercialización incluye como productos forestales no maderables (PFNM) de mayor importancia a los siguientes: resina de pino, palma camedor, candelilla, orégano, **lechuguilla**, hongos silvestres comestibles, jojoba, chicle, guayule y palmilla (CONAFOR, 2006).

Una de las especies forestales no maderables sujetas a recolecta en las regiones áridas y semiáridas de México es *Agave lechuguilla* Torr. (lechuguilla), 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 obtienen en promedio 1.87 kg ha^{-1} de fibra seca (Reyes-Agüero *et al*., 2000; Mayorga-Hernández *et al*., 2004). Presenta una amplia distribución en el Desierto Chihuahuense.

La planta de lechuguilla tiene el aspecto de un pequeño maguey, la roseta mide de 45 a 65 (95) cm de alto. Las hojas jóvenes son de color verde blanquecino y las maduras verde claro a amarillo verdoso, su longitud varía de 0.20 a 0.50 metros de acuerdo a la región, presentan márgenes dentados y con una espina terminal fuerte, cónica, de color café rojiza. La parte central de la planta, está formada por las hojas más jóvenes que al crecer forman el “cogollo”, conjunto donde se cosechan las hojas para tallarse y del que se saca la fibra de mejor calidad (Figura 1).

Agave lechuguilla es perennifolia, alcanza la madurez fisiológica entre los cuatro y seis años e inmediatamente después emite su escapo floral conocido como “quiote” y muere (condición semelpárica); no obstante, si la planta es sometida a un aprovechamiento adecuado, sin dañar el meristemo apical, su vida puede prolongarse hasta los 15 ó 20 años (Sheldon, 1980).

La recolecta de los “cogollos” se realiza a partir de individuos con una altura mínima de 25 cm y antes de que se desarrolle el escapo floral, llamado “quiote” o “garrocha”. El corte se efectúa con un instrumento rústico denominado “cogollera” (Figura 1). Los cogollos se depositan en una “huajaca” o “huacal” y se transportan a los centros de acopio, donde se realiza el tallado (Figura 2).

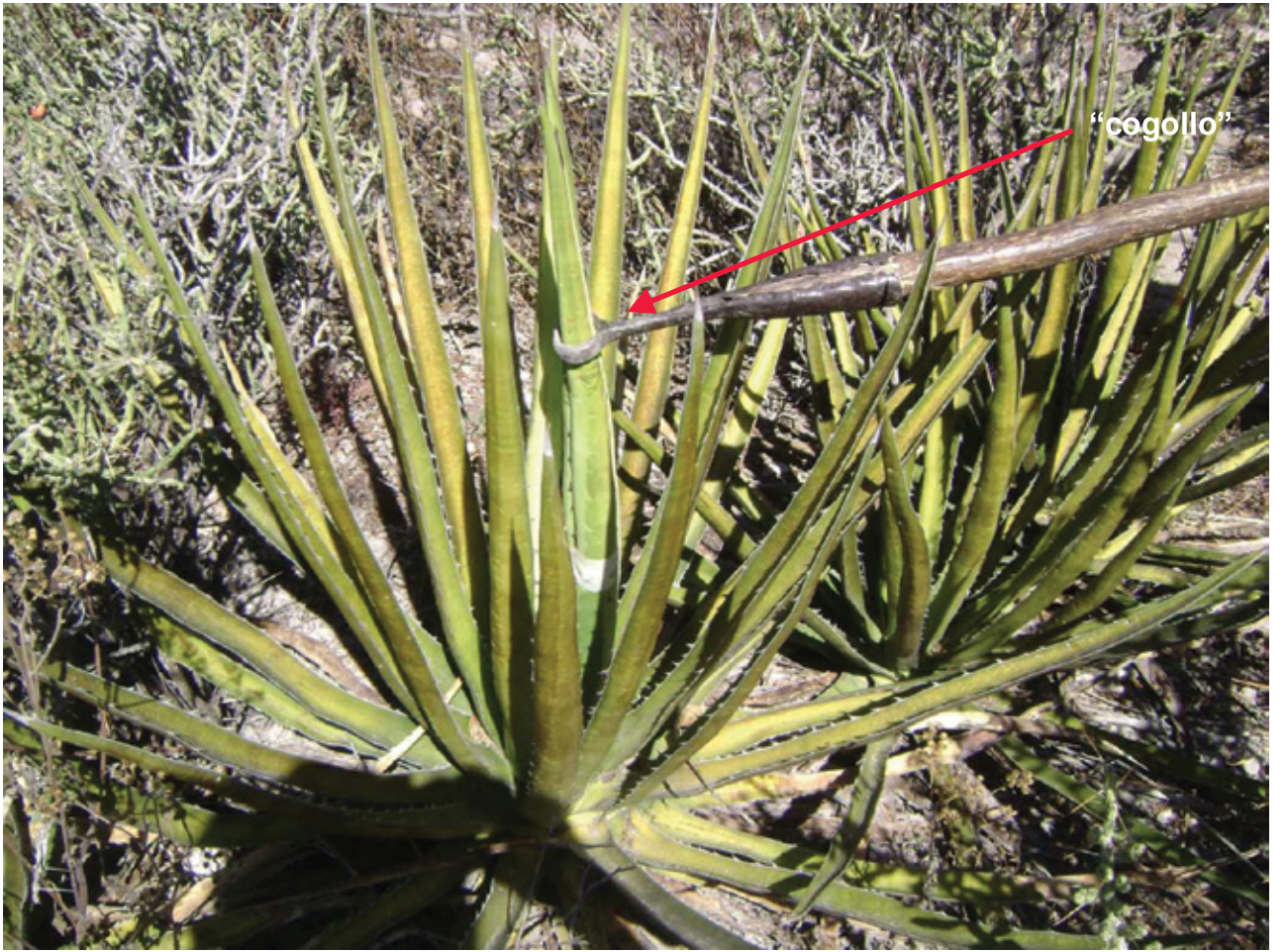


Figura 1. Aspecto general de la planta (*Agave lechuguilla* Torr.)

Figura 2. Transporte de los “cogollos” recolectados en “huajaca” o “huacal”.

Figura 3a. Preparación de muestras (cogollos) para tallado.

Figura 3b. Tallado manual de la fibra con “tallador” y “banco de madera”.

El tallado tradicional de la fibra es a mano, para ello se usa el “tallador”, que presiona las hojas contra un trozo de madera (banco) con la ayuda del bolillo más grueso, separa el tejido o “guishe” de la fibra. Actividad denominada “despunte” (figuras 3a y 3b).

Secado de la fibra

El proceso de secado de la fibra, en forma tradicional, se realiza “tendiéndola” sobre el piso de concreto y expuesta directamente al sol durante un periodo de uno a dos días, en condiciones de cielo despejado. Hasta que al tacto se perciba libre de humedad (Figura 4).

Figura 4. Secado de la fibra al aire libre.

La industria de fibras duras ha sido revalorada después de ser desplazada por los elementos plásticos. La fibra de lechuguilla (ixtle) se exporta a países de Europa, Asia, Norte y Sudamérica. Se utiliza para elaborar varios productos de uso industrial como cepillos para pulir metales; para relleno de muebles y asientos; elaborar

tapetes y alfombras; al mezclarse con resinas se emplea en la fabricación de puertas, techos, paredes, láminas, estantería y mobiliario (Mayorga-Hernández *et al*., 2004; Zamora-Martínez *et al*., 2007).

Normatividad

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), establece que para el aprovechamiento de los recursos forestales no maderables únicamente se requiere de un aviso por escrito a la autoridad competente (ART. 97 de la LGDFS), al cual se debe adjuntar un estudio técnico que contenga, entre otros aspectos, la especie y la estimación de las existencias reales de la especie o de sus partes por aprovechar en metros cúbicos, litros o kilogramos (ART. 53 del Reglamento de la LGDFS) (SEMARNAT, 2005).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SEMARNAT-1996 establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento transporte y almacenamiento de "cogollos" que deberán cumplir los interesados en el aprovechamiento del recurso. Dicha norma en la sección 4.1.1 apartado V, cita que la notificación debe incluir la superficie, especies y cantidad estimada en toneladas por aprovechamiento, incluyendo sus nombres comunes y científicos. En la sección 4.1.6 apartado IV, indica que para el aprovechamiento de "cogollos" de lechuguilla, la madurez de cosecha se identificará por la longitud del "cogollo", cuyo valor mínimo será de 25 cm.

Biometría

En general, para lograr un manejo forestal sustentable de los RFNM es necesario conocer el ámbito geográfico en donde se distribuye el recurso, su situación actual; además de, su capacidad de producción.

Las existencias reales del producto forestal no maderable de interés se estiman a través de alguna estrategia de muestreo, en la que comúnmente, las unidades de muestreo son parcelas de área fija y los individuos o ejemplares de la especie por evaluar constituyen las unidades de estudio.

La evaluación de la producción de los recursos forestales maderables se efectúa mediante ecuaciones para predecir el volumen a nivel de las unidades de estudio (árboles), a partir de variables fáciles de medir. En el caso de los recursos forestales no maderables, es posible utilizar modelos similares con el mismo propósito.

Al respecto, los modelos predictivos considerados en el presente documento se definen como ecuaciones que estiman el valor de una variable dependiente, en función de una o varias independientes y ofrecen las siguientes ventajas en el campo de la biometría forestal:

- La variable por estimar está altamente correlacionada con otras características del recurso sujeto al aprovechamiento, por lo tanto, el valor determinado con un modelo predictivo que considera variables auxiliares resulta más preciso que una simple media aritmética.

- Calculan la variable dependiente con base en otras de medición sencilla, en consecuencia el tiempo requerido para realizar el trabajo de campo disminuye significativamente.

- Los modelos o ecuaciones de predicción son de fácil aplicación, únicamente se necesita conocer el valor de las variables independientes.

- La estimación se hace "a priori", es decir, se puede conocer antes del aprovechamiento de la especie objeto de estudio.

- Dado que es un método no destructivo su impacto ecológico es menor.

Si bien es cierto, que los modelos de predicción son comunes en la evaluación de recursos forestales maderables, para los no maderables sólo existen intentos aislados para la generación de este tipo de herramientas dasonómicas.

Para el caso particular de la lechuguilla, Berlanga *et al*. (1992), elaboraron en el estado de Coahuila una tabla de producción para determinar la biomasa del "cogollo" partir de su altura y diámetro basal. Con el inconveniente que para transformar el valor obtenido al peso seco de la fibra es necesario aplicar factores en función del tipo de tallado del "cogollo", sí es manual (6.2%) o en máquina (8%). 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.

Otros autores, han desarrollado modelos matemáticos en diversas localidades de Coahuila para estimar la biomasa del "cogollo", a partir de variables como: su altura, diámetro, número de hojas y el cálculo de su volumen, con este último los valores de la r^2 obtenidos son del orden de 0.761 a 0.909 (Zárate *et al*., 1991; Pando-Moreno *et al*., 2004). Respecto a la predicción de la producción de fibra seca por planta, se pueden citar a Blando-Navarrete y Baca (2001) y Pando-Moreno *et al*. (2008), quienes generaron modelos con coeficientes de determinación de 0.761 y 0.869, en el primer caso las variables independientes fueron la cobertura de la planta y el número de hojas aprovechables; en tanto que para el segundo valor se usaron la altura y el diámetro del "cogollo".

OBJETIVOS

- Mostrar el método para la generación de modelos predictivos del peso seco de la fibra de lechuguilla a partir del diámetro basal y la altura del “cogollo”.

- Proporcionar tablas para estimar el peso seco de la fibra de lechuguilla en tres condiciones ecológicas del N-NE de San Luis Potosí.

MODELO PREDICTIVO

Definición del área de estudio

La definición del área de estudio requiere especial atención debido a que la aplicación espacial del modelo generado sólo es válida en el área geográfica donde se obtienen los datos de campo. El uso de modelos fuera del ámbito geográfico recomendado puede conducir a una sub o sobreestimación del valor real del peso seco de la fibra de lechuguilla.

Por lo anterior, la elaboración del mapa base del área de trabajo es el primer punto a considerar para la generación de cualquier modelo predictivo. Para tal efecto, se utilizan fotografías aéreas digitales e imágenes satelitales. De no tener acceso a cualquiera de ellas, es posible usar la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación SERIE III del INEGI (INEGI, 2005).

Las fotografías aéreas digitales permiten identificar zonas de “matorral rosetófilo” en escalas relativamente finas. En este caso el usuario realiza la zonificación mediante interpretación directa y en función de ella elabora el mapa base. Cuando se utilizan las imágenes de satélite, el punto inicial consiste en generar la cartografía de uso de suelo y vegetación, para lo cual se emplean técnicas de percepción remota conocidas como clasificación de imágenes: supervisada y no supervisada. En la primera, se considera el conocimiento previo del área de estudio y trabajo de campo; mientras que, en la segunda se aplica software especializado (p.ej. ERDAS Imagine ®), para obtener agrupaciones de acuerdo a similitudes entre pixeles. En ambas técnicas el principio fundamental son las propiedades reflectantes de la vegetación, que permiten al software separarla en tipos. El grado de detalle y la exactitud de la clasificación depende de la clase de sensor y de la resolución del mismo, los que la definen al menos a nivel de género botánico, por ejemplo, asociación de *Agave lechuguilla – Larrea tridentata*.

Si la información disponible es la del INEGI, el punto de partida para la generación del mapa base es la elección de la categoría “matorral rosetófilo”. No obstante que, el detalle de la información es poco fino (1:250,000), tiene la ventaja de que los tipos de vegetación están definidos para todo el país. El manejo de la información vectorial

de INEGI se puede hacer con un Sistema de Información Geográfica, como ArcView, IDRISI, GRASS, entre otros.

Descripción de los Predios

Los datos de campo usados para ejemplificar la generación del modelo predictivo se obtuvieron en tres predios forestales: San Antonio Coronado, mpio. Catorce, El Coyote y Puerto de Clavellinas, mpio. Guadalcázar, San Luis Potosí (Figura 5). La vegetación en las tres localidades corresponde a matorral rosetófilo, cuyas especies principales son *Agave lechuguilla* y *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. (Cuadro 1).

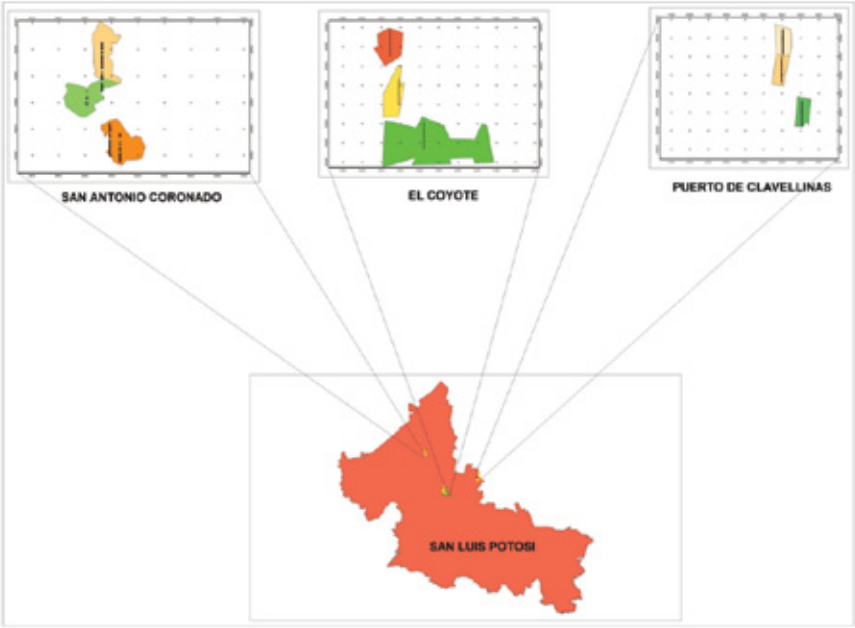


Figura 5. Ubicación de los predios de San Antonio Coronado, mpio. Catorce, El Coyote y Puerto de Clavellinas, mpio. Guadalcázar, San Luis Potosí.

Cuadro 1. Descripción topográfica y ecológica de los sitios de muestreo para la generación del modelo predictivo de la producción de fibra seca de lechuguilla en San Luis Potosí.

Vegetación	Intervalo altitudinal (m)	Clima	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Edafología	Región fisiográfica
San Antonio Coronado, mpio. Catorce						
Matorral rosetófilo • *Agave lechuguilla* • *Euphorbia antisyphilitica* • *Dasylirion acrotriche* (Shiede) Zucc.	2,000-2,200	BS_0kw Árido, templado, con lluvias de verano, lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual	300 a 400	16-18	Xg/2pc Xerosol gypsico, textura media, con fase física petro-cálcica	Sierra y llanuras occidentales
El Coyote, mpio. Guadalcázar						
Matorral rosetófilo • *Agave lechuguilla* • *Euphorbia antisyphilitica* • *Yucca faxoniana* (Trel.) Sarg. • *Agave striata* Zucc.	1500-2250	BS_0hw Árido, cálido, con lluvias en verano del 5 al 10.2% anual	300 a 400	16-18	Xg+I/2 Xerosol gypsico, y Litosol textura media fase física pedregosa fase química salino sódica	Sierra y llanuras occidentales

continúa Cuadro 1...

continuación Cuadro 1...

Vegetación	Intervalo altitudinal (m)	Clima	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Edafología	Región fisiográfica
Puerto de Clavellinas mpio. Guadalcázar						
Matorral rosetófilo • *Agave lechuguilla* • *Euphorbia antisyphilitica* • *Hechtia glomerata* Zucc. • *Yucca faxoniana* • *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville • *Opuntia leptocaulis* DC.	1550-1770	BS_0hw Árido, cálido, con lluvias en verano del 5 al 10.2% anual	300 a 400	15-17	I+Xg/2 Litosol y Xerosol gypsico, textura media fase física pedregosa fase química salino sódica	Sierra y llanuras occidentales

Tamaño de muestra

En virtud de que la normatividad forestal plantea el requerimiento del peso seco de la fibra de lechuguilla por unidad de superficie, el muestreo se realizará en una parcela de área fija. Dado que el peso seco total en ella resulta de la suma de los valores correspondientes a cada uno de los ejemplares de lechuguilla (de talla comercial) presentes, el objetivo final es obtener el peso seco de la fibra por “cogollo”.

Para la generación del modelo se recomienda aplicar un muestreo con cuadrantes de punto central, en donde se mide el individuo aprovechable existente en cada uno y más cercano al centro. Los cuadrantes se identifican con los números del uno al cuatro, en el sentido de las manecillas del reloj (Figura 6).

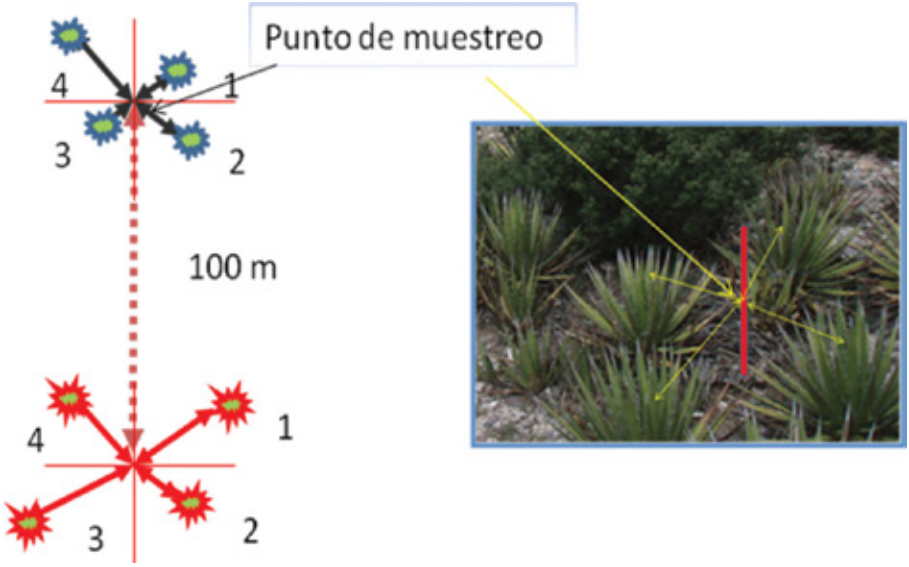
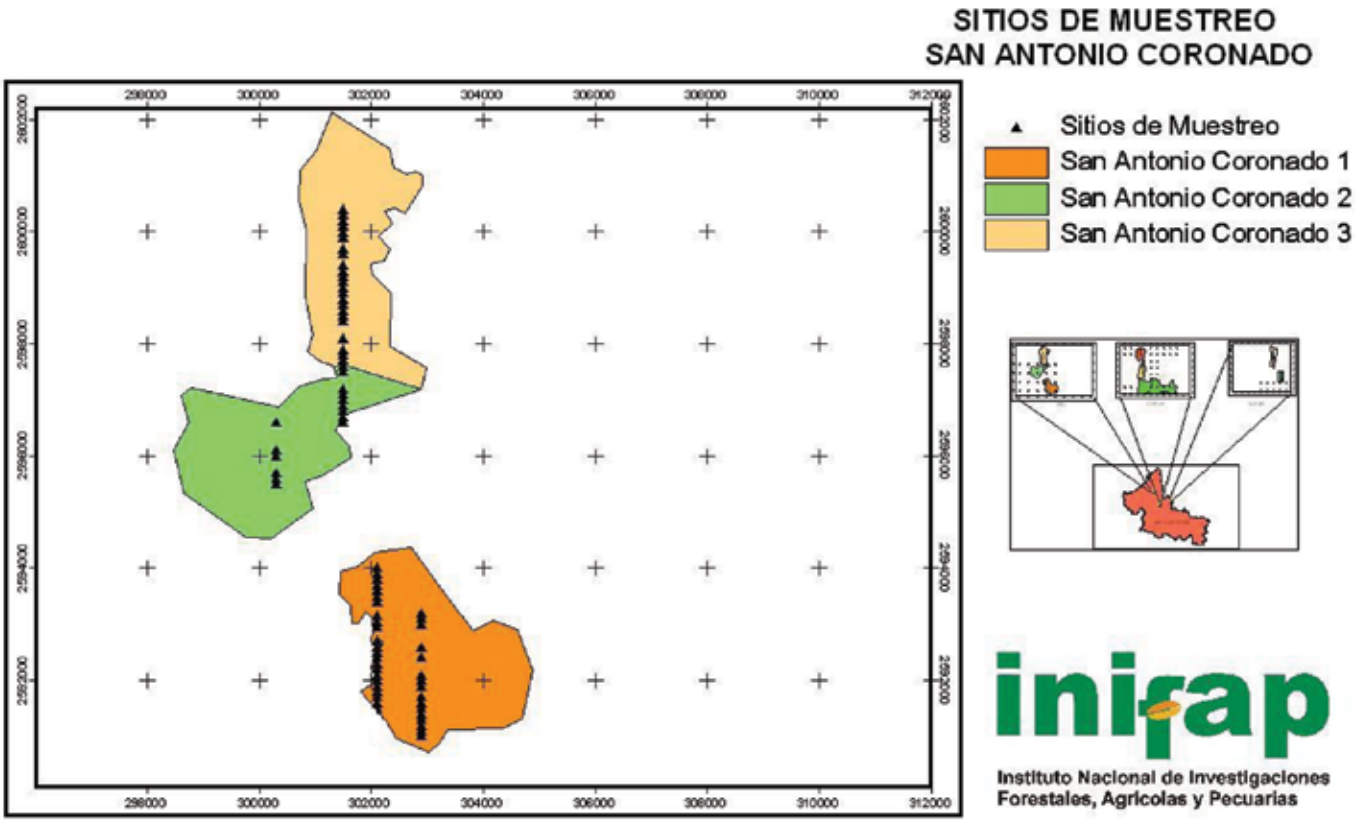


Figura 6. Evaluación de plantas de lechuguilla mediante muestreo de punto central.

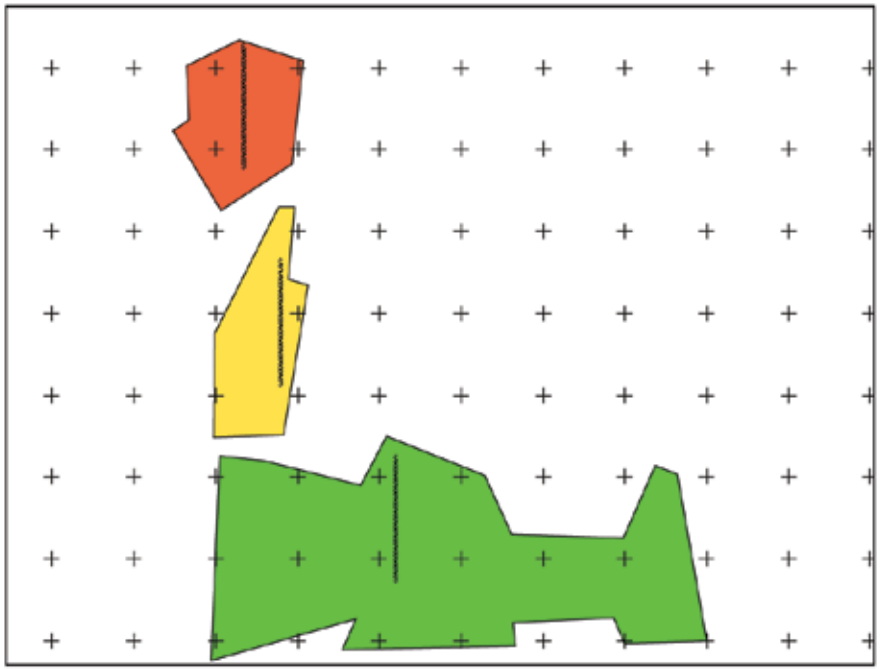
Diseño de muestreo

La cantidad de unidades de muestreo, como las descritas en las líneas anteriores, debe ser por lo menos de 60, número que garantiza el cumplimiento del supuesto de normalidad de los errores del modelo de regresión (Montgomery *et. al*., 2004). De hecho, si en cada punto de muestreo se evalúan cuatro plantas (una por cuadrante) se tendrán 240 observaciones para la estimación de los parámetros del modelo de regresión.

Al considerar que las plantas de lechuguilla se distribuyen espacialmente al azar, al menos en algún grado, el muestreo aleatorio es equivalente al sistemático (Scheaffer *et al*., 1987). Dado que este último se aplica en campo con relativa facilidad, se recomienda establecer las unidades de muestreo siguiendo un patrón de transecto con unidades muestrales a equidistancias mínimas de 100 m (figuras 7a, 7b, 7c). Por supuesto, que la pertinencia de la distribución de líneas de muestreo depende fuertemente de las áreas de aprovechamiento, puesto que la evaluación de los cogollos demanda la destrucción de la planta. La localización de los puntos de muestreo en campo se facilita mediante el uso de GPS.



7a San Antonio Corornado



SITIOS DE MUESTREO
EL COYOTE

Sitios de Muestreo

El Coyote 1

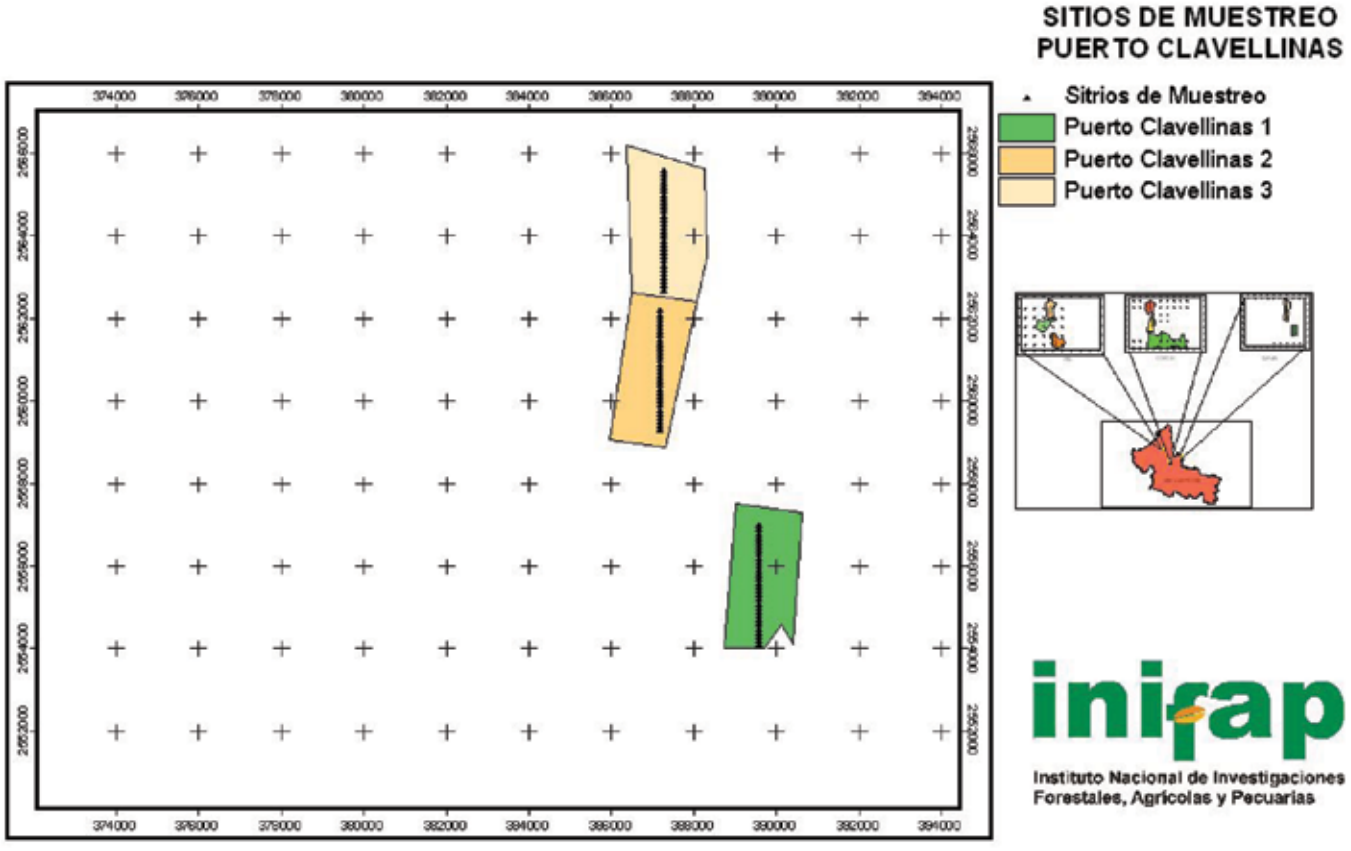
El Coyote 2

El Coyote 3

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

7b El Coyote



7c Puerto Clavellinas

Figura 7. Unidades de muestreo con distribución sistemática en los tres predios evaluados en San Luis Potosí.

Obtención de la altura, diámetro basal y peso seco del “cogollo”

En general, es posible modelar el “cogollo” como un cono, cuya altura (cm) y diámetro basal (mm) son variables que se consideran buenos predictores del peso seco de la fibra. Ambas se obtienen de manera fácil y directa con cintas métricas graduadas en milímetros (Figura 8). El peso fresco de la fibra se determina con una balanza digital electrónica portátil.

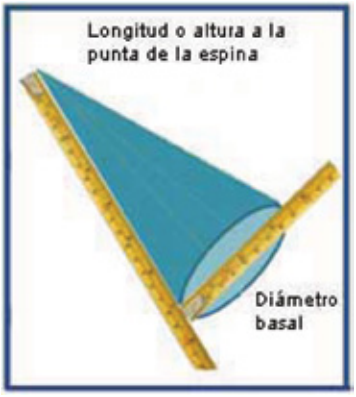


Figura 8. Representación esquemática del diámetro basal y de la altura del “cogollo” de lechuguilla.

Peso seco de la fibra

Se recomienda el uso de una balanza digital con capacidad 3,000 g x 0.05 g (Figura 9). El peso considerado corresponde a cada uno de los “cogollos”, previamente medidos, es decir, el registro se hace por planta.

Figura. 9. Pesado de la fibra seca de cada unidad de estudio (planta).

Base de datos

La información de campo se ordena en un cuadro, para lo cual se sugiere utilizar un programa de cómputo (Excel, SAS, entre otros), en el que las columnas (campos) corresponden a los valores del diámetro basal (mm) y la altura total (cm); mientras que, los registros (hileras) están definidos por los diferentes ejemplares evaluados, integrados dentro de las unidades de muestreo. Otras variables de clasificación, como el ejido o el predio, pueden incluirse en la base de datos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Formato para la integración de la base de datos de campo.

Unidad de muestreo		Diámetro basal (mm)	Altura total (cm)	Peso seco fibra (g)
Número de planta				
1	1			
	2			
	3			
	4			
2	1			
	2			
	3			
	4			
3	1			
	2			
	3			
	4			
4	1			
	2			
	3			
	4			
n	1			
	n			

Generación del modelo predictivo

En estas condiciones, es posible generar un modelo de regresión múltiple, en el cual la variable dependiente es el peso seco de la fibra y las variables independientes son el diámentro basal y la altura total del cogollo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables consideradas para la generación del modelo de regresión.

Tipo de variable	Clave	Descripción
Dependiente (*y*)	PSFIBRA	Peso seco de la fibra (g).
Independiente (x_1)	DIABASCM	Diámetro basal del “cogollo” (cm)*.
Independiente (x_2)	ALTTOTAL	Altura total del “cogollo” (cm).

*Aun cuando esta variable se registra en milímetros es conveniente para fines de modelado convertirla a centímetros.

En general se trata de un modelo de regresión múltiple de la siguiente forma:

$$y = ß_0 + ß_1x_1 + ß_2x_2 + ß \qquad (1)$$

Donde:

y = Variable de interés (peso seco de la fibra de lechuguilla)

x’s = Variables independientes (Cuadro 3)

ß = Variables aleatorias normales e independientes con media 0 y varianza desconocida, pero constante.

Las características de las variables aleatorias (ε) representan los supuestos del modelo, cuyo cumplimiento deberá verificarse. En todo momento hay que tener presente que el nivel de estimación es el “cogollo”, es decir, a partir de su diámetro basal y altura con el modelo generado se estimará el peso seco de la fibra correspondiente a ese “cogollo”, en particular.

Un modelo de uso común, por sus propiedades estadísticas, en el campo de la biometría forestal es el de Schumacher, cuya expresión algebraica es la siguiente:

$$y = ß_0x_1^{ß1} + x_2^{ß1} + ß + \varepsilon \qquad (2)$$

Mediante la función logaritmo natural es posible transformarlo a su forma linear, de tal manera que sea similar al modelo (1) y los parámetros se estiman con base en los de la teoría de la regresión lineal (Martínez y Martínez, 2002):

$$\ln y = \ln (ß_0 x_1^{ß1} x_2^{ß2}\ \mathcal{E}) = \ln(ß_0) + \ln (x_1^{ß1}) + \ln (x_2^{ß2}) + \ln (\mathcal{E})$$

$$= \ln (ß_0) + ß_1 \ln (x_1) + ß_2 \ln (x_2) + \ln (\mathcal{E}) \qquad (3)$$

Entonces, se tiene:

$$y^* = ß_0^* + ß_1 x_1^* + ß_2 x_2^* + \mathcal{E}^* \qquad (4)$$

Donde:

$$y^* = \ln y,\ \ ß_0^* = \ln (ß_0),\ x_1^* = \ln (x_1),\ x_2^* = \ln (x_2),\ \mathcal{E}^* - \ln (\mathcal{E})$$

Es importante señalar que después de aplicar mínimos cuadrados ordinarios al modelo (4), se obtiene el logaritmo natural de $ß_0$ estimado, por lo que se utiliza la función **exp** para calcular $ß_0$ estimada y poder usar una expresión equivalente al modelo (2).

$$\hat{y} = \hat{ß}_0\, x_1^{\hat{ß}_1} x_2^{\hat{ß}_2}$$

Donde:

$\hat{ß}_0 = \exp (ß_0^*)$

$\hat{ß}_0$ y $\hat{ß}_1$ se obtienen directamente por mínimos cuadrados ordinarios.

Por lo tanto, es necesario transformar las variables indicadas en el Cuadro 3 mediante logaritmo natural (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variables transformadas para la generación del modelo de regresión.

Tipo de variable	Clave	Descripción
Dependiente (y^*)	LOGPSFIBRA	Peso seco de la fibra (g) transformada con logaritmo natural.
Independiente (x_1^*)	LOGDIABASCM	Diámetro basal del “cogollo” (cm)* transformada con logaritmo natural.
Independiente (x_2^*)	LOGALTTOTAL	Altura total del “cogollo” (cm) transformada con logaritmo natural.

*Aún cuando esta variable se registra en milímetros es conveniente para fines de modelado convertirla a centímetros.

En cualquier paquete estadístico que contenga el módulo de regresión múltiple es factible estimar los parámetros del modelo (4); aunque por su popularidad en el campo de la estadística aplicada y la facilidad con que se realizan los análisis estadísticos, se recomienda el uso de Statistical Analysis System (SAS). Sobre el particular, existen varios trabajos publicados, razón por la cual para los detalles de la sintaxis de dicho paquete computacional, se remite al lector a las obras de Herrera y Barrera (2001) o Der y Everitt (2002).

A continuación se muestra el programa en SAS para la generación de un modelo que estime del peso seco de la fibra de lechuguilla con los datos obtenidos en el Ejido San Antonio Coronado, municipio Catorce, San Luis Potosí, durante el año 2008 (Figura 7a). Los modelos correspondientes a los otros dos predios se obtuvieron de manera similar, pero por razones didácticas sólo se presenta un ejemplo; no obstante, al final se proporcionan las tablas de producción para cada uno de los predios muestreados (apéndices 1, 2 y 3).

En la figura 10 se muestra la base de datos de las variables registradas en el Ejido Coronado. En el programa SAS, con DATA CORON se le avisa al sistema que genere un archivo que se llame CORON. Con INPUT se le indica al sistema el nombre de las variables de la base de datos, así EJIDO se refiere a los datos que se colectaron en el Ejido Coronado; RODAL designa a una unidad geográfica homogénea llamada “rodal”; PUNTO identifica a la unidad de muestreo; COORX y COORY, se refieren, respectivamente, a la coordenada X y Y de los puntos de muestreo; PLANTA corresponde a los ejemplares de lechuguilla que fueron evaluados en cada punto de muestreo; DISTANCIA es la que existe del centro de muestreo; a la planta evaluada; DIABASAL es el diámetro basal del “cogollo” (mm); ALTTOTAL es la altura total del “cogollo” (cm) y PSFIBRA es el peso seco de la fibra (g). Desde luego que la estructura de esta base de datos permite integrar a otros ejidos y a otros rodales. Como se indicó con anterioridad las tres variables de importancia estadística ahora son DIABASAL, ALTTOTAL y PSFIBRA.

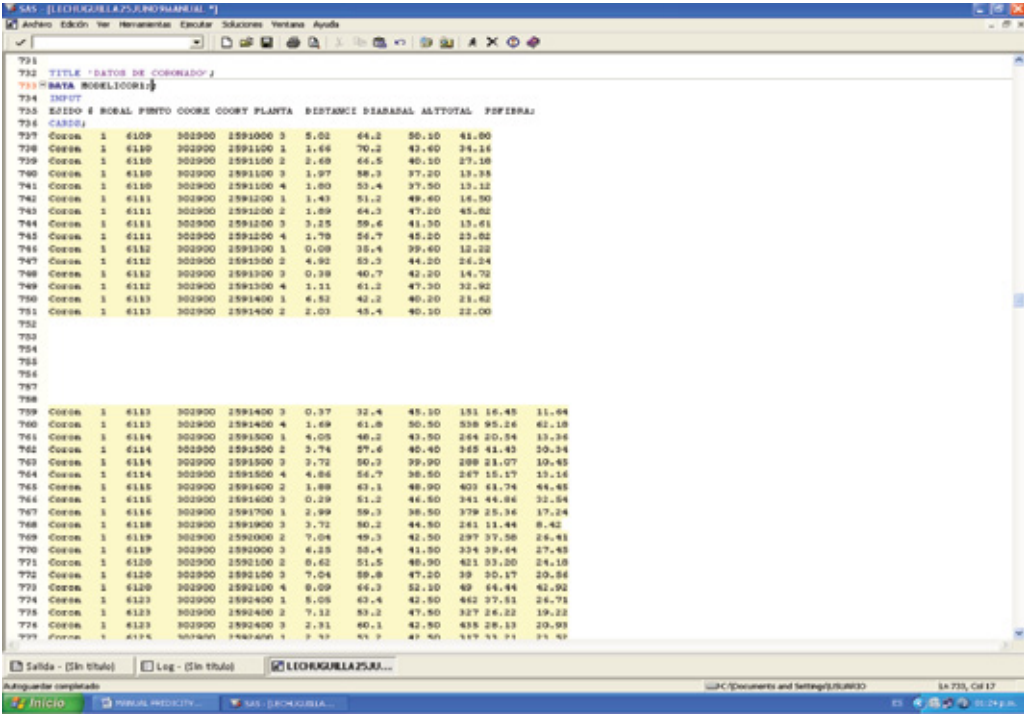


Figura 10. Base de datos de las variables registradas en el ejido San Antonio Coronado, mpio. Catorce, SLP.

Hasta este momento se tiene lista toda la información para estimar los parámetros del modelo. La siguiente etapa consiste en calcular en SAS los parámetros del modelo de regresión y obtener estadísticos que permitan evaluar su eficacia (Figura 11).

De las líneas 1482 a 1511 se le indica al sistema que el peso seco de la fibra correspondiente a esas observaciones lo designe con un punto; de esta manera quedan excluidas del análisis de regresión y representan una muestra aleatoria seleccionada de la base de datos con fines de validación del modelo. Sin bien es cierto, que esos datos no participan en la generación del modelo, el sistema sí les calcula sus valores predichos puntuales y sus respectivos intervalos de confianza (Martínez y Martínez, 2002).

En el Cuadro 5 se explica con detalle la estructura del programa.

En cualquier análisis de regresión no es suficiente la estimación de los parámetros del modelo, también se requiere comprobar el cumplimiento de los supuestos en que se basa. Para el ejemplo de San Antonio Coronado, se realizó considerando las líneas 1520 a la 1522 de la Figura 11.

```
TITLE 'MODELO DEPURADO CORONADO ORDINARIOS SCHUMACHER';
DATA MODELICOR2; SET MODELICOR1;
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=1 AND PUNTO= 6111 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=1 AND PUNTO= 6111 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=1 AND PUNTO= 6129 AND PLANTA=3 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4459 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4477 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4480 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4480 AND PLANTA=3 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4481 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4483 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4480 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4480 AND PLANTA=3 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=3 AND PUNTO= 4493 AND PLANTA=4 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 1 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 1 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 4 AND PLANTA=4 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 7 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 8 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 8 AND PLANTA=4 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 9 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 11 AND PLANTA=3 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 13 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 13 AND PLANTA=3 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 14 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 14 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 5148 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 5148 AND PLANTA=4 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 5150 AND PLANTA=1 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 5160 AND PLANTA=2 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 5161 AND PLANTA=4 THEN PSFIBRA='.';
IF EJIDO= 'Coron' AND RODAL=4 AND PUNTO= 5162 AND PLANTA=4 THEN PSFIBRA='.';
DIABASCM=DIABASAL/10; /*DIAMETRO BASAL EN CENTIMETROS'*/;
LOGPSFIBRA=LOG(PSFIBRA);
LOGDIABASCM=LOG(DIABASCM);
LOGALTTOTAL=LOG(ALTTOTAL);
PROC PRINT; RUN;
PROC REG; MODEL LOGPSFIBRA= LOGDIABASCM LOGALTTOTAL /CLI DW P R; RUN;
OUTPUT OUT=RESCORONADO2 P=PREDICHO2 R=RESIDUAL2 RSTUDENT=RESSTUDE2 LCL=LIP2 UCL=LSP2;
PROC PLOT; PLOT RESIDUAL2*PREDICHO2='.'; RUN;
PROC UNIVARIATE NORMAL; VAR RESIDUAL2; RUN;
PROC CAPABILITY DATA=RESCORONADO2 NORMALTEST; VAR RESIDUAL2; HISTOGRAM RESIDUAL2/NORMAL; RUN;
PROC CAPABILITY DATA=RESCORONADO2; VAR RESIDUAL2; PPPLOT RESIDUAL2/NORMAL(COLOR=GREEN); RUN;
```

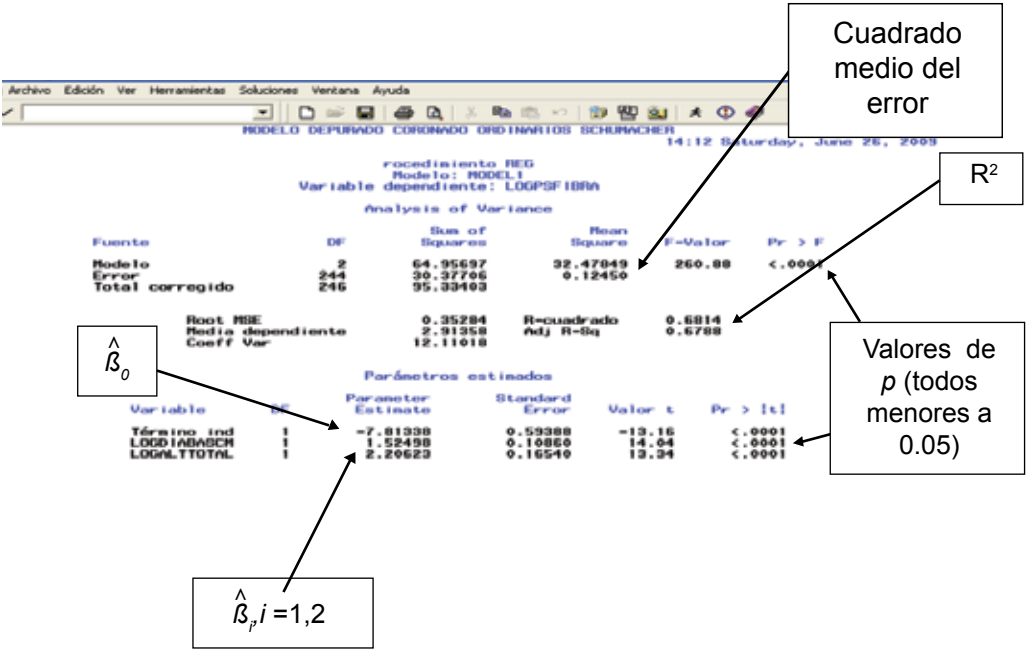
Figura 11. Instrucciones para el análisis de regresión.

Cuadro 5. Programa SAS para estimar los parámetros del modelo (1).

Comando	Significado
DATA MODELICOR2;	Se crea un archivo “SAS” cuyo nombre es “MODELICOR2”.
SET MODELICOR1;	Se llama el archivo “MODELICOR1” el cual contiene las siguientes variables: PSFIBRA: Peso seco de la fibra (g). DIABASAL: Diámetro basal del “cogollo” (mm). ALTTOTAL: Altura total del “cogollo” (cm).
DIABASCM=DIABASAL/**10**; LOGPSFIBRA=LOG(PSFIBRA); LOGDIABASCM=LOG(DIABASCM); LOGALTTOTAL=LOG(ALTTOTAL);	Se crea la variable “DIABASCM” que contiene el diámetro basal en centímetros. Se genera la variable “LOGPSFIBRA” que es igual al logaritmo natural de “PSFIBRA”. Se genera la variable “LOGDIABASCM” que es igual al logaritmo natural de “DIABASCM”. Se genera la variable “LOGALTTOTAL” que es igual al logaritmo natural de “ALTTOTAL”.
PROC REG; MODEL LOGPSFIBRA= LOGDIABASCM LOGALTTOTAL / CLI DW P R; **RUN**;	Se obtiene el Análisis de Varianza y la R^2. Se estiman los parámetros del modelo (4). Se considera “LOGPSFIBRA” como la variable dependiente y “LOGDIABASCM” y “LOGALTTOTAL” como las variables independientes. Con CLI se obtienen los límites inferiores y superiores de la predicción individual, con DW se calcula el estadístico de Durbin-Watson, con P los valores predichos y con R los residuales.
RUN;	Indica que el programa se ejecute.
OUTPUT OUT=RESCORONADO2 P=PREDICHO2 R=RESIDUAL2 LCL=LIP2 UCL=LSP2;	Se genera un archivo denominado “RESCORONADO2” y renombran las variables “P” (predichos), “R” (residuales), LCL (límite inferior de la predicción individual) y UCL (límite superior de la predicción individual).
PROC PLOT; PLOT RESIDUAL2*PREDICHO2=’.’; **RUN**;	Se genera una gráfica bidimensional con las variables “RESIDUAL2” (eje de las Y) y “PREDICHO2” (eje de las X).
PROC UNIVARIATE NORMAL; VAR RESIDUAL2; **RUN**;	Se hace la prueba de normalidad para los residuales.
PROC CAPABILITY DATA=RESCORONADO2 NORMALTEST; VAR RESIDUAL2; HISTOGRAM RESIDUAL2/ NORMAL; **RUN**;	Se elabora un histograma de los residuales y una gráfica de la distribución normal. Se llama el archivo “RESCORONADO2” que contiene la variable “RESIDUAL2”.
PROC CAPABILITY DATA=RESCORONADO2; VAR RESIDUAL2; PPPLOT RESIDUAL2/ NORMAL(COLOR=GREEN); **RUN**;	Se crea una gráfica que compara la función de distribución acumulativa empírica de los residuales con la función de distribución acumulativa teórica de la normal. Se invoca el archivo “RESCORONADO2” que contiene la variable “RESIDUAL2”.

A continuación se presentan los resultados proporcionados por el programa; así como su interpretación.

Resultado 1. Análisis de varianza, R^2 y coeficientes de regresión estimados.



En virtud de que el valor de *p* correspondiente a la prueba de *F* del análisis de varianza de la regresión es menor a 0.05 se concluye que existe una relación lineal entre el peso seco de los la fibra de lechuguilla y cualquiera de la variables regresoras (Montgomery *et al*., 2004). Así mismo, todos los valores de las pruebas de *t* son menores a 0.05, lo que implica que cada una de las variables independientes consideradas contribuye en forma significativa al modelo, cuando la otra también es incluida.

La R^2=0.68 indica que casi 70% de la variabilidad de "LOGPSFIBRA" (logaritmo del peso fresco de la fibra) es explicada por el modelo de regresión.

Los coeficientes de regresión estimados son:

$$\hat{ß}_0 = -7.81338,\ \hat{ß}_1 = 1/52498 \text{ y } \hat{ß}_2 = 2.20623$$

En estas condiciones, el modelo de regresión para estimar el peso seco de la fibra de lechuguilla a partir del diámetro basal del "cogollo" y de su altura, queda de la siguiente manera:

$$y = 0.00040\ x_1^{1.52498}\ x_2^{2.20623} \qquad (5)$$

Donde:

$\hat{y}$ = Peso seco estimado de la fibra de lechuguilla (g) por “cogollo”.
x_1= Diámetro basal del “cogollo” (cm).
x_2= Altura total del “cogollo” (cm).

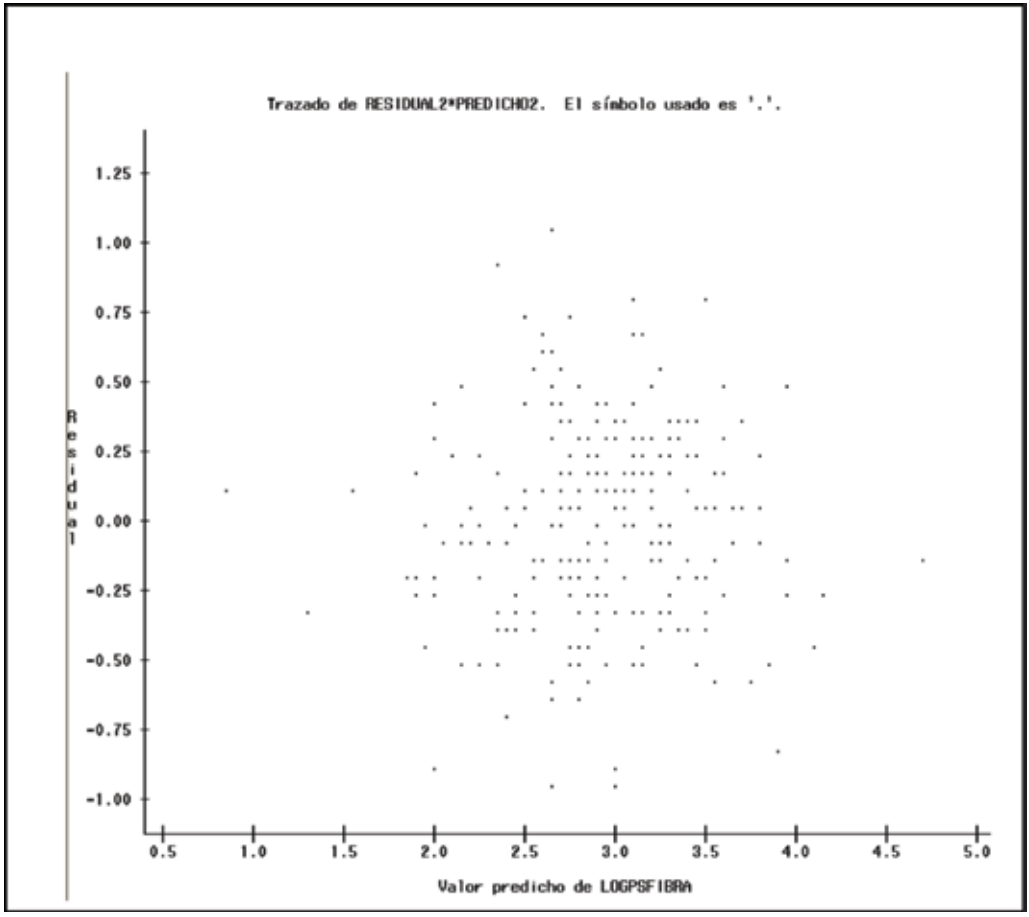
0.00040 = EXP(-**7.81338)**

Resultado 2. Estadístico de Durbin-Watson.

El estadístico DW=1.531 indica la falta de autocorrelación en los errores.

Valores relativamente cercanos a 2 son deseables (Pérez, 2003).

Resultado 3. Gráfica de dispersión de residuales.



La gráfica indica que el supuesto de la varianza constante se cumple, puesto que la dispersión de los residuales es aleatoria. Cualquier otro patrón implica la violación de dicha premisa.

Resultado 4. Estadístico de Shapiro-Wilk

Procedimiento UNIVARIATE
Variable: RESIDUAL2 (Residual)

Momentos

N	247	Pesos de la suma	247
Media	0	Observaciones de la suma	0
Desviación típica	0.3514029	Varianza	0.12348399
Asimetría	0.01902638	Curtosis	0.05074525
Suma de cuadrados no corregidos	30.3770627	Suma de cuadrados corregidos	30.3770627
Coeficiente de variación	.	Media de error estándar	0.02235923

Medidas estadísticas básicas

Localización		Variabilidad	
Media	0.000000	Desviación típica	0.35140
Mediana	0.017681	Varianza	0.12348
Moda	.	Rango	2.01379
		Rango intercuantil	0.51369

Tests para posición: Mu0=0

Test	-Estadístico-		-----P-valor------	
T de Student	t	0	Pr > |t|	1.0000
Signo	M	3.5	Pr >= |M|	0.7027
Puntuación con signo	S	-66	Pr >= |S|	0.9533

Tests para normalidad

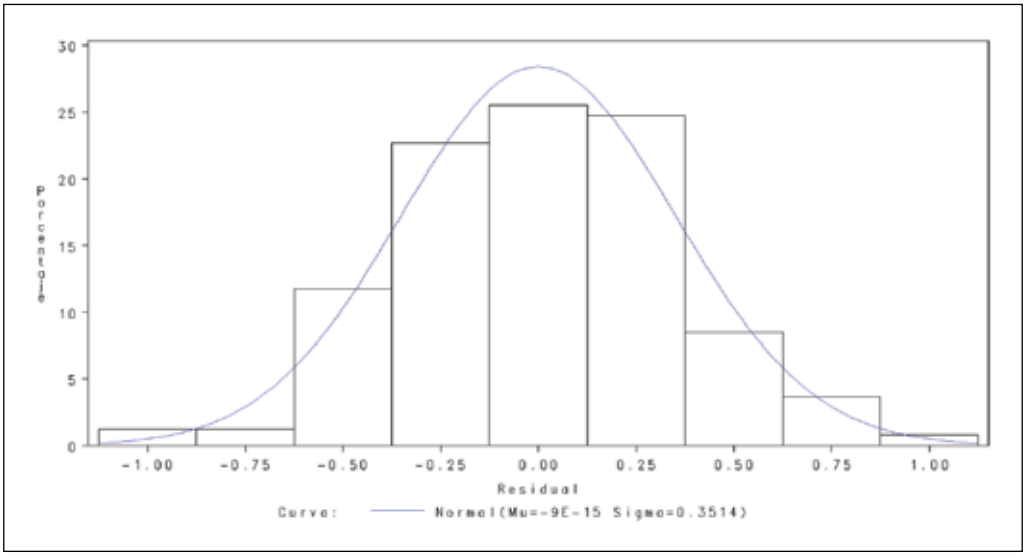
Test	--Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.995989	Pr < W	0.7777
Kolmogorov-Smirnov	D	0.031185	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.028542	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.238421	Pr > A-Sq	>0.2500

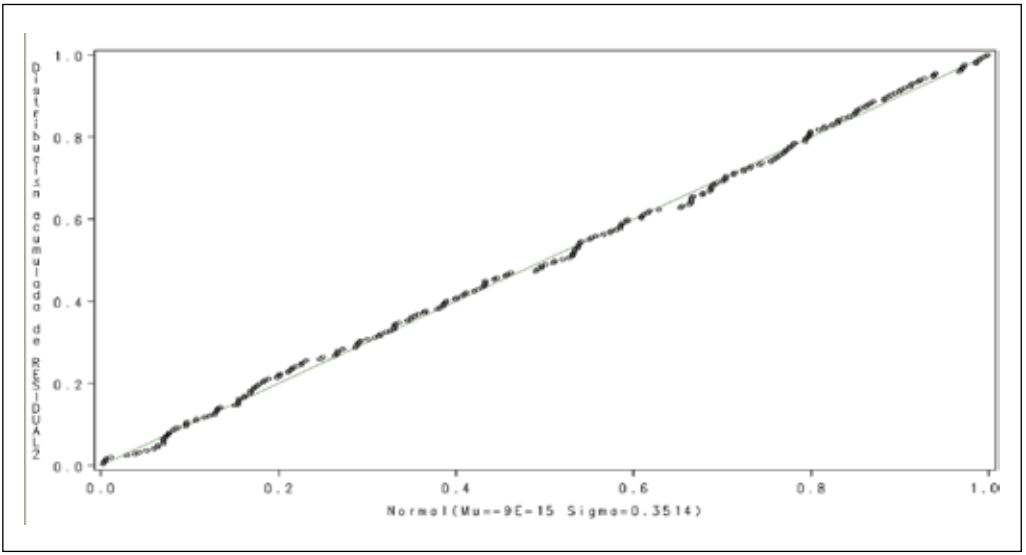
Valor mayor de 0.05

El supuesto de normalidad de los errores se cumple, puesto que valor de *p*=0.0.777 correspondiente a la prueba de Shapiro-Wilk es mayor de 0.05.

En las dos gráficas se observa de nuevo el cumplimiento del supuesto de normalidad en los errores. En la primera, los residuales se ajustan a una campana de Gauss y en la segunda los punto se distribuyen, en general, sobre una línea recta que pasa por el origen y que tiene pendiente = 1.

Resultado 5. Gráficas de normalidad





Validación del modelo

Se recurre a los valores predichos y los intervalos de confianza para aquellas observaciones que fueron excluidas del análisis de regresión.

En el Cuadro 6 se describen los comandos para la validación del modelo y la Figura 12 muestra el proceso.

Cuadro 6. Programa SAS para validación del modelo (5).

Comando	Significado
DATA MODELICOR3;	Se crea un archivo “SAS” cuyo nombre es “MODELICOR3”.
SET RESCORONADO2;	Se llama el archivo “RESCORONADO2” el cual contiene las siguientes variables: PREDICHO2: Valor predicho del peso seco de lechuguilla (g). LIP2: Límite inferior de la predicción individual. LSP2: Límite superior de la predicción individual.
PSFIBRAESPU=(EXP (-**7.81338**))*(DIABASCM**1.52498)*(ALTTOTAL**2.20623); PSFIBRAESP=EXP(PREDICHO2); PSFIBRAESL=EXP(LIP2); PSFIBRAESS=EXP(LSP2); IDENTICA=RODAL||PUNTO||PLANTA;	Se crea la variable “PSFIBRAESPU” que estima el peso seco de la fibra. Se genera la variable “PSFIBRAESP” que es igual al EXP de “PREDICHO2”. Se genera la variable “PSFIBRAESL” que es igual al EXP de “LIP2”. Se genera la variable “PSFIBRAESS” que es igual al EXP de “LSP2”. Las nuevas variables contienen la información en las unidades originales. Se genera la variable “IDENTICA” que es igual a la una unión de las variables “RODAL” de “PUNTO” y “PLANTA”.

Con la información proporcionada por los comandos del Cuadro 6 se elabora una gráfica que compara los valores observados contra los predichos y los intervalos de confianza. En la Figura 13 se observa que el modelo (5) predice bastante bien los valores excluidos del análisis de regresión, de hecho los intervalos de confianza (líneas azul y naranja) incluyen a los valores observados (línea roja), por lo que dicho modelo se considera apropiado, a pesar de tener un coeficiente de determinación aproximado de 0.70.

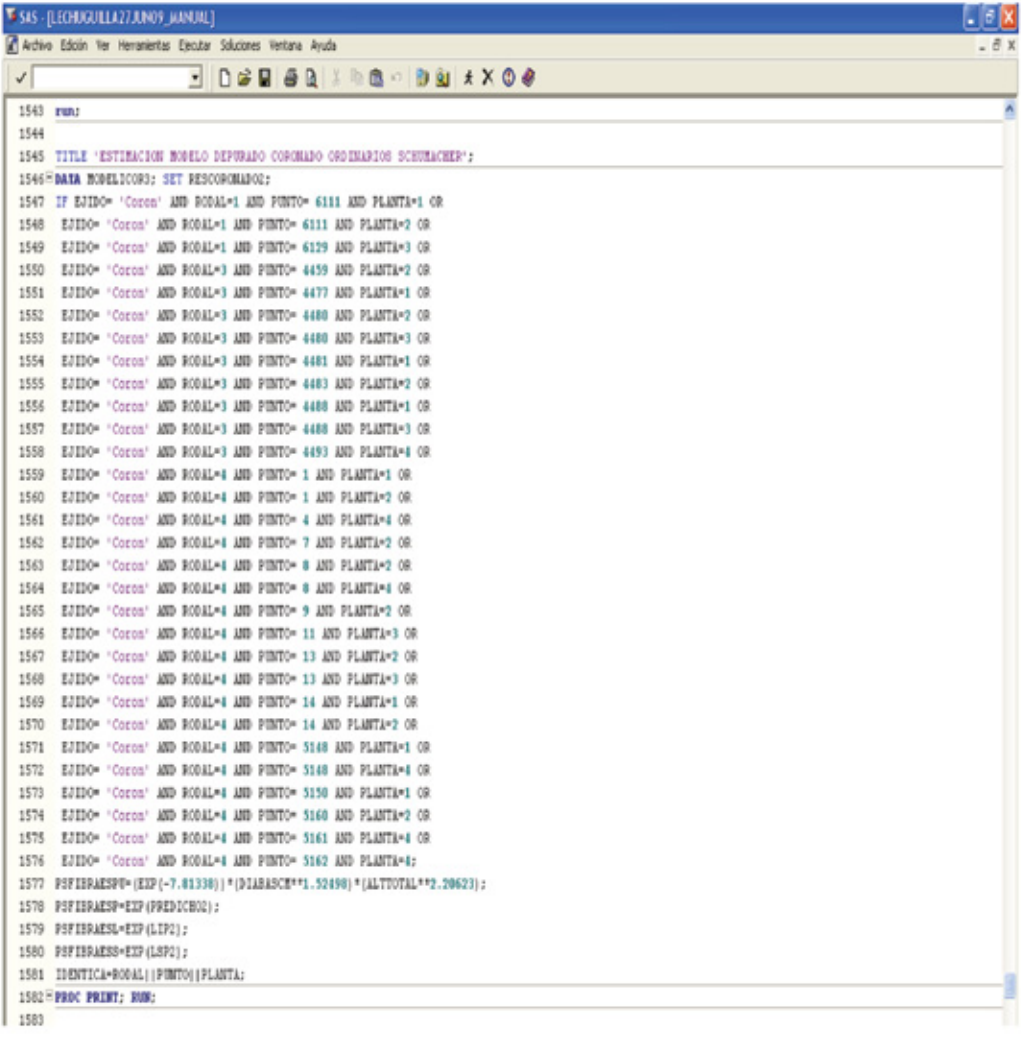


Figura 12. Proceso de validación del modelo para la predicción del peso seco de la fibra de lechuguilla.

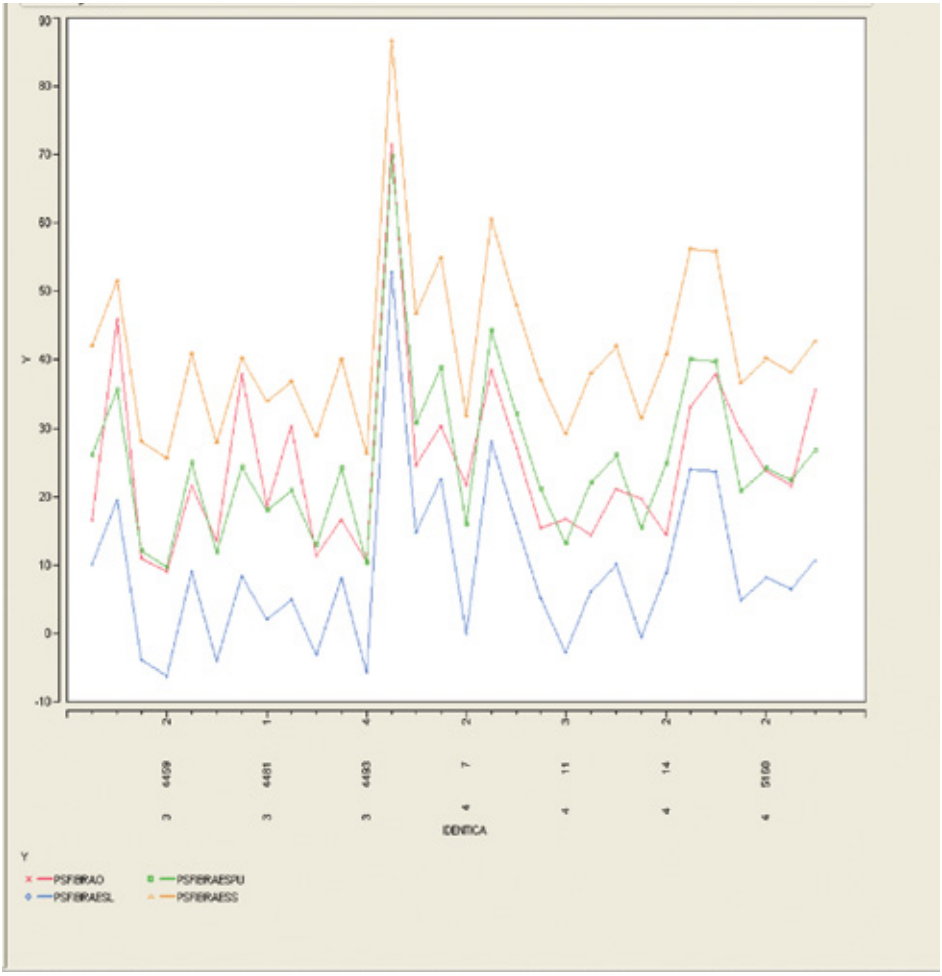


Figura 13. Gráfica en donde se indica que los intervalos de confianza (líneas azul y naranja) incluyen a los valores observados (línea roja).

Tabla de producción

Al sustituir valores de diámetros basales y alturas de “cogollos” en la ecuación (5) se obtiene una tabla de producción (Apéndice 1). En esta tabla, la intersección de una fila y una columna determina el peso estimado de la fibra. Por ejemplo, si el diámetro basal del “cogollo” se clasifica en una categoría de 50 mm y en una de altura de 50 cm, el peso seco estimado de la fibra será de 26.36 g.

Ventajas y desventajas del modelo generado

El modelo de regresión múltiple generado permite predecir el peso seco de la fibra de lechuguilla a partir del diámetro basal y la altura del “cogollo”, ambos parámetros son fáciles de medir dentro de los predios donde se desarrolla la especie, por lo que su aplicación es práctica y ante todo, no destructiva del recurso. Los cogollos se miden sin necesidad de extraer la planta.

Sin embargo, el modelo en cuestión presenta como inconveniente que su aplicación espacial está restringida a predios con las características ecológicas similares a las existentes en el sitio dónde se tomaron los datos de campo para su elaboración. No obstante, se sugiere su validación en otras localidades del área de distribución y aprovechamiento de la lechuguilla.

RECOMENDACIONES

Se sugiere aplicar el modelo generado en condiciones ecológicas similares a las del Ejido San Antonio Coronado, municipio Real de Catorce, San Luís Potosí (Cuadro 1).

Aun cuando las tablas de producción (apéndices 1, 2 y 3) son de fácil consulta, su uso está restringido a los valores de diámetro basal y altura del “cogollo” incluidos en ellas, por lo que es preferible emplear directamente las ecuaciones que las originaron, mismas que se indican enseguida.

$\hat{y} = 0.00040\ x_1^{1.52498}\ x_2^{2.20623}$ San Antonio Coronado

$\hat{y} = 0.00078\ x_1^{1.64385}\ x_2^{1.33236}$ El Coyote

$\hat{y} = 0.00038\ x_1^{1.82763}\ x_2^{1.43348}$ Puerto de Clavellinas

En los tres casos:

$\hat{y}$: Peso seco estimado de la fibra de lechuguilla (g) por “cogollo”.

x_1 : Diámetro basal del “cogollo” (cm).

x_2 : Altura total del “cogollo” (cm).

REFERENCIAS

Arteaga M., B., y C. Moreno Z. 2006. Los hongos silvestres comestibles de Santa Catarina de Monte, Estado de México. Revista Chapingo. Serie: Ciencias forestales y del ambiente. 12(2):125-131.

Berlanga R., C. A., L. A. González L. y H. Franco L. 1992. "Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales" SARH–INIFAP. Campo experimental "La Sauceda", Saltillo Coah., México Folleto técnico No 1. 22 p.

Blando-Navarrte, 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 2(2): 100-105.

Der, G. and B.S. Everitt. 2002. A Handbook of Statistical Analyses using SAS. Second Edition. CHAPMAN & HALL/CRC. Boca Raton London New York Washington, D.C., USA. 351 p.

Herrera H., J. G. y A. Barrera S. 2001. Manual de procedimientos. Análisis estadístico de experimentos pecuarios (utilizando el programa SAS).Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de Méx. México. 119 p.

Martínez G., A. y M. A. Martínez D. 2002. Introducción a los métodos econométricos. Grupo Editorial Sagitario. Texcoco, Edo. de Méx. México. 279 p.

Mayorga-Hernández, E., D. Rösell-Kipping, H. Ortiz-Laurel, A. R. Quero-Carillo y A. Amante-Orozco. 2004. Análisis comparativo en la calidad de fibra de *Agave lecheguilla* Torr. Procesada manual y mecánicamente. Agrociencia 38 (002): 219-225.

Montgomery, D. C., E. A. Peck y G. G. Vining. 2004. Introducción al análisis de regresión lineal. Trad. por V. González P. Compañía Editorial Continental. Primera reimpresión. México, D. F. México. 588 p.

Pando-Moreno, M., O. Eufracio, E. Jurado and E. Estrada. 2004. Post-harvest growth of lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr. Agavaceae) in Northeastern México. Economic Botany 58 (1), 78–82.

Pando-Moreno, M., R. Pulido, D. Castillo, E. Jurado and J. Jiménez. 2008. Estimating fiber for lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr., Agavaceae), a traditional non-timber forest product in Mexico. Forest Ecology and Management. 255: 3686–3690.

Pérez L., C. 2003. Estadística. Problemas resueltos y aplicaciones. Pearson Prentice Hall. Madrid. España. 485 p.

Reyes-Agüero, J. A., J. R Aguirre-Rivera y B. Peña-Valdivia. 2000. Biología y aprovechamiento de *Agave lecheguilla* Torrey. Boletí´n de la Sociedad Botánica de Mexico 67, 75–88.

Scheaffer, R. L., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Trad. por Rendón S., G. y J. R. Gómez A. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. México. 321 p

Sheldon, S. 1980. Etnobotany of *Agave lechuguilla* of *Yucca carnerosana*. In: Mexico´s Zona Ixtlera. Economic Botany. 34 (4). pp. 376-390.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). 2005. Ley general de desarrollo forestal sustentable y su reglamento. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. México. 267 p.

Zamora-Martínez M. C., J. M. Torres, R. y L. I. Zamora-Martínez. 2001. Análisis de la información sobre productos forestales no madereros en México. FAO. Santiago de Chile, Chile. 126 p.

Zamora-Martínez, M.C., E. Velasco B., A. Cano P., E. E. Villavicencio G., D. Castillo Q. y A. Arellano R. 2008. Manual de especificaciones técnicas para el aprovechamiento de productos forestales no maderables de zonas áridas y semiáridas. SEMARNAT-INIFAP. 112 p.www.semarnat.gob.mx

Zárate, L.A., Franco, H., Berlanga, C.A., 1991. Análisis dimensional en lechuguilla. *In*: Proceedings of the III Simposio Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de Plantas Útiles del Desierto. INIFAP, Saltillo, Coah. Mexico pp. 13–14.

Fuentes electrónicas:

CONAFOR. 2006. Plan Estratégico de Comercialización.
http://148.223.105.188:8081/planestrategico/planestrategico.asp?codigo=2340
(Consulta 26/06/2006).

A P É N D I C E 1

T A B L A D E C O R O N A D O

DIÁMETRO BASAL DEL COGOLLO (mm)	ALTURA DEL COGOLLO (cm)																																									
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
18	1.80	1.93	2.07	2.22	2.37	2.53	2.69	2.86	3.03	3.21	3.39	3.58	3.78	3.98	4.19	4.40	4.62	4.84	5.07	5.31	5.55	5.80	6.06	6.31	6.58	6.85	7.13	7.41	7.70	8.00	8.30	8.61	8.93	9.24	9.57	9.90	10.24	10.59	10.94	11.30	11.66
20	2.11	2.27	2.43	2.61	2.78	2.97	3.16	3.35	3.56	3.77	3.98	4.21	4.44	4.67	4.92	5.17	5.42	5.69	5.96	6.23	6.52	6.81	7.11	7.41	7.72	8.04	8.37	8.70	9.04	9.39	9.74	10.11	10.48	10.85	11.24	11.63	12.03	12.43	12.84	13.26	13.69
22	2.44	2.63	2.83	3.01	3.22	3.43	3.65	3.88	4.11	4.36	4.61	4.86	5.13	5.40	5.68	5.97	6.27	6.58	6.89	7.21	7.54	7.87	8.22	8.57	8.93	9.30	9.68	10.06	10.46	10.86	11.27	11.69	12.11	12.55	12.99	13.45	13.91	14.38	14.85	15.34	15.83
24	2.79	3.00	3.22	3.44	3.68	3.92	4.17	4.43	4.70	4.97	5.26	5.55	5.86	6.17	6.49	6.82	7.16	7.51	7.87	8.23	8.61	8.99	9.38	9.79	10.20	10.62	11.05	11.49	11.94	12.40	12.87	13.35	13.83	14.33	14.84	15.35	15.88	16.42	16.96	17.52	18.08
26	3.15	3.39	3.63	3.89	4.15	4.43	4.71	5.00	5.31	5.62	5.94	6.28	6.62	6.97	7.33	7.71	8.09	8.48	8.89	9.30	9.73	10.16	10.60	11.06	11.52	12.00	12.49	12.98	13.49	14.01	14.54	15.08	15.63	16.19	16.76	17.35	17.94	18.55	19.16	19.79	20.43
28	3.53	3.79	4.07	4.35	4.65	4.96	5.27	5.60	5.94	6.29	6.65	7.03	7.41	7.81	8.21	8.63	9.06	9.50	9.95	10.41	10.89	11.37	11.87	12.38	12.90	13.44	13.98	14.54	15.11	15.69	16.28	16.88	17.50	18.13	18.77	19.42	20.09	20.77	21.46	22.16	22.87
30	3.92	4.21	4.52	4.84	5.17	5.51	5.86	6.22	6.60	6.98	7.38	7.81	8.23	8.67	9.12	9.58	10.06	10.55	11.05	11.57	12.10	12.64	13.19	13.75	14.33	14.93	15.53	16.15	16.78	17.42	18.08	18.75	19.44	20.14	20.85	21.58	22.32	23.07	23.84	24.62	25.41
32	4.32	4.65	4.98	5.34	5.70	6.08	6.47	6.87	7.28	7.71	8.15	8.61	9.08	9.57	10.07	10.58	11.10	11.64	12.20	12.76	13.35	13.94	14.55	15.18	15.82	16.47	17.14	17.82	18.52	19.23	19.96	20.70	21.45	22.22	23.01	23.81	24.62	25.46	26.30	27.16	28.04
34	4.74	5.10	5.47	5.85	6.25	6.66	7.09	7.53	7.99	8.46	8.95	9.45	9.96	10.50	11.04	11.60	12.18	12.77	13.38	14.00	14.64	15.29	15.96	16.65	17.35	18.06	18.80	19.55	20.31	21.09	21.89	22.70	23.53	24.38	25.24	26.12	27.01	27.92	28.85	29.79	30.75
36	5.18	5.58	5.97	6.39	6.82	7.27	7.74	8.22	8.72	9.23	9.76	10.31	10.87	11.45	12.05	12.66	13.29	13.93	14.60	15.28	15.97	16.69	17.42	18.16	18.93	19.71	20.51	21.33	22.16	23.01	23.88	24.77	25.67	26.60	27.54	28.49	29.47	30.46	31.48	32.51	33.56
38	5.62	6.04	6.48	6.93	7.41	7.90	8.40	8.93	9.47	10.03	10.60	11.19	11.81	12.44	13.08	13.75	14.43	15.13	15.85	16.59	17.34	18.12	18.91	19.72	20.55	21.40	22.27	23.16	24.06	24.99	25.93	26.90	27.88	28.88	29.90	30.94	32.00	33.08	34.18	35.30	36.44
40	6.06	6.51	7.01	7.50	8.01	8.54	9.09	9.65	10.24	10.84	11.46	12.11	12.77	13.45	14.15	14.87	15.60	16.36	17.14	17.94	18.76	19.60	20.45	21.33	22.23	23.15	24.08	25.04	26.02	27.02	28.04	29.09	30.15	31.23	32.33	33.46	34.61	35.77	36.96	38.17	39.40
42	6.51	7.04	7.58	8.08	8.63	9.20	9.79	10.40	11.03	11.68	12.35	13.04	13.75	14.49	15.24	16.01	16.81	17.63	18.46	19.32	20.20	21.11	22.03	22.98	23.94	24.93	25.94	26.98	28.03	29.11	30.21	31.33	32.48	33.64	34.83	36.04	37.28	38.54	39.82	41.12	42.45
44	7.00	7.58	8.16	8.67	9.28	9.87	10.50	11.16	11.84	12.54	13.26	14.00	14.76	15.55	16.36	17.19	18.05	18.92	19.82	20.74	21.69	22.66	23.65	24.67	25.70	26.77	27.85	28.96	30.09	31.25	32.43	33.64	34.86	36.12	37.38	38.69	40.02	41.37	42.74	44.14	45.57
46	7.52	8.08	8.67	9.28	9.91	10.57	11.24	11.95	12.67	13.42	14.19	14.98	15.80	16.64	17.51	18.40	19.31	20.25	21.21	22.20	23.21	24.25	25.31	26.40	27.51	28.64	29.81	30.99	32.20	33.44	34.71	35.99	37.31	38.65	40.02	41.41	42.83	44.27	45.74	47.24	48.76
48	8.02	8.63	9.25	9.90	10.58	11.28	12.00	12.75	13.52	14.32	15.14	15.99	16.86	17.76	18.68	19.63	20.61	21.61	22.63	23.69	24.77	25.87	27.01	28.17	29.36	30.58	31.83	33.07	34.36	35.68	37.03	38.41	39.81	41.24	42.70	44.19	45.70	47.24	48.81	50.41	52.03
50	8.54	9.18	9.85	10.54	11.26	12.00	12.77	13.57	14.39	15.24	16.11	17.01	17.94	18.90	19.88	20.89	21.93	23.00	24.08	25.21	26.36	27.54	28.74	29.97	31.24	32.53	33.85	35.19	36.57	37.98	39.41	40.87	42.37	43.89	45.44	47.02	48.63	50.27	51.94	53.65	55.38
52	9.07	9.75	10.46	11.19	11.96	12.74	13.56	14.40	15.27	16.17	17.10	18.06	19.05	20.06	21.11	22.18	23.28	24.41	25.57	26.76	27.98	29.23	30.51	31.82	33.16	34.53	35.93	37.36	38.82	40.32	41.84	43.39	44.96	46.60	48.24	49.92	51.63	53.37	55.15	56.96	58.79
54	9.60	10.32	11.07	11.85	12.66	13.49	14.36	15.25	16.18	17.13	18.12	19.13	20.18	21.25	22.36	23.49	24.66	25.86	27.09	28.35	29.64	30.96	32.32	33.71	35.13	36.58	38.06	39.58	41.12	42.71	44.32	45.96	47.64	49.36	51.10	52.88	54.69	56.54	58.41	60.32	62.27
56	10.15	10.91	11.70	12.53	13.38	14.26	15.18	16.12	17.10	18.11	19.15	20.22	21.33	22.46	23.63	24.83	26.07	27.33	28.63	29.97	31.33	32.73	34.16	35.63	37.13	38.66	40.23	41.83	43.47	45.14	46.85	48.59	50.36	52.17	54.01	55.89	57.81	59.76	61.74	63.77	65.82
58	10.71	11.51	12.35	13.22	14.12	15.05	16.01	17.01	18.04	19.11	20.20	21.33	22.50	23.70	24.93	26.20	27.50	28.84	30.21	31.61	33.05	34.53	36.04	37.58	39.17	40.79	42.44	44.13	45.86	47.62	49.42	51.26	53.13	55.04	56.98	58.97	60.99	63.04	65.14	67.27	69.44
60	11.28	12.12	13.00	13.92	14.86	15.85	16.86	17.91	19.00	20.12	21.28	22.47	23.69	24.96	26.25	27.59	28.96	30.37	31.81	33.29	34.81	36.36	37.95	39.58	41.25	42.95	44.70	46.48	48.29	50.15	52.04	53.96	55.95	57.96	60.01	62.10	64.22	66.39	68.60	70.84	73.13
62	11.86	12.75	13.67	14.63	15.63	16.66	17.73	18.83	19.97	21.15	22.37	23.62	24.91	26.23	27.60	29.00	30.44	31.92	33.44	35.00	36.59	38.23	39.90	41.61	43.36	45.16	46.99	48.86	50.77	52.72	54.71	56.74	58.82	60.93	63.08	65.28	67.52	69.79	72.11	74.47	76.87
64	12.44	13.38	14.35	15.36	16.40	17.49	18.61	19.77	20.96	22.20	23.48	24.79	26.14	27.54	28.97	30.44	31.95	33.51	35.10	36.73	38.41	40.12	41.88	43.68	45.52	47.40	49.32	51.28	53.29	55.34	57.43	59.56	61.73	63.95	66.21	68.52	70.87	73.26	75.69	78.17	80.69
66	13.04	14.02	15.04	16.09	17.19	18.33	19.50	20.72	21.97	23.27	24.60	25.98	27.40	28.86	30.36	31.90	33.49	35.12	36.79	38.50	40.25	42.05	43.89	45.78	47.70	49.67	51.69	53.75	55.85	57.99	60.19	62.42	64.70	67.03	69.40	71.81	74.27	76.78	79.33	81.92	84.57
68	13.65	14.67	15.74	16.84	17.99	19.18	20.41	21.68	22.99	24.35	25.75	27.19	28.68	30.20	31.78	33.39	35.06	36.75	38.50	40.29	42.13	44.01	45.94	47.91	49.92	51.99	54.09	56.25	58.45	60.70	62.99	65.33	67.71	70.15	72.63	75.15	77.73	80.35	83.02	85.74	88.50
70	14.27	15.34	16.45	17.61	18.80	20.05	21.33	22.66	24.03	25.46	26.91	28.42	29.97	31.57	33.21	34.90	36.63	38.41	40.24	42.11	44.03	46.00	48.01	50.07	52.18	54.34	56.54	58.79	61.09	63.44	65.84	68.28	70.77	73.32	75.91	78.55	81.24	83.98	86.77	89.61	92.50
72	14.89	16.01	17.17	18.38	19.63	20.93	22.27	23.65	25.09	26.57	28.09	29.67	31.29	32.95	34.67	36.43	38.24	40.10	42.01	43.96	45.96	48.02	50.12	52.27	54.47	56.72	59.02	61.37	63.77	66.22	68.73	71.28	73.88	76.54	79.24	82.00	84.81	87.67	90.58	93.55	96.56
74	15.53	16.69	17.90	19.16	20.47	21.82	23.22	24.66	26.16	27.70	29.29	30.93	32.62	34.36	36.15	37.99	39.87	41.81	43.80	45.84	47.93	50.07	52.26	54.50	56.80	59.14	61.54	63.99	66.49	69.05	71.66	74.32	77.03	79.80	82.62	85.50	88.43	91.41	94.45	97.54	100.68
76	16.17	17.39	18.65	19.96	21.32	22.72	24.18	25.69	27.24	28.85	30.51	32.22	33.98	35.79	37.66	39.58	41.53	43.55	45.62	47.74	49.92	52.14	54.43	56.78	59.18	61.60	64.09	66.65	69.25	71.92	74.63	77.40	80.23	83.11	86.06	89.06	92.10	95.20	98.37	101.59	104.86
78	16.83	18.09	19.40	20.76	22.18	23.64	25.16	26.73	28.35	30.02	31.74	33.52	35.35	37.23	39.17	41.16	43.21	45.31	47.46	49.67	51.93	54.25	56.63	59.06	61.54	64.09	66.68	69.34	72.05	74.82	77.65	80.53	83.47	86.47	89.53	92.65	95.82	99.05	102.34	105.69	109.10
80	17.49	18.80	20.16	21.58	23.05	24.57	26.15	27.78	29.46	31.20	32.99	34.84	36.74	38.70	40.71	42.78	44.91	47.09	49.33	51.62	53.98	56.39	58.86	61.38	63.97	66.61	69.31	72.07	74.89	77.77	80.70	83.70	86.75	89.86	93.05	96.29	99.59	102.95	106.37	109.85	113.40
82	18.16	19.52	20.94	22.41	23.94	25.52	27.15	28.84	30.58	32.40	34.26	36.18	38.15	40.18	42.27	44.42	46.63	48.90	51.23	53.60	56.05	58.55	61.11	63.74	66.42	69.16	71.97	74.83	77.76	80.75	83.80	86.91	90.09	93.33	96.62	99.99	103.41	106.90	110.45	114.07	117.75
84	18.84	20.25	21.72	23.25	24.83	26.47	28.17	29.92	31.74	33.61	35.54	37.53	39.58	41.69	43.86	46.09	48.38	50.73	53.14	55.61	58.15	60.74	63.40	66.12	68.91	71.75	74.66	77.64	80.67	83.77	86.94	90.17	93.46	96.82	100.24	103.73	107.28	110.90	114.59	118.34	122.15
86	19.53	20.99	22.52	24.10	25.74	27.44	29.20	31.02	32.90	34.84	36.84	38.90	41.02	43.21	45.46	47.77	50.14	52.58	55.06	57.64	60.27	62.96	65.72	68.54	71.42	74.37	77.39	80.47	83.62	86.83	90.11	93.46	96.88	100.36	103.90	107.52	111.20	114.95	118.77	122.66	126.62
88	20.22	21.74	23.32	24.96	26.66	28.42	30.24	32.12	34.07	36.08	38.15	40.29	42.49	44.75	47.08	49.47	51.93	54.46	57.06	59.70	62.42	65.21	68.06	70.98	73.97	77.03	80.15	83.34	86.60	89.93	93.33	96.80	100.33	103.94	107.61	111.36	115.17	119.06	123.01	127.04	131.14
90	20.93	22.50	24.13	25.83	27.59	29.41	31.29	33.24	35.26	37.34	39.48	41.69	43.97	46.31	48.72	51.20	53.74	56.36	59.05	61.78	64.62	67.48	70.44	73.46	76.55	79.71	82.95	86.25	89.62	93.07	96.58	100.17	103.83	107.56	111.36	115.24	119.19	123.21	127.30	131.47	135.71

A P É N D I C E 2

T A B L A E L C O Y O T E

| DIÁMETRO BARRA DEL COGOLLO (mm) | ALTURA DEL COGOLLO (mm) | | |

A P É N D I C E 3

T A B L A P U E R T O C L A V E L L I N A S

| DIÁMETRO DEL COGOLLO (mm) | ALTURA DEL COGOLLO (cm) | | |

COMITE EDITORIAL DEL CENID-COMEF

Dr. Fabián Islas Gutiérrez
Presidente

M.C. Tomás Hernández Tejeda
Secretario Técnico

Ing. Francisco Camacho Morfín
Biól. José Francisco Reséndiz Martínez
Biól. Marisela C. Zamora Martínez
Vocales

Toda correspondencia relacionada con esta publicación, favor de dirigirla a:
Biól. Marisela C. Zamora Martínez
Av. Progreso No. 5
Barrio de Santa Catarina
C.P. 04010 México, D.F.
Correo-e: zamora.marisela@inifap.gob.mx
Tel. (0155)36268700 ext. 301 y 302

M.C. Efraín Velasco Bautista
Av. Progreso No. 5
Barrio de Santa Catarina
C.P. 04010 México, D.F.
Correo-e: velasco.efrain@inifap.gob.mx
Tel. (0155)36268700 ext. 406

CENID-COMEF
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DISCIPLINARIA
EN CONSERVACION Y MEJORAMIENTO DE
ECOSISTEMAS FORESTALES

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias