

Castillo Quiroz, David; Sáenz Reyes, J. Trinidad; Narcia Velasco, Mariano; Vázquez Ramos, José Antonio
**PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA FIBRA DE Agave lechuguilla Torr. DE CINCO PROCEDENCIAS
BAJO PLANTACIONES**

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 4, núm. 19, septiembre-octubre, 2013, pp. 78-91
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63433993007>



Revista Mexicana de Ciencias Forestales,
ISSN (Versión impresa): 2007-1132
ciencia.forestal2@inifap.gob.mx
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias
México



ARTÍCULO/ ARTICLE

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA FIBRA DE *Agave lechuguilla* Torr. DE CINCO PROCEDENCIAS BAJO PLANTACIONES

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *Agave lechuguilla* Torr. FIBER UNDER PLANTATIONS OF FIVE PROVENANCES

David Castillo Quiroz¹, J. Trinidad Sáenz Reyes²
Mariano Narcia Velasco¹ y José Antonio Vázquez Ramos¹

RESUMEN

La lechuguilla (*Agave lechuguilla*) es una especie de las zonas áridas y semiáridas de México, donde ocupa una superficie aproximada de 20 millones de hectáreas, en los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. Su fibra se utiliza en diversos productos de la industria cepillera. La producción de este material en poblaciones naturales se ha reducido por la falta de mano de obra, la sobreexplotación del recurso y las condiciones climáticas irregulares que alargan su turno técnico. Una opción para incrementarla son las plantaciones comerciales. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de plantación con riego y fertilización de cinco procedencias de lechuguilla en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra. En estas plantas el diámetro mayor es un criterio de medición de interés que corresponde a la base del cogollo, y disminuye gradualmente hasta la punta. Los resultados indican que las localidades sobresalientes en este sentido son el ejido Marte y el ejido Independencia, municipio Jaumave con 0.45 y 0.39 mm, respectivamente. La densidad linear varía de 10.74 (ejido Marte) a 5.97 Decitex. En resistencia a la tensión, la carga máxima que soportaron las procedencias evaluadas en la plantación fue de 19.67 y 22.84 Newton. La prueba de elongación máxima tuvo un intervalo de 7.97 a 12.46%. Se concluye que las propiedades físico-mecánicas de la fibra de la lechuguilla no se alteran al someterla a cultivo.

Palabras clave: *Agave lechuguilla* Torr., fertilización, fibras, plantaciones, propiedades físico-mecánicas, riego.

ABSTRACT

Lechuguilla (*Agave lechuguilla*) is a species of arid and semiarid regions of Mexico, where it covers an approximate area of 20 million hectares in the states of Coahuila, Chihuahua, Nuevo Leon, Durango, San Luis Potosi, Tamaulipas and Zacatecas. Its fiber is used in various products of the brush industry. The production of this material in natural populations has been reduced by the lack of labor, the over-exploitation of the resource and irregular weather conditions which extend the technical turn. An option to increase it are commercial plantations. The aim of this study was to determine the effect of planting with irrigation and fertilization of five provenances of Lechuguilla upon the physical and mechanical properties of its fiber. In these plants, the major diameter is a measurement criterion of interest corresponding to the heart base, and tapering towards the tip. Results indicate that the outstanding localities in this regard are the Ejido Marte and Ejido Independencia, Jaumave with 0.45 and 0.39 mm, respectively. Linear density varies from 10.74 (Ejido Marte) to 5.97 decitex. In tensile strength, maximum load withstood the sources evaluated in the plantation was 19.67 and 22.84 Newton. Maximum elongation testing had a range of 7.97 to 12.46%. It was concluded that the physical-mechanical properties of the fiber of Lechuguilla not altered when plants are subjected to cultivation.

Key words: *Agave lechuguilla* Torr., fertilizer, fibers, plantations, physical and mechanical properties, irrigation.

Fecha de recepción/date of receipt: 1 de junio de 2012; Fecha de aceptación/date of acceptance: 20 de agosto de 2013.

¹ Campo Experimental Saltillo. CIR-Noreste, INIFAP. Correo-e: castillo.david@inifap.gob.mx

² Campo Experimental Uruapan. CIR-Pacífico Centro, INIFAP.

INTRODUCCIÓN

En el mundo se producen fibras naturales de origen vegetal o biofibras, y en ese contexto México destaca porque posee una gran diversidad de especies productoras de dicho material que proceden, principalmente, de la familia Agavaceae, a la que pertenece la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), taxón nativo de las zonas áridas y semiáridas del sur de los Estados Unidos de América y de México (Castillo *et al.*, 2011). Su área de distribución nacional cubre una superficie aproximada a los 20 millones de hectáreas, que corresponden a 10% del territorio; comprende los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Castillo *et al.*, 2011). Esta planta aporta importantes beneficios socioeconómicos a los pobladores del área rural, debido a que la extracción de su fibra ha constituido una actividad de subsistencia familiar por generaciones (más de 70 años) y representa empleos directos; además de, las ventajas que significa la comercialización de la materia prima que de ella se obtiene (Castillo *et al.*, 2011) y que es transformada para elaborar diversos productos que, eventualmente, se convertirán en bienes de consumo.

La fibra de lechuguilla (ixtle) o *Tampico fiber*, como se conoce a nivel internacional, tiene una excelente calidad por su dureza, alta resistencia y durabilidad; por lo que se utiliza en la fabricación de diferentes utensilios domésticos (sogas, estropajos para el baño personal, cepillos y brochas para maquillaje) y dada su alta capacidad de absorción de agua (65%) y su resistencia a solventes químicos, calor, ácidos diluidos y concentrados, productos abrasivos, destilados del petróleo, alcoholes y aceites vegetales es empleada como sustituto de las cerdas en la fabricación de cepillos industriales, para la limpieza y la construcción (Lawrence Long Ltd, 2004; Fibras Saltillo, 2005).

Las perspectivas actuales de comercialización de la fibra de lechuguilla son alentadoras, debido a la presencia de un mercado nacional e internacional bien establecido con tendencias a una mayor demanda de fibras naturales, en los que 93% de la producción nacional se destina a la exportación, lo que genera una fuente de ingreso de divisas para el país. Cabe señalar que es la única nación exportadora. Entre 2003 y 2007 se registraron ventas de 350 mil dólares (Castillo *et al.*, 2011; Semarnat, 2010).

Al igual que muchos de los taxa vegetales de importancia económica de las zonas áridas y semiáridas, la lechuguilla ha estado sometida a una sobreexplotación, lo que ha provocado que sus poblaciones disminuyan, a tal grado que, cada vez es más difícil obtener la materia prima de poblaciones naturales y que además, se haya generado deterioro en los ecosistemas donde habita. Con la finalidad de contribuir a resolver esa problemática, se han realizado acciones para lograr un mejor aprovechamiento con técnicas que involucren desde metodologías para la evaluación y manejo de las poblaciones naturales (Berlanga *et al.*, 1991), hasta su

INTRODUCTION

Natural fibers of vegetal origin or biofibers are produced in the world, and in this context Mexico is outstanding because it owns a great diversity of producing species of this material that comes, mainly, from the Agavaceae family, to which *lechuguilla* (*Agave lechuguilla* Torr.) belongs, a species native to arid and semiarid areas of the southern United States and Mexico (Castillo *et al.*, 2011). Its national distribution area makes-up an area of about 20 million hectares, corresponding to 10% of the territory includes the states of Coahuila, Chihuahua, Nuevo Leon, Durango, San Luis Potosi, Tamaulipas and Zacatecas (Castillo *et al.*, 2011). This plant provides significant socio-economic benefits to the people in rural areas, because the fiber extraction of Lechuguilla has been a family subsistence activity for generations (over 70 years) and represents direct jobs, plus the advantages which means the marketing of the raw material it is obtained (Castillo *et al.*, 2011), which is transformed to produce various products that eventually become commodities.

Lechuguilla fiber (ixtle) or "Tampico fiber" as it is known internationally, has excellent quality due to its hardness, high strength and durability, so it is used in the manufacture of various household goods (ropes, scouring personal bath and brushes for makeup) and given its high water absorption capacity (65%) and resistance to chemical solvents, heat, dilute and concentrated acids, abrasives, petroleum distillates, alcohols and vegetable oils, is employed as a substitute for the bristles in the brush manufacturing industry, for cleaning and construction (Lawrence Long Ltd., 2004; Saltillo Fibers, 2005).

Current prospects of marketing *Lechuguilla* fiber are encouraging, because of the presence of national and international market trends well established with greater demand for natural fibers, in which 93% of domestic production is exported, generating a source of foreign exchange for the country, where Mexico is the only exporting country. Between 2003 and 2007 sales were \$ 350 000 (Castillo *et al.*, 2011; Semarnat, 2010).

Like many of the economically important plant species in arid and semiarid regions of Mexico, *Lechuguilla* has been subjected to over-exploitation, which has caused their populations decrease to such an extent that it is increasingly difficult obtaining raw materials from natural populations and furthermore, deterioration is generated in ecosystems inhabited. In order to help solve this problem, we have taken steps to make better use involving techniques from methodologies for the evaluation and management of natural populations (Berlanga *et al.*, 1991) to its domestication and cultivation, through techniques for the establishment and agronomic management of commercial plantations under rainfed conditions (Berlanga *et al.*, 1992a; Berlanga *et al.*, 1992b) and the use of fertilization and irrigation (Castillo *et al.*, 2008; 2012). However, as most of the fiber to the international market, is of great importance to know

domesticación y cultivo, a través de técnicas para el establecimiento y manejo agronómico de plantaciones comerciales bajo condiciones de temporal (Berlanga *et al.*, 1992a; Berlanga *et al.*, 1992b) y con la utilización de fertilización y riego (Castillo *et al.*, 2008; 2012). Sin embargo, como la mayor parte de la fibra se destina al mercado internacional, es de gran importancia conocer si la producida bajo cultivo y con un manejo intensivo presenta cambios importantes en sus características físicas y mecánicas.

Dentro de los métodos de evaluación de las fibras de origen vegetal o biofibras, están las pruebas físicas y mecánicas, que toman en cuenta el diámetro, que se refiere al grosor de una fibra expresado en milímetros; la densidad lineal o fineza, que se define como la relación entre el peso y la longitud de la fibra, es decir, a unidades de masa entre unidades de superficie y se expresa en unidades de masa sobre longitud (g cm^{-1}); el módulo de elasticidad longitudinal, que es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material; la resistencia a la tensión o elongación máxima, expresado en porcentaje (%), cuando un material es sometido a una fuerza tanto si es de comprensión, como de estiramiento (tensión o elongación) se produce una deformación. Todos los materiales tienden a soportar dicha fuerza de deformación hasta una cierta intensidad o grado, la cual puede ser de manera elástica o reversible, ya que al suprimir la tensión el material vuelve a su estado original (Belmares, 1979; Cazaurang, 1991; Aguilar, 2000; Juárez *et al.*, 2003).

En la Norma Mexicana NMX-FF-113-SCFI-2009 sobre los productos de origen vegetal-fibra (ixtle) 100% de Agave de lechuguilla (*Agave lechuguilla*) (Secretaría de Economía, 2009) se mencionan diferentes pruebas físico-mecánicas, entre ellas: Resistencia a la rotura (N), Elongación (%), Regain (%) que se refiere al contenido de humedad en la fibra, el color y longitud de la fibra y el peine, el cual es la parte de la fibra constituida por la base, de consistencia dura. En la literatura no existen estudios relacionados con la determinación de estas propiedades en plantas bajo cultivo; solo hay registros de algunas pruebas de fibra obtenida de poblaciones naturales como son los de Belmares (1979), Juárez *et al.* (2003) y Mayorga *et al.* (2004), además de informes de pruebas en otras especies de la familia Agavaceae como el henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) y el sisal (*Agave sisalana* Perrine) (Cazaurang, 1991). Este autor señala que las propiedades físicas y mecánicas de las fibras son uniformes en la sección media y que la morfología de la fibra de henequén es similar a la de otras fibras duras naturales entre ellas el sisal, yute (*Corchorus capsularis* L., o *C. olitorius* L.) y abacá (*Musa textilis* Nee).

El objetivo del estudio que se documenta fue determinar el efecto de plantación, con riego y fertilización en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra en cinco procedencias de lechuguilla.

whether the fiber produced under cultivation and intensive management presents important changes in their physical and mechanical properties.

Within the assessment methods of vegetable fibers or biofibers are the physical and mechanical tests, taking into account the diameter, which refers to the thickness of a fiber expressed in millimeters, the linear density or fineness, defined as the ratio between the weight and length of the fiber, i.e. a mass units between surface units and is expressed in units of mass over length (g cm^{-1}) longitudinal elastic modulus, which is a parameter characterizing the behavior of a material, the tensile strength and ultimate elongation, expressed as a percentage (%), when a material is subjected to a force, whether of understanding as stretching (strain or elongation) occurs deformation of the material. All materials tend to withstand the force of deformation to a certain intensity or degree, which can be elastically or reversible as to remove the tension, the material returns to its original state (Belmares 1979; Cazaurang 1991; Aguilar, 2000; Juárez *et al.*, 2003).

In the NMX-FF-113-SCFI-2009 Mexican Standard on plant products-fiber (ixtle) Agave *Lechuguilla* 100% (*Agave lechuguilla*) (Ministry of Economy, 2009) are mentioned the different physical and mechanical tests for *lechuguilla* fiber, among them are: breaking resistance (N); elongation (%) regain (%) which refers to the moisture content in the fiber, color and fiber length, and the comb, which is the fiber consists of the base, hard consistency.

In literature there are no studies related to the determination of physical and mechanical properties of lechuguilla fiber under cultivation, only some evidence of fiber obtained from natural populations such as those of Belmares (1979), Juárez *et al.* (2003) and Mayorga *et al.* (2004), as well as test reports to other species of the family Agavaceae as henequen (*Agave fourcroydes* Lem.) and sisal (*Agave sisalana* Perrine) (Cazaurang, 1991). The latter author indicates that the physical and mechanical properties of the fibers are uniform in the middle section and that the morphology of hemp fiber is similar to that of other hard fibers including natural sisal, yute (*Corchorus capsularis* L. or *C. olitorius* L.) and abacá (*Musa textilis* Nee).

The aim of this study was to determine the effect of planting with irrigation and fertilization of five provenances of Lechuguilla in the physical and mechanical properties of its fiber.

MATERIALS AND METHODS

Lechuguilla fiber was collected from a two years old experimental plantation established in "La Gloria" Ranch, at General Cepeda municipality, Coahuila, Mexico, geographically located at 25° 23 north and 101° 26 west and 1 258 masl, with a BS₀ h x ' type of climate, which is dry with little rainfall throughout the year, an average temperature of 19 ° C and average annual rainfall

MATERIALES Y MÉTODOS

La fibra se recolectó de una plantación experimental de dos años de edad establecida en el rancho "La Gloria" municipio General Cepeda, Coahuila, ubicado a 25° 23' latitud norte y 101° 26' longitud oeste y a 1 258 msnm, con un tipo de clima B_S h x', semiseco con lluvias escasas todo el año, una temperatura media anual de 19 °C y precipitación promedio anual de 313 mm. A las plantas de las que se extrajo la fibra se les habían aplicado de 100 y 200 kg de nitrógeno ha⁻¹ y riego mensual. Las cinco procedencias fueron: 1) Área Experimental "La Saucedá" y 2) ejido Paredón, municipio Ramos Arizpe, Coahuila; 3) ejido Marte y 4) rancho La Gloria, municipio General Cepeda, Coahuila; y 5) ejido Independencia, municipio Jaumave, Tamaulipas.

Los resultados de la aplicación de fertilización y riego en la plantación indican que no hubo diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos (Castillo *et al.*, 2008), por lo que la fibra fue seleccionada mediante un muestreo al azar en las parcelas experimentales, y se obtuvo del cogollo, el cual lo integran las hojas más tiernas de la planta, que están agrupadas al centro de esta y que contiene menos lignina que las hojas laterales. El desfibrado se hizo mediante tallado a mano, una de las dos técnicas tradicionales utilizadas para la extracción de la fibra, debido a que con este método se generan menos daños y se produce una cantidad menor de restos de materia orgánica.

Todas las pruebas en las fibras se realizaron a una temperatura de 20 °C y 60% de humedad relativa, en el Laboratorio de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Saltillo.

Pruebas físicas

Las pruebas físicas evaluadas fueron el diámetro promedio y la densidad lineal; en las propiedades mecánicas, la resistencia, el esfuerzo último a la tensión y la elongación máxima a la ruptura; todas las variables se realizaron con un diseño experimental completamente al azar, y la comparación de medias con la prueba de rangos múltiples de Duncan, por medio del software *Statistical Analysis System*® versión 9.1 (SAS, 2003).

Para la determinación del diámetro, se tomaron al azar lotes de 80 filamentos de cada una de las cinco procedencias. Se hicieron tres lecturas a lo largo de la fibra, del diámetro de la base, de la parte media y en la punta; las medidas se efectuaron con la ayuda de un calibrador digital vernier (lcd Truper) de 0.01 mm de precisión.

En el caso de la densidad lineal (unidades de masa entre unidades de superficie), se tomaron al azar 100 muestras (filamentos) de cada uno de las procedencias; posteriormente

of 313 mm. To the plants from which the fiber was extracted, 100 and 200 kg N ha⁻¹ and / or monthly watering had been applied; the five provenances were: 1) Experimental Area "La Saucedá" and 2) the Ejido Paredón, both at of Ramos Arizpe municipality, Coahuila., 3) Marte Ejido and 4) La Gloria Ranch, both from General Cepeda municipality, Coahuila and 5) Independencia municipality Jaumave Ejido, Tamaulipas.

The results of the application of fertilization and irrigation on the plantation indicate no statistically significant difference between treatments (Castillo *et al.*, 2008), so that the fiber used was selected through random sampling in experimental plots and obtained from the bud, which is made up by tender leaves of the plant, which are grouped in the center of this and that contains less lignin than lateral leaves. The pulping was done by grinding by hand, one of the two conventional techniques used for the extraction of the fiber, because this method generates less damage and produces a smaller amount of residual organic material.

All the tests were performed in the fibers at a temperature of 20 °C and 60% of relative humidity at the Laboratory of Metal Engineering of the Technological Institute of Saltillo.

Physical tests

The physical tests that were assessed were the average diameter and linear density, the mechanical properties, the ultimate stress resistance to stress and the maximum elongation at break, all variables were analyzed with a completely randomized design and comparison of means with Duncan's multiple range test, through the Statistical Analysis System software © version 9.1 (SAS, 2003).

To determine the diameter, batches of 80 filaments of each of the five sources were randomly selected. Three readings were made along the fiber, the diameter of the base, the middle and at the tip; the measurements were conducted with the aid of a digital vernier caliper (lcd Truper) of 0.01 mm precision.

For the linear density (mass units between surface units) 100 samples (filaments) were randomly taken from each of the sources; subsequently, a cut was made to the basal and apical fiber up to a distance of 50 mm; its length was measured with a ruler (1 mm) and the weight of the filament was determined by using an Scientelh analytical digital balance with an accuracy of 0.001 g.

The linear density was calculated with the equation of György (1986):

$$D = \frac{9000P}{L}$$

se realizó un corte a la parte basal y apical de la fibra hasta una distancia de 50 mm; se midió la longitud de la misma con una regla graduada (a 1 mm) y se determinó el peso de filamento mediante una balanza analítica digital marca *Scientel*h con precisión de 0.001 g.

La densidad lineal se calculó con la ecuación de György (1986):

$$D = \frac{9000P}{L}$$

Donde:

D = Densidad lineal (Decitex)

P = Peso de la muestra (g)

L = longitud de la muestra (m); se expresa en unidades de masa sobre longitud (g cm^{-1})

Pruebas mecánicas

Consistieron en la determinación de la resistencia a la tensión y elongación máxima de la fibra.

En la primera se seleccionaron por procedencia 20 muestras (filamentos) al azar; en cada una se midieron segmentos de 100 mm de longitud de la parte media de la fibra, los cuales se ensamblaron en una máquina de esfuerzos *Instron*, que se calibró a una velocidad de 50 mm min^{-1} . La fuerza de la tensión sobre la carga, así como la deformación quedó representada sobre el papel continuo procedente del registrador de la máquina. Así se determinó la carga máxima soportada por la fibra expresada en Newton.

La segunda prueba consistió en la elongación máxima que experimenta la fibra durante el ensayo de tensión, que se expresa como porcentaje de elongación, en la cual se registró el deslizamiento máximo de la fibra hasta el punto de ruptura al aplicar una carga constante; se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100$$

Donde:

l_0 = longitud inicial (marca de la calibración de la mordaza antes del ensayo)

l = Longitud final



Where:

D = Linear density (Decitex)

P = Weight of the sample (g)

L = Length of the sample (m); it is expressed in mass units over length (g cm^{-1})

Mechanical tests

They consisted of determining the tensile strength and maximal elongation of the fiber.

In the first one, 20 samples (filaments) were selected at random from each of the sources; in each one, 100 mm segments in length were measured from the middle of the fiber, which were assembled into an Instron effort machine, which was calibrated at a speed of 50 mm min^{-1} . The tension force on the load and the deformation was represented on the continuous paper from the machine recorder. This instrument determined the maximum load carried by the fiber, expressed in Newton.

The second test consisted of the maximum elongation experienced by the fiber during the tensile test, which is expressed as elongation percent, which recorded the maximum skidding of the fiber to the breaking point by applying a constant load; it was calculated by the following equation:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100$$

Where:

l_0 = Initial length (calibration mark of the clamp before testing)

l = Final length

RESULTS AND DISCUSIÓN

Fiber diameter

The analysis of variance (ANOVA) and comparison of means with the Duncan multiple range test of (RMD) of the basal, middle and apical diameter variables of *Lechuguilla* fiber, indicate that there is a highly significant statistical difference among provenances with a 99% probability. For all measurements (basal, middle and apical diameter), the Marte Ejido was the best. In the first, followed by the Independencia Ejido and thirdly the remaining locations. On average diameter, the second place belongs to Paredón Ejido, La Sauceda thirdly and finally, the La Gloria Ranch and Independencia Ejido. Paredón Ejido was second best in apical diameter (tables 1 to 6).

The largest diameter corresponds to the base of the bud, tapering towards the tip and to the basal diameter values were between 0.33 to 0.45 mm for the middle segment with 0.25 to 0.33mm and for the latter, of 0.20 to 0.27 mm. The

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro de fibra

Los análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias con la prueba de rango múltiple de Duncan (RMD), de las variables diámetro basal, medio y apical de la fibra de lechuguilla indican que existe diferencia estadística altamente significativa entre las procedencias, con 99% de probabilidad. En todas las mediciones (diámetro basal, medio y apical), El ejido Marte fue el mejor para el primero, le sigue el ejido Independencia y en tercer lugar el resto de las localidades. En diámetro medio, el segundo lugar corresponde al ejido Paredón; en tercer lugar La Saucedá y finalmente, el rancho La Gloria y ejido Independencia. En diámetro apical el segundo lugar correspondió al ejido Paredón (cuadros 1 al 6).

El diámetro mayor corresponde a la base del cogollo y disminuye gradualmente hasta la punta; para el diámetro basal se obtuvieron valores entre 0.33 a 0.45 mm, para el segmento medio con 0.25 a 0.33 mm y para el último, de 0.20 a 0.27 mm. Las localidades que sobresalen en diámetro basal son el ejido Marte y el ejido Independencia con 0.45 y 0.39 mm, y los de menor diámetro para La Saucedá, ejido Paredón y rancho La Gloria con 0.33, 0.35 mm y .35 mm, respectivamente. Respecto a la parte media, los diámetros son más homogéneos entre 0.25 y 0.33 mm, y destacan además del ejido Marte, el Paredón y La Saucedá, con 0.33 y 0.29 mm, seguido por rancho La Gloria y ejido Independencia de Jaumave con 0.27 y 0.25 mm de diámetro. En la parte apical de la fibra, el ejido Independencia, rancho La Gloria y ejido Marte obtuvieron 0.27 mm, y 0.21 y 0.20 para ejido Paredón y La Saucedá. Los resultados en relación con el diámetro de la fibra son muy similares a los determinados por Juárez *et al.*, (2003) en diámetros de las fibras de lechuguilla de poblaciones naturales, con un promedio máximo de 0.26 mm y mínimo de 0.16 mm. (Cuadro 7, Figura 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza del diámetro basal de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 1. Analysis of variance of basal diameter of *lechuguilla* fiber from five provenances.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	4	0.6797	0.1699	17.9033	**
Error	395	3.7495	0.0094		
Total	399	4.4293			

FV= factor de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; Fc = factor de corrección; ** = Altamente significativo (p<0.01).

FV= variation factor; GL = degrees of freedom; SC = sum of squares; CM = mean square; Fc = correction factor ; ** = Highly significant (p<0.01).

locations that excel in basal diameter are the Marte Ejido and Independencia Ejido with 0.45 and 0.39 mm, and smaller diameter for La Saucedá, Paredón Ejido and La Gloria Ranch to 0.33, 0.35 mm and 0.35 mm, respectively. With regard to the media, diameters were more homogeneous from 0.25 to 0.33 mm, and the Marte Ejido, the Paredón and La Saucedá are outstanding too, with 0.33 and 0.29 mm, followed by La Gloria Ranch and Independencia Ejido with 0.27 and 0.25 mm in diameter. In the apical part of the fiber, the Independencia Ejido, La Gloria Ranch and Marte Ejido were 0.27 mm, and 0.21 and 0.20 for Paredón Ejido and La Saucedá. The results obtained in relation to the diameter of the fiber are very similar to those determined by Juárez *et al.* (2003) for fiber diameters of natural populations of lechuguilla, with a maximum average of 0.26 mm and 0.16 mm as minimum (Table 7 and Figure 1).

This demonstrated that lechuguilla fiber, as well as other natural fibers such as *henequén* (Cazaurang, 1991) and the same obtained from natural populations of *lechuguilla* (Juárez *et al.*, 2003) have a diameter variation along the fiber from its basal and apical portion, where the bottom of the fiber has the largest diameter, the midsection is more homogeneous, which is significantly reduced as it approaches the apical portion, where the lowest values were registered. In the results of the tests of the fibers subjected to cultivation (irrigation and fertilization planting) compared to natural populations (Juárez *et al.*, 2003) there were not found any substantial variations in relation to the diameter in its three segments.

Linear density

The ANOVA and the comparison of means with RMD of the linear density variable indicate that there is a statistically highly significant difference among provenances with a 99% probability (tables 8 and 9).



Cuadro 2. Comparación del promedio del diámetro basal de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 2. Comparison of the average of basal diameter of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Procedencia	Diámetro basal promedio (mm)	Comparación
Ejido Marte	0.448	a
Ejido Independencia	0.389	b
Ejido Paredón	0.350	c
Rancho La Gloria	0.350	c
La Sauceda	0.333	c

Los valores promedio con la misma letra indican que son estadísticamente iguales ($p < 0.01$).Average values with the same letter mean that they are statistically equal ($p < 0.01$).

Cuadro 3. Análisis de varianza del diámetro medio de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 3. Analysis of variance of middle diameter of *lechuguilla* fiber from five provenances.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	4	0.2835	0.0708	19.3794	**
Error	395	1.4449	0.0036		
Total	399	1.7285			

FV= factor de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; Fc = factor de corrección; ** = Altamente significativo ($p < 0.01$).FV= variation factor; GL = degrees of freedom; SC = sum of squares; CM = mean square; Fc = correction factor ; ** = Highly significant ($p < 0.01$).

Cuadro 4. Comparación del promedio del diámetro medio de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 4. Comparison of the average of middle diameter of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Tratamiento	Diámetro medio promedio (mm)	Comparación
Ejido Marte	0.333	a
Ejido Paredón	0.292	b
La Sauceda	0.290	bc
Rancho La Gloria	0.272	c
Ejido Independencia	0.253	d

Los valores promedio con la misma letra indican que son estadísticamente iguales ($p < 0.01$).Average values with the same letter mean that they are statistically equal ($p < 0.01$).

Cuadro 5. Análisis de varianza del diámetro apical de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 5. Analysis of variance of apical diameter of *lechuguilla* fiber from five provenances.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	4	0.5151	0.1287	27.0947	**
Error	395	1.8776	0.0047		
Total	399	2.3928			

FV= factor de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; Fc = factor de corrección; ** = Altamente significativo ($p < 0.01$).FV= variation factor; GL = degrees of freedom; SC = sum of squares; CM = mean square; Fc = correction factor ; ** = Highly significant ($p < 0.01$).

Cuadro 6. Comparación del promedio del diámetro apical de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 6. Comparison of the average of apical diameter of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Tratamiento	Diámetro apical promedio (mm)	Comparación
Ejido Marte	0.2660	a
Ejido Paredón	0.2137	b
La Saucedá	0.1978	bc
Rancho La Gloria	0.1777	cd
Ejido Independencia	0.1619	d

Los valores promedio con la misma letra indican que son estadísticamente iguales ($p < 0.01$).

Average values with the same letter mean that they are statistically equal ($p < 0.01$).

Cuadro 7. Valores promedio del diámetro a lo largo de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 7. Average values of diameter along the fiber of *lechuguilla* from five provenances

Procedencia	Diámetro basal (mm)	Desviación estándar	Diámetro medio (mm)	Desviación estándar	Diámetro apical (mm)	Desviación estándar
Ejido Marte	0.45	0.09	0.33	0.05	0.27	0.10
Ejido Independencia	0.39	0.12	0.25	0.05	0.16	0.04
Rancho La Gloria	0.35	0.07	0.27	0.05	0.18	0.06
Ejido Paredón	0.35	0.09	0.29	0.05	0.21	0.06
La Saucedá	0.33	0.08	0.29	0.06	0.20	0.05

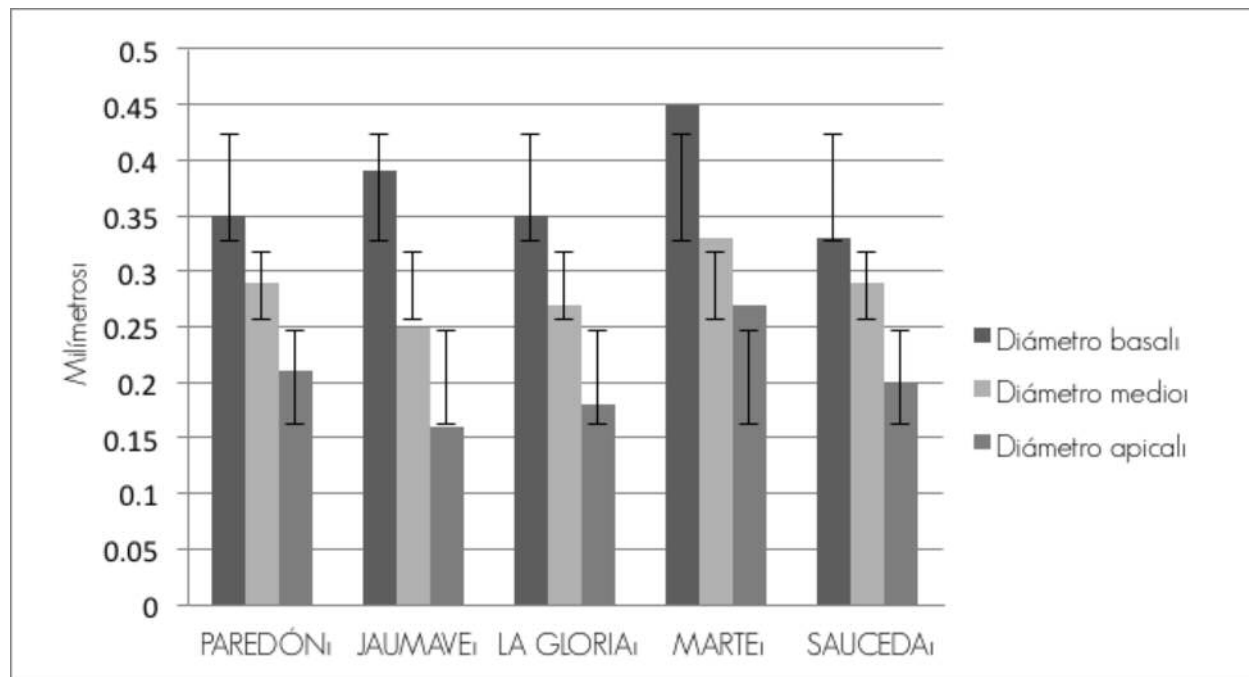


Figura 1. Diámetros promedio a lo largo de la fibra de cinco procedencias de lechuguilla.

Figure 1. Average diameters along the *lechuguilla* fiber from five provenances.

Lo anterior demostró que la fibra de la lechuguilla cultivada, al igual que otras fibras naturales como el henequén (Cazaurang, 1991) (Juárez *et al.*, 2003) presentan una variación del diámetro a lo largo de la fibra desde su parte basal y apical, en cuya parte inferior de la fibra presenta el mayor diámetro, la sección media es más homogénea, la cual se reduce notablemente conforme se aproxima a la parte apical, en la que se registran los valores más bajos. Los resultados de las pruebas en fibras sometidas al cultivo (plantación con fertilización y riego) comparados con las de poblaciones naturales (Juárez *et al.*, 2003) no presentaron variaciones sustanciales en relación con el diámetro en los tres segmentos de la misma.

Densidad lineal

El ANOVA y la comparación de medias con RMD de la variable densidad lineal evidencian la existencia de diferencias estadísticas altamente significativas entre las procedencias con 99% de probabilidad (cuadros 8 y 9). Se tienen variaciones de 10.74 a 5.97 Decitex (g m^{-1}); la procedencia ejido Marte obtuvo la mayor respuesta con un valor de 10.74, con una desviación estándar de 2.10, seguida por el ejido Paredón con 10.55, una desviación estándar de 3.35; rancho La Gloria reflejó la menor densidad lineal con 5.97 y una desviación estándar de 1.18 (Cuadro 10).

Cuadro 8. Análisis de varianza de la densidad lineal de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.
 Table 8. Analysis of variance of the linear density of *lechuguilla* fiber from five provenances.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	4	1975	493.8	92.81	**
Error	500	2660	5.3		
Total	504	4635			

FV= factor de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; Fc = factor de corrección; ** = Altamente significativo ($p<0.01$).
 FV= variation factor; GL = degrees of freedom; SC = sum of squares; CM = mean square; Fc = correction factor ; ** = Highly significant ($p<0.01$).

Cuadro 9. Comparación del promedio de densidad lineal de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.
 Table 9. Comparison of means of the linear density of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Tratamiento	Densidad lineal (g m^{-1})	Comparación
Ejido Marte	10.74	a
Ejido Paredón	10.55	a
La Sauceda	8.88	ab
Ejido Independencia	6.56	bc
Rancho La Gloria	5.97	c

Los valores promedio con la misma letra indican que son estadísticamente iguales ($p<0.01$).
 Average values with the same letter mean that they are statistically equal ($p<0.01$).

There are variations between 10.74 and 5.97 decitex (g m^{-1}); the Marte Ejido provenance had the highest response with 10.74, and a standard deviation of 2.10, followed by Paredón Ejido with 10.55 and a standard deviation of 3.35; La Gloria Ranch had the lowest linear density with 5.97 and a standard deviation of 1.18 (Table 10).

When analyzing the quality of fiber of *A. lechuguilla* obtained from natural populations, Mayorga *et al.* (2004) compared manual and mechanical pulping; their results indicate that the linear density of the hand- carved material was lower, with 949.53 g m^{-1} , as the machine-made was 1352.54 g m^{-1} ; this difference can be explained as the fiber is coarser by the large amount of residue adhered therein. These values are very similar to those found in this study (602.71 to 1 084.91 Decitex), and the contrast between the values can be understood as the fiber was collected from experimental plantations with fertilization and irrigation; in addition, the fiber was obtained by hand carved, and in this mode the weight and diameter of the fiber were different according to each location or provenance.



Al hacer un análisis sobre la calidad de la fibra de *A. lechuguilla* obtenida de poblaciones naturales, Mayorga *et al.* (2004) compararon el desfibrado manual y el mecánico; sus resultados indican que la densidad lineal para el tallado a mano fue menor, con 949.53 g m^{-1} , pues el hecho a máquina fue de $1\,352.54 \text{ g m}^{-1}$; diferencia que se atribuye a que la fibra es más burda por la gran cantidad de residuo adherido que contiene. Estos valores son muy similares a los registrados en este estudio (602.71 a $1\,084.91$ Decitex), y el contraste entre ellos puede explicarse porque la fibra se recolectó en plantaciones experimentales con fertilización y riego; además, la fibra se obtuvo con el tallado a mano, y en esta modalidad el peso y el diámetro de dicha fibra fueron distintos a partir de cada localidad o procedencia.

Resistencia a la tensión

Con el ANOVA y la comparación de medias con RMD de la variable resistencia a la tensión, se detectó que no existe diferencia estadística significativa entre las procedencias (Cuadro 11). Sin embargo, los resultados señalan que la carga máxima que soportaron las procedencias evaluadas en la plantación variaron de 19.67 a 22.84 Newton (N). La mejor respuesta a la resistencia fue para el ejido Marte con 22.84 N, y una desviación estándar de 4.37 , debido a que presentó mayor diámetro medio (0.33 mm); a la que siguen La Saucedá y el ejido Independencia de Jaumave con 20.62 y 20.00 N, con desviación estándar de 7.22 y 5.50 ; por otra parte, las menores fueron para ejido Paredón con 19.85 N y rancho La Gloria con 19.67 N, con 4.45 y 5.39 de desviación estándar (Figura 2). Los valores aquí descritos son muy semejantes a los mencionados por Mayorga *et al.* (2004) quienes obtuvieron promedios de 18.91 en desfibrado manual y 21.04 con tallado mecánico; cabe aclarar que dichos autores tomaron el material de poblaciones naturales y la fibra en este estudio era de plantaciones experimentales, lo cual demuestra que la fibra al ser sometida al cultivo y manejo no disminuye la resistencia a la tensión.



Cuadro 11. Análisis de varianza de la resistencia a la tensión de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 11. Analysis of variance of stress resistance of *lechuguilla* fiber from five provenances.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	4	136.3	34.08	1.13	N.S.
Error	95	2866.0	30.17		
Total	99				

FV= factor de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; Fc = factor de corrección; N.S. = No significativo.
FV= variation factor; GL = degrees of freedom; SC = sum of squares; CM = mean square; Fc = correction factor; N.S. = Non- significant ($p < 0.01$).



Cuadro 10. Valores de densidad lineal o fineza de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 10. Linear density or finesse of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Procedencias	Densidad lineal (Decitex) (g m^{-1})	Desviación estándar
Ejido Marte	10.74	2.10
Ejido Paredón	10.55	3.35
La Saucedá	8.88	2.42
Ejido Independencia	6.56	1.92
Rancho La Gloria	5.97	1.18

Stress resistance

With ANOVA and the comparison of means with RMD of the stress resistance variable, it was found that there is no statistical significant difference among provenances (Table 11). However, results show that the maximum load that the assessed provenances endured in the plantation varied from 19.67 to 22.84 Newton (N). The best response for resistance came from Marte Ejido with 22.84 N and 4.37 as standard deviation, since it had the greatest mean diameter (0.33 mm); it was followed by La Saucedá and Independencia Ejido with 20.62 and 20.00 N, and a standard deviation of 7.22 and 5.50 ; on the other hand, the lowest were Paredón Ejido with 19.85 N and La Gloria Ranch with 19.67 N, and 4.45 and 5.39 as standard deviation (Figure 2). These values are very similar to those of Mayorga *et al.* (2004) who obtained average values of 18.91 in hand carved fiber and of 21.04 with mechanical carved; it is worth noting that these authors got their material from natural populations, and the fiber handled in this study came from experimental plantations, which confirms that the fiber subjected to cultivation and management does not lower its stress resistance, compared to the fiber from natural populations.

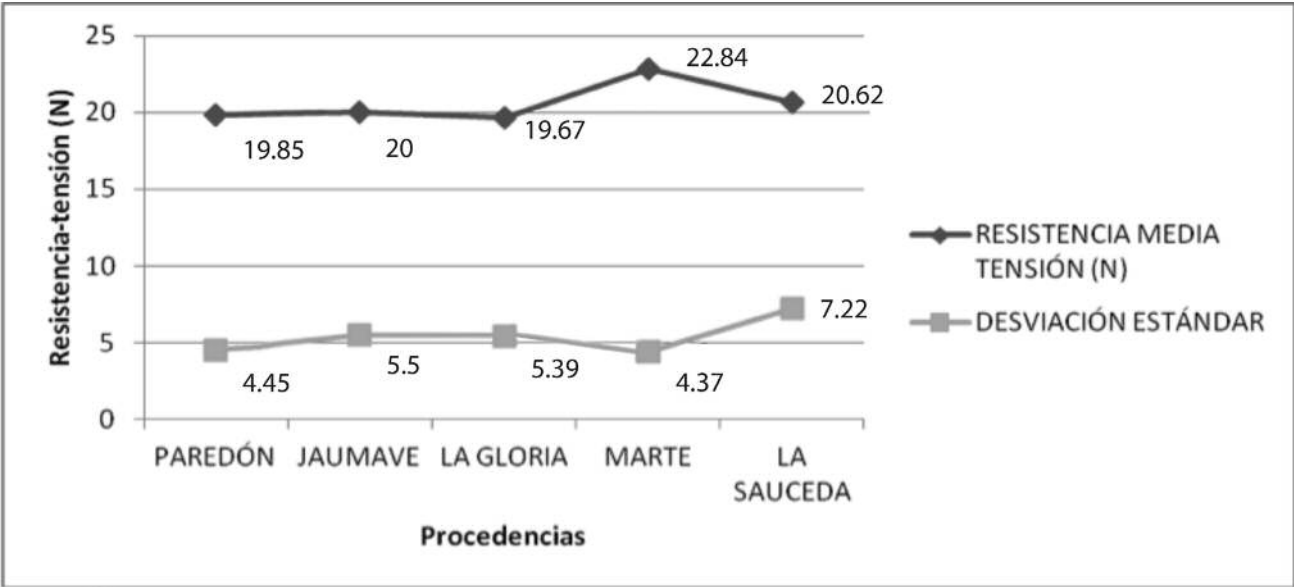


Figura 2. Valores promedio de la resistencia a la tensión de la fibra de cinco procedencias de lechuguilla.
Figure 2. Average values of stress resistance of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Elongación máxima

Con el ANOVA y la comparación de medias con RMD de la variable elongación máxima, se determinó que estadísticamente existe diferencia altamente significativa entre las procedencias con 99% de probabilidad (cuadros 12 y 13). Los resultados tendieron a variar en un intervalo de 7.97 a 12.46% (Figura 3) y muestran que hay una recuperación apropiada del material; además concuerdan con lo citado por Belmares *et al.* (1979) quienes realizaron pruebas de elongación de fibra obtenida de poblaciones naturales.

Maximum elongation

With ANOVA and the comparison of means with RMD of the maximum elongation variable, it was found that there is no statistical significant difference among provenances with a 99% probability (tables 12 and 13). This test among provenances in this study tended to vary in a range from 7.97 to 12.46% (Figure 3). Results show that there is a good material recovery and agree with those by Belmares *et al.* (1979) who performed elongation tests with fiber from wild populations.

Cuadro 12. Análisis de varianza de la elongación máxima de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.
Table 12. Analysis of variance of maximum elongation of *lechuguilla* fiber from five provenances.

FV	GL	SC	CM	Fcalc	P>F
Tratamientos	4	1562.2	390.5	215	**
Error	95	172.6	1.8		
Total	99				

FV= factor de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; ** = Altamente significativo (p<0.01).
FV= variation factor; GL = degrees of freedom; SC = sum of squares; CM = mean square; Fc = correction factor ; ** = Highly significant (p<0.01).



Cuadro 13. Comparación del promedio de la elongación máxima de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Table 13. Comparison of means of the maximum elongation of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Tratamiento	Elongación máxima (%)	Comparación
La Sauceda	12.46	a
Rancho La Gloria	12.45	a
Ejido Paredón	11.47	a
Ejido Marte	11.25	a
Ejido Independencia, Jaumave	7.97	b

Los valores promedio con la misma letra indican que son estadísticamente iguales ($p < 0.01$).

Average values with the same letter mean that they are statistically equal ($p < 0.01$).

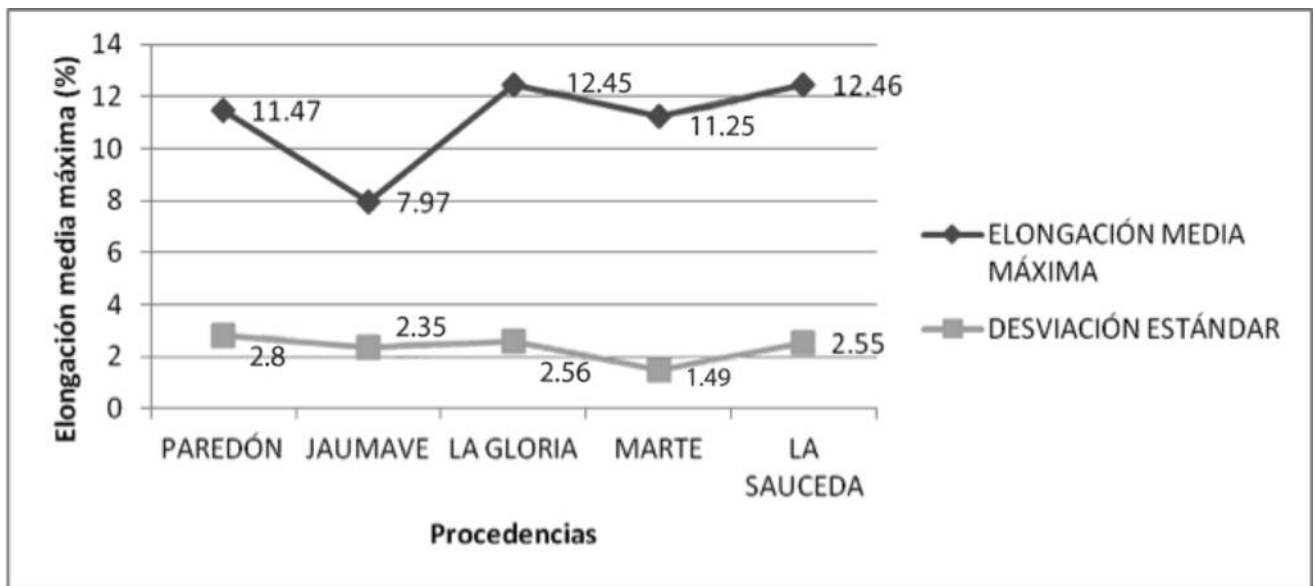


Figura 3. Valores de la elongación máxima de la fibra de lechuguilla de cinco procedencias.

Figure 3. Values of the maximum elongation of *lechuguilla* fiber from five provenances.

Con los resultados anteriores se comprueba que la lechuguilla en plantaciones con manejo intensivo no se alteran las características mecánicas propias de su fibra en condiciones naturales, ya que tienden a su estado normal, esta respuesta es muy similar a lo que sucede con el sisal (Lock, 1969). Asimismo, Mayorga *et al.* (2004) afirmaron haber tenido valores de 6.42% con tratamiento manual y 7.17% de manera mecánica en la elongación con fibras de lechuguilla. De acuerdo a lo anterior se demuestra que la fibra de lechuguilla es dúctil, pudiéndose mantener permanentemente alargada, lo cual confirma las respuestas concordantes de las leyes Hooke antes de llegar al límite de rompimiento.

With the former results it is proved that when *lechuguilla* is cultivated in plantations with intensive management, its mechanical traits of fiber in natural conditions are not altered, since they tend to keep their normal status; this response is very similar to what happens to sisal (Lock, 1969). Also, Mayorga *et al.* (2004) confirmed having obtained values of 6.42% with hand carved fiber and of 7.17% with mechanically carved fiber in terms of elongations. This means that *lechuguilla* fiber is ductile, keeping itself permanently long, which states the responses that agree with Hooke's laws before they get to the breaking point.



CONCLUSIONES

Las propiedades físico-mecánicas de la fibra de lechuguilla no se afectan al producir la planta en plantaciones con fertilización nitrogenada y riego.

Una baja densidad lineal (5.97 y 6.56 Decitex) en la fibra de lechuguilla refleja una fineza superior, y con una densidad lineal (8.8 a 10.74 Decitex) la fibra tiende a ser más áspera y dura, esto indica el tipo de uso que se le puede proporcionar, lo cual está relacionado con las condiciones agroclimáticas y la genética propia de la planta.

Las procedencias de los ejidos Marte y Paredón, y La Sauceda son genotipos con características para producir fibras duras y ásperas resistentes a la tensión; la del rancho La Gloria y ejido Independencia producen fibras más finas. Esto se debe a las condiciones ecológicas de cada unas de las procedencias como altitud, temperatura y precipitación, para el caso de las tres primeras tienen registros de lluvia promedio menores a 200 mm, para el caso del rancho La Gloria es de 330 mm y para ejido Independencia es de 750 mm.

Cuando la fibra demuestra tener una menor elongación en porcentaje y baja tensión, se debe a su fineza o delicadeza, por tal razón este tipo de estudio es de gran importancia, porque de acuerdo a las características del material por cada procedencia, podría definirse su uso particular. 🌿

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce Coahuila, A. C. y al Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR (CONAFOR-2003-C03-10360) por el financiamiento otorgado para la presente investigación. De igual forma se hace un reconocimiento al Ing. Emilio Arizpe Narro (productor cooperante) por facilitar las instalaciones del rancho La Gloria, donde se llevó a cabo parte del trabajo experimental.

REFERENCIAS

- Aguilar, G. M. 2000. Biomecánica: la física y la fisiología. CSIC, Madrid, España. 433 p. <http://books.google.com.mx/books?id=k3nP1vZnY7gC&pg=PA379&lpg=PA379&dq=resistencia+de+materiales+biologicos&source=bl&ots=S3RGOp1PQJ&sig=OShaY8igV8CpAkl7sGyLDolxU&hl=es&sa=X&ei=wygXT6HICqKvsAKZn4IAQ&ved=0CEsQ6AEwBQ#v=onepage&q=resistencia%20de%20materiales%20biologicos&f=false> (6 de febrero de 2012).
- Berlanga R., C. A. 1991. Producción y recuperación de lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.) en poblaciones naturales. In: III Simposio Nacional Sobre Ecología, Manejo y Domesticación de Plantas Útiles del Desierto. INIFAP. Saltillo, Coah. México. 78 p.
- Berlanga R., C. A., M. García V. y L. A. González L. 1992a. Técnicas para el establecimiento y manejo de una plantación de lechuguilla. Folleto Divulgativo No. 1. SARH-INIFAP-CIRNE. Campo Experimental "La Sauceda" Saltillo, Coah. México. 8 p.

CONCLUSIONS

The physical and mechanical properties of the fiber of *lechuguilla* are not affected when it is cultivated in plantations with nitrogen fertilization and irrigation.

A low linear density (5.97 and 6.56 Decitex) in *lechuguilla* fiber reveals greater delicacy, and at higher linear density (8.8 to 10.74 Decitex) the fiber tends to be rougher and hard, which suggests the kind of use that is more proper, which is related to the agroclimatic conditions and the genetics of the plant.

The provenances of Marte and Paredón Ejidos and La Sauceda are genotypes with traits to produce hard and rough fibers resistant to stress; those from La Gloria Ranch and Independencia Ejido produce finer fibers. This is due to the ecological conditions of each of the provenances such as altitude, temperature and rain fall, where for the first three places, there are average rain records beyond 200 mm, for La Gloria Ranch, of 330 mm and for Independencia Ejido, 750 mm.

A smaller elongation in percent and a low tension of the fiber is due to its finesse or delicacy; therefore, this kind of study is very important, as, according to the characteristics of the material from each provenance, its particular use could be recommended. 🌿

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Fundación Produce Coahuila, A. C. and to CONACYT-CONAFOR (CONAFOR-2003-C03-10360) for providing the financial support for the actual research. Also, to Ing. Emilio Arizpe Narro (supporting producer) for lending his facilities at La Gloria Ranch where part of the experimental work was carried out.

End of the English version



- Berlanga R., C. C., L. A. González L. y H. Franco. 1992b. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto Técnico No. 1 SARH-INIFAP-CIRNE. Campo Experimental "La Saucedá" Saltillo, Coah. México. 22 p.
- Belmares, H., J. E. Castillo and A. Barrera. 1979. Natural hard fibers of the North American Continent. Statistical correlations of physical and mechanical properties of lechuguilla (*Agave lechuguilla*) fibers. *Textile Research Journal* 49:619-622.
- 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. *Rev. Cien. For. en Méx.* Vol. 33 (103): 27-40.
- 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 Boletín de la Sociedad de Cactáceas y Suculentas. 23 p.
- Castillo Q., D., M. Narcia V. y A. Cano P. 2012. Valoración de la producción de fibra de cinco procedencias de (*Agave lechuguilla* Torr.) bajo manejo intensivo. In: Memoria del VIII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. Bermejillo, Dgo., México. pp. 347-356.
- Cazaurang M., M. N., P. J. Herrera F., P. I. González Ch. and M. Aguilar V. 1991. Physical and mechanical properties of henquen fibers. *J. Appl. Polymer Sci.* 43: 749-756.
- Fibras Saltillo. 2005. Fibras Saltillo <http://www.fibrassaltillo.com> (28 de junio de 2005).
- György, S. 1986. *Mechanics of agricultural materials*. Elsevier Science Pub. Co. New York, NY. USA. pp: 121-125.
- Juárez A., C. A., P. Rodríguez L., R. Rivera V. y A. Rechy V. R. 2003. Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. *Ciencia*. Octubre-Diciembre. UANL/ Vol. VI (4): 465-475.
- Lawrence Long Limited. 2004. Tampico fiber (Mexican fiber) <http://freespace.virgin.net/~paul.long3/tampico.html> (25 de julio de 2005).
- Lock, G. W. 1969. *Sisal, Thirty Years: Sisal Research in Tanzania*. Longmans Green. London, UK. pp. 279-280.
- 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 lechuguilla* Torr. procesada manual y mecánicamente. *Agrociencia* 38: 219-225.
- Statistical Analysis System (SAS). 2003. *SAS/STAT: Users Guide*, Ver. 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 1596p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. Fichas de información comercial de productos forestales. Comisión Nacional Forestal y Fondos Mixtos para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal. México, D.F. México. 13 p.
- Secretaría de Economía. 2009. Norma mexicana NMX-FF-113-SCFI-2009. Productos de origen vegetal-fibra (ixtle) 100% de agave de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.)- especificaciones. Diario Oficial de la Federación. 29/09/2009. <http://dof.gob.mx/notdetalle.php?codigo=5111917&fecha=29/09/2009> (12 de noviembre de 2012).

