

Características Morfoanatómicas y Productividad de Fibra en *Agave lecheguilla* Torr., en Nuevo León, México¹

L. Villarreal R.*, R.K. Maiti*

ABSTRACT

This study evaluates the qualitative and quantitative morpho-anatomic characteristics, growth and fiber productivity of *Agave lecheguilla* Torr. in different localities of Nuevo Leon, Mexico, and also the ecological conditions which influence the fiber productivity. Significant differences were found among morpho-anatomical variables and fiber yield. A regression model was established to estimate fiber yield as a function of different variables studied.

COMPENDIO

En este estudio se evalúan, cualitativa y cuantitativamente, las características morfoanatómicas, el desarrollo y la productividad de las fibras de *Agave lecheguilla* Torr., en diferentes localidades de Nuevo León, México, así como las condiciones ecológicas en que se desarrolla esta planta y que influyen en su productividad. Se hallaron diferencias significativas entre las variables morfoanatómicas y la producción de fibra. Se estableció un modelo de regresión como función de los parámetros estudiados.

INTRODUCCION

La lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.) es una fuente importante de ingresos para los habitantes del área rural en las regiones áridas y semiáridas de México (12). Generalmente de la hoja joven (cogollo) de esta planta se extraen fibras en forma manual (8, 12). En algunas áreas de Nuevo León se explota intensamente.

La información científica disponible sobre la variabilidad en producción de fibra, estructura, calidad, y aspectos ecológicos y de productividad es escasa (8). Sí existen algunas publicaciones donde se estudian los parámetros fisiológicos relacionados con el rendimiento en agaves, incluyendo *A. lecheguilla* (9, 10, 11).

En este artículo se estudian las características morfoanatómicas relacionadas con la productividad de la fibra de lechuguilla en nueve localidades de Mina, Nuevo León, y se da atención especial a la estimación cuantitativa del crecimiento y desarrollo de la fibra celular en esta planta.

METODOLOGIA

Se seleccionaron nueve puntos de muestreo, denominados El Puerto, La Popa, San Felipe, San Bernardino, San Nicolás, Espinazo, Casa Blanca, La Soledad y Límites del Estado, en los cuales se recolectaron dos plantas completas representativas del área. Estas se trasladaron al laboratorio, para analizar aspectos morfológicos, anatómicos y de producción de fibra por hoja.

Morfología

Se evaluaron aspectos morfológicos con base en características cualitativas y cuantitativas. La planta se seccionó en tres partes: hoja externa, media y cogollo; y se escogieron cinco hojas de cada grupo, a las cuales se les tomaron los siguientes datos: largo de hoja, ancho de la hoja a nivel base, media y ápice. En total se analizaron 270 hojas: 15 hojas de cada una de las dos plantas recogidas en los nueve puntos de muestreo.

Producción de fibras

Se extrajeron las fibras de cada una de las hojas mediante el método tradicional (manual) (3), y se etiquetaron. Se secaron al medio ambiente (25°C - 34°C) durante diez días, y luego se determinaron el peso seco y el número de filamentos por hoja.

¹ Recibido para publicación el 18 de setiembre de 1989.

* Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica, División de Postgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, Méx.

Anatomía

Entre las características anatómicas estudiadas se incluyen el desarrollo de la fibra y la anatomía de ésta. Se realizaron cortes transversales y longitudinales en la hoja con una navaja fina a nivel de la base, parte media y ápice en cada uno de los tipos de hoja (cogollo, media y externa), para estudiar el desarrollo de la fibra (cinco hojas por cada tipo).

Para estudiar el desarrollo de la fibra celular, se marcó el macizo de fibra de cada una de las hojas en los tres niveles (basal, media y apical), utilizando la técnica de Johansen (4). Se tomaron 2430 datos para cada una de las variables, los cuales incluyen 15 hojas por planta (cinco hojas de cada tipo: cogollo, media y externa) a los tres niveles (base, media y ápice) de la hoja, en dos plantas de cada uno de los nueve sitios de muestreo. Las medidas de las variables (largo de célula, ancho de célula y grosor de pared celular) se expresan en micras (μ).

Diseño experimental

Para estudiar la variabilidad del rendimiento (peso seco de la fibra) por tipo de la hoja y localidad, se utilizó un método completamente aleatorio. Se efectuó un análisis de correlación múltiple para estimar el grado de asociación lineal entre las variables involucradas. También se realizó un análisis de regresión lineal para explicar, a través de este modelo, la relación de las

variables o factores involucrados y utilizar dicho modelo para predicciones de rendimiento (13).

RESULTADOS

Aspectos morfológicos y componentes de rendimiento

El análisis de las distintas variables morfológicas mostró una diferencia significativa entre las localidades del muestreo (Cuadro 1). También las variables morfológicas de la hoja (cogollo, media y externa) presentaron una diferencia en cada tipo de hoja, aunque en algunas variables no fue significativa (Cuadro 2). La correlación entre las variables morfológicas y componentes de rendimiento en las nueve localidades indicó diferentes grados de asociación (r): largo de hoja, ancho basal y número de filamentos tienen mayor contribución en el rendimiento (Cuadro 3).

Los análisis de regresión para estimar el rendimiento de fibra de cada hoja fueron calculados como una función de diferentes variables: X 5 (longitud de hoja), X 6 (ancho basal de la hoja), X 7 (ancho medio de hoja) y X 10 (número de filamentos), con una confiabilidad del 46.28 por ciento.

$$\Psi = -.0026 + 0.0814 (X 5) - 0.1841 (X 8) + 0.3044 (X 6) + 0.3513 (X 7) - 0.0026 (R^2 = 0.4626) \text{ (global)}$$

Cuadro 1. Estimaciones de la distribución F en la comparación de tipos de hoja de *Agave lecheguilla* Torr., en sus variables morfológicas por localidad.

Variab morfológicas	El Puerto	La Popa	San Felipe	San Bernardino	San Nicolás
Longitud de hoja (cm)	18.07**	34.19**	17.43**	13.99**	21.34**
Ancho basal de hoja (cm)	12.19**	15.59**	4.65*	17.64**	47.67**
Ancho medio de hoja (cm)	28.12**	7.24**	9.03**	11.89**	6.31**
Ancho apical de la hoja (cm)	3.84**	3.58**	7.65**	0.58	1.16
Peso seco de filamentos (g)	22.89*	15.07**	1.25	4.49*	106.10**
Número de filamentos por hoja	2.03	17.33**	0.08	7.54**	18.44**

Cuadro 1. (Continuación)

Variables morfológicas	Espinazo	Casa Blanca	La Soledad	Límites del Estado
Longitud de hoja (cm)	20.11**	20.21**	21.84**	3.11
Ancho basal de hoja (cm)	19.19**	4.07*	4.78*	20.38**
Ancho medio de hoja (cm)	64.00**	7.31**	0.14	8.36**
Ancho apical de la hoja (cm)	1.34	0.99	0.51	4.50*
Peso seco de filamentos (g)	5.31*	9.86**	7.99**	8.97**
Número de filamentos por hoja	12.05**	0.87	1.20	16.84**

*: P < 0.05

**: P < 0.01

En la hoja de cogollo, el peso seco es función de los parámetros X 5 (longitud de hoja), X 8 (ancho apical de hoja), X 6 (ancho de hoja basal), X 10 (número de filamentos), X 7 (ancho de hoja parte media), con una confiabilidad del 41 por ciento.

Cuadro 2. ANOVA de las variables morfológicas de las hojas de cogollo, media y externa en *Agave lecheguilla* Torr.

Variables	Cogollo F	Media F	Externa F
Longitud de hoja (cm)	18.06**	9.04**	8.91**
Ancho de hoja base (cm)	2.54**	18.25**	36.93**
Ancho de hoja media (cm)	3.04**	8.12**	6.63**
Ancho de hoja ápice (cm)	1.76	2.91**	4.93**
Peso seco de fibra (g)	7.02**	15.56**	9.80**
Número de filamentos	14.84**	30.66**	44.73**

* = P < 0.05

** = P < 0.01

$$\Psi = -1.7576 + 0.0891 (X 5) + 0.3356 (X 8) + 0.2268 (X 6) - 0.0028 (X 10) - 0.1289 (X 7) (R^2 = 0.4186)$$

En hoja media el peso seco es una función de los parámetros X 5 (longitud de hoja), X 7 (ancho de hoja parte media), X 10 (número de filamentos), X 8 (ancho de hoja parte apical) y X 6 (ancho de hoja parte basal) con una confiabilidad de 30 por ciento.

$$\Psi = -2.1967 + 0.0716 (X 5) - 0.3546 (X 8) + 0.4526 (X 10) - 0.4697 (X 6) (R^2 = 0.4582)$$

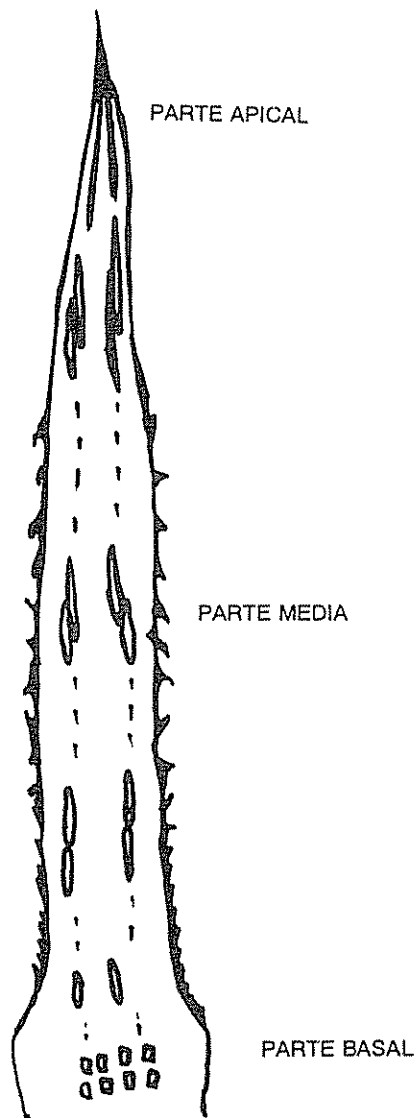
Aspectos anatómicos. Desarrollo de la fibra

La célula de la fibra se deriva por modificaciones del parénquima procambial que forma la fibra inicial. Esta célula presenta una gran cantidad de contenido protoplásmico, gránulos y una pared delgada; se desarrolla en la región meristemática de la base de la hoja, en donde las fibras iniciales aumentan por división celular repetida (Fig. 1).

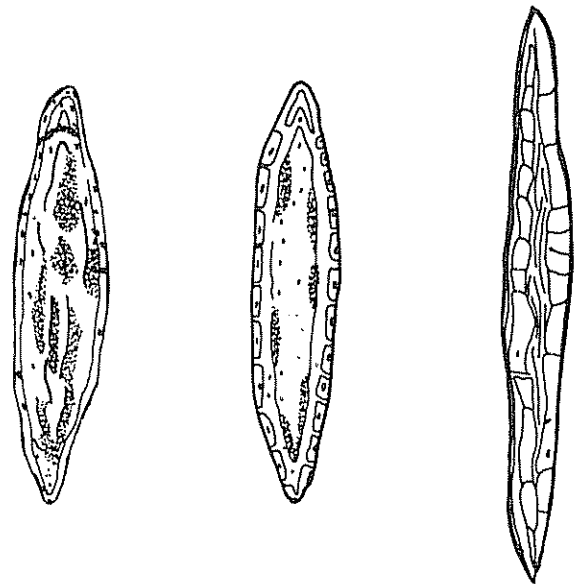
El desarrollo de la célula de fibra se presenta en dos fases: 1) expansión de la pared primaria y 2) engrosamiento de la pared celular. La expansión ocurre por la oposición y deposición de material protoplásmico sobre la pared primaria para formar la pared secundaria. Esta se origina después que la pared primaria termina su desarrollo, depositándose el material citoplasmático en forma de capas en los poros. Estos presentan una gran cantidad de gránulos que aparecen en la pared secundaria, dándole una aparien-

Cuadro 3. Correlación de peso seco con diferentes variables morfológicas en las nueve localidades (r).

Localidad	Long. hoja	Ancho basal	Ancho medio	Ancho apical	Núm. filamentos
El Puerto	0.69**	0.79**	0.64**	0.50**	0.50**
La Popa	0.84**	0.50**	0.46**	-0.03	0.78**
San Felipe	0.54**	0.42*	-0.02	0.27	-0.48**
San Bernardino	0.65**	0.29	0.03	0.07	0.47**
San Nicolás	0.87**	0.81**	0.60**	-0.04	0.76**
Espinazo	0.69**	0.70**	0.56**	-0.02	0.89**
Casa Blanca	0.71**	0.21	0.68**	0.54**	0.07
La Soledad	0.31*	0.75**	0.26	0.01	-0.12
Límites Estado	0.74**	0.53**	0.89**	0.17	0.79*

Fig. 1. Patrón de desarrollo de la fibra celular en hoja de *A. lecheguilla* Torr.

cia reticulada a toda la fibra celular. El material citoplasmático sigue condensándose dando un mayor grosor a la pared secundaria, mientras que el lumen se estrecha en toda la fibra hasta terminar su desarrollo (Fig. 2).

Fig. 2. Formación de la pared secundaria de la fibra celular de *A. lecheguilla* Torr.

Las variables anatómicas: largo de célula, ancho de la pared celular y ancho del lumen en tres niveles en las diferentes localidades demostraron que el valor de F difiere entre ellas; por ejemplo, algunas variables son altamente significativas en una localidad pero no significativas en otras (grosor de pared celular (ápice) en Espinazo ($F = 9.24$) y en La Soledad ($F = 2.09$)), (Cuadro 4).

También se demostró que el grado de significancia difiere en los tres tipos de hoja: cogollo, media y externa (Cuadro 5).

Cuadro 4. Estimaciones de la distribución F en la comparación de los tipos de hoja en *Agave lechuguilla* Torr., en sus variables anatómicas por localidad.

Variables anatómicas	El Puerto	La Popa	San Felipe	San Bernardino	San Nicolás
Pared celular base (μ)	0.69	8.93**	34.68**	12.29**	28.22**
Pared celular media (μ)	2.81	0.78	1.79	2.75	2.12
Pared celular ápice (μ)	2.85	0.004	4.74*	0.88	1.53
Ancho lumen base (μ)	1.81	1.16	8.31**	12.70**	2.95
Ancho lumen lumen (μ)	1.66	0.66	5.76**	5.85**	3.07
Ancho lumen ápice (μ)	2.08	2.55	0.33	6.31**	14.08
Ancho de célula base (μ)	1.18	6.74**	15.42**	5.20*	27.38**
Ancho de célula medio (μ)	7.23**	0.66	8.81**	2.77	5.78**
Ancho de célula ápice (μ)	0.35	2.06	2.63	0.04	0.77
Largo de célula base (μ)	7.30**	1.61	4.46*	3.44*	12.77**
Largo de célula medio (μ)	3.61	0.20	0.05	0.42	5.84**
Largo de célula ápice (μ)	2.66	3.13	2.07	3.44*	14.76**

Cuadro 4. (Continuación)

Variables anatómicas	Espinazo	Casa Blanca	La Soledad	Límites del Estado
Pared celular base (μ)	4.68	9.33**	15.28**	7.66**
Pared celular media (μ)	0.80	1.57	4.13*	2.15
Pared celular ápice (μ)	9.24**	5.71**	2.09	3.92*
Ancho lumen base (μ)	16.96**	10.29**	2.15	0.18
Ancho lumen lumen (μ)	2.78	6.48**	2.23	2.60
Ancho lumen ápice (μ)	2.54	1.38	4.41*	2.13
Ancho de célula base (μ)	0.003	4.66*	9.16**	4.29*
Ancho de célula medio (μ)	3.47*	2.10	2.49	3.53*
Ancho de célula ápice (μ)	10.96**	2.58	0.003	6.39**
Largo de célula base (μ)	5.42*	0.21	0.38	7.80**
Largo de célula medio (μ)	1.87	2.51	0.14	2.72
Largo de célula ápice (μ)	0.56	2.87	10.80**	0.60

* = P < 0.05

** = P < 0.01

Se observó que el grado de correlación de las variables anatómicas difiere marcadamente en cada localidad. Por ejemplo, algunas correlaciones altamente significativas en las diferentes localidades, para las variables pared celular y base con ancho de la célula a nivel base, fueron: El Puerto ($r = 0.74$), La Popa ($r = 0.82$), San Felipe ($r = 0.88$), San Bernardino ($r =$

0.85), San Nicolás ($r = 0.95$), Espinazo ($r = 0.49$), Casa Blanca ($r = 0.72$), La Soledad ($r = 0.75$) y Límites del Estado ($r = 0.82$). En las variables ancho de lumen a nivel apical con ancho de célula a nivel apical hubo una correlación altamente significativa en las localidades de El Puerto ($r = 0.72$) y La Popa ($r = 0.66$), y no fue significativa en San Nicolás.

Cuadro 5. ANOVA de diferentes variables anatómicas en hoja de cogollo, media y externa en *Agave lecheguilla* Torr. en las nueve localidades.

VARIABLES	Cogollo F	Media F	Externa F
Pared celular base	9.95**	3.33**	4.09**
Pared celular media	1.70	2.94**	3.02**
Pared celular ápice	1.71	4.59**	4.28**
Ancho lumen base	2.98**	1.01	15.45**
Ancho lumen media	2.04	9.39**	8.67**
Ancho lumen ápice	1.31	2.63*	10.07**
Ancho de célula base	3.65**	1.79	7.17**
Ancho de célula media	2.03	6.23**	2.69**
Ancho de célula ápice	1.53	2.96**	2.81**
Largo de célula base	4.36**	2.99**	7.31**
Largo de célula media	8.35**	4.26**	1.75
Largo de célula ápice	2.71	7.85**	1.92

* = P < 0.05

** = P < 0.01

Se encontró que existe una correlación significativa entre la pared celular en nivel base con el ancho de la célula y largo de la célula al mismo nivel ($r = 0.83$ y -0.26 respectivamente); a nivel medio, en cambio, la correlación fue para la pared celular en nivel medido con ancho de la célula media ($r = 0.54$) y lumen con ancho de célula ($r = 0.58$). En el ápice de la hoja fue significativamente alta la variable grosor de la pared celular con el ancho de la célula y largo de la célula ($r = 0.88$ y 0.26 , respectivamente).

DISCUSION

Aunque no se tomaron datos, se observó que las plantas de *A. lecheguilla* crecen con mayor vigor en suelos pedregosos, con pobre materia orgánica y con pendientes pronunciadas, lo cual coincide con Patoni (1917), citado por Marroquín (8) y Lozano (6). En las partes altas de los cerros existen plantas con gran vigor, pero hay menos abundancia de ellas.

Las plantas de lecheguilla mostraron gran variabilidad en las características cuantitativas de las siguientes variables morfológicas: largo de la hoja, ancho de la hoja, peso seco de la fibra y número de filamentos por hoja. La mayoría de las variables mostraron diferencias altamente significativas entre las distintas localidades, lo que demuestra que las condiciones ecológicas que prevalecen en ellas tienen efectos sobre la expresión de las características morfológicas mencionadas y el rendimiento de la fibra. Las características morfológicas en las hojas de cogollo, medias y externas, mostraron diferencias significativas entre ellas, en las distintas localidades, lo que representa diversos grados de maduración en la hoja y en la fibra, cuyo desarrollo empieza en el meristemo basal base de la hoja, siendo éste en sentido vertical y lateral (1, 3, 6).

Existen diferentes grados de correlación entre las variables morfológicas y de rendimiento y entre las localidades; el peso seco de la fibra tuvo alta correlación con el largo de la hoja y con el número de filamentos.

Se realizaron modelos estadísticos para predecir el peso seco de la fibra como función de los diferentes parámetros morfológicos, como largo de la hoja, ancho apical, medio y basal de la hoja, número de filamentos en cada uno de los tipos de hoja (cogollo, media y externa) en las nueve localidades. Se estableció un modelo lineal en el que el peso seco estuvo en función de estos parámetros con una confiabilidad del 41.8% en hoja de cogollo; en la hoja media se obtuvo un menor porcentaje (30%) y en la hoja externa hay un aumento de confiabilidad del 45.8%, por lo que se sugiere que en trabajos posteriores se considere un mayor número de variables, pues así aumentaría el grado de confiabilidad.

Aparentemente, el origen de las células de fibra de *A. lecheguilla* Torr. se inicia con la modificación del parénquima en la región meristemática de la base de la hoja por divisiones celulares (1, 2, 5 y 7).

En el desarrollo de la fibra se observó que existe una elongación gradual desde la base de la hoja hasta su ápice, hecho que se confirmó cuantitativamente, ya que existe una correlación significativa entre la longitud de la fibra celular en el ápice con la base ($r = 0.62$) en San Nicolás; y en la base con la parte media ($r = 0.30$) en la Popa. De igual manera, el grosor de la pared secundaria mostró correlación significativa en el ápice ($r = 0.38$) en Espinazo; en el nivel medio con el ápice ($r = 0.57$) en la Soledad y con la parte media ($r = 0.34$) en San Bernardino; estas correlaciones muestran que el engrosamiento de la pared secundaria sigue aumentando de la parte basal al ápice.

Al igual que las características morfológicas, las anatómicas también mostraron mayor variabilidad entre las hojas de *A. lecheguilla* en las diferentes localidades donde el largo de la célula mostró una variación significativa, lo cual indica que la localidad también influye en el crecimiento y desarrollo de la fibra.

La correlación entre diferentes componentes anatómicos de la hoja externa a nivel de la base mostró significancia en el ancho de la célula con el grosor de pared celular ($r = 0.75$) y lumen de la célula y ($r = 0.39$). Esto también se dio con las demás variables de la hoja (media y ápice), aunque el grado de correlación varió en las diferentes localidades. El mismo tipo de relación existe entre los parámetros anatómicos, lo que demuestra el desarrollo de la fibra en todas las hojas.

CONCLUSION

Las características morfológicas, como largo de hoja, ancho de hoja a nivel base, medio y ápice y número de filamentos fueron correlacionados con la producción de fibra. Sin embargo, los grados de correlación variaron, en las diferentes localidades, lo que refleja la influencia del medio ambiente en la producción y calidad de la fibra. El patrón de desarrollo de la fibra confirmó cuantitativamente las teorías de ultraestructura de la pared celular en la fibra. La variación en las características anatómicas puede correlacionarse con la calidad de la fibra.

LITERATURA CITADA

1. DATTA, P.C. 1973. Development of leaf fibres of *A. americana* L. var. *Marginata* alba Trel. *Broteria* 41(69):1-2.
2. ESAU, K. 1943. Anatomía vegetal 3 ed Barcelona, Ediciones Omega. 779 p.
3. GARZA DE R., M.G.; MAITI, R.K. 1984. Desarrollo de la fibra de lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.) Marin, Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. p. 5-41.
4. JOHANSEN, J.A. 1940. Plant fibres. New York, EE.UU., Leonard Hill.
5. KUNDU, B.C. 1954. Origin, development and structure of important vegetable fibres. Indian Science Congress
6. LOZANO, M.E. 1988. Estudio biométrico del *Agave lecheguilla* (Torrey) en siete localidades de Mina, Nuevo León. Tesis Inédita. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. 64 p.
7. MAITI, R.K. 1980. Plant fibres. India. p. 1-299.
8. MARROQUIN, J.S.; BORJA, G.; VELAZQUEZ, R.; DE LA CRUZ, J.A. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. 2. ed. INIF, SFF, SARH. p. 166.
9. NOBEL, P. 1976. Water relations and photosynthesis of a desert CAM plant *Agave deserti*. *Plant Physiology* 58:576-582.
10. NOBEL, S.; MEYER, S.E. 1985. Field productivity of a CAM plant, *Agave salmiana*, estimated using daily acidity changes under various environmental conditions. *Physiologia Plantarum* 65:397-404.
11. NOBEL, P.S.; QUERO, E. 1986. Environmental productivity indices for a Chihuahuan desert CAM plant, *Agave lecheguilla*. *Ecology* 67(1):1-11.
12. SHELDON, S. 1980. Ethnobotany of *Agave lecheguilla* and *Yucca carnerosana* in Mexico's Zona Ixtlera. *Economic Botany* 34(4):376-390.
13. WANE, W.D. 1985. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de salud. 6 reimp. México, D.F., Limusa p. 485.