

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ ANTONIO NARRO “

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



ARQUITECTURA Y PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DE *Agave lechuguilla* TORR (LECHUGUILLA) BAJO CONDICIONES NATURALES

Por:

JORGE LEONEL PAZARAN GUERRA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo Zootecnista

Buenavista, Saltillo; Coahuila México.

**ABRIL 2003.
UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ ANTONIO NARRO “
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**



ARQUITECTURA Y PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DE *Agave lechuguilla* TORR (LECHUGUILLA) BAJO CONDICIONES NATURALES

Por:

JORGE LEONEL PAZARAN GUERRA

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

APROBADO POR:

**Ing. M.C. Luis Pérez Romero
Presidente**

**Ing. M.C. J. José López Glez.
Villarreal**

Sinodal

Ing. M.Sc. Reginaldo de Luna

Sinodal

**Ing. Rodolfo Peña Oranday
Coordinador de la División de Ciencia Animal**

Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

ABRIL 2003.

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la fuerza y la voluntad de terminar mi carrera en compañía de las personas que quiero y siempre me han apoyado.

Con el amor tan inmenso que siento por mi esposa Marina Villarreal de León.

Por haberme entregado su amor en el momento más difícil de mi vida y haberme hecho sentir que juntos no hay obstáculo que no podamos superar, este trabajo no se hubiera logrado sin tu apoyo gracias por tu amor. **Té Amo**

Con ternura a mi hija Annet Andrea Pazarán Villarreal.

Por ser el motor que me impulsa a seguir adelante, por todos los momentos maravillosos que me has dado y por la alegría que has contagiado a esta familia.

Con mucho amor para mis padres Leonel y Zoila Pazarán que con su amor, consejos y enseñanzas me hicieron ir hacia delante.

Por hacerme creer que soy una persona que vale mucho, por hacerme sentir útil he indispensable en la familia y sobre todo por darme aliento para seguir adelante en los momentos más difíciles.

Con amor a mis hermanas Lulú, Scilia y Sofía.

Por preocuparse de todas las cosas que me pasaban, por el apoyo de hermanas y el amor tan grande que me han demostrado siempre.

A mi compadre Carlos Escobar España.

Por haberme enseñado el significado de la amistad y estar siempre a mi lado como un hermano, con mucho cariño para ti **Calin**.

A mis Amigos.

Gabriela Salas, Mayra Martínez, Juan Enrique (el Muzquiz), Jorge García (Chinin), Luis Mario (el Osito, Cd. Acuña) Felipe Gonzáles, Raúl Arechiga (Tabasco), por su amistad y por todas las cosas que pasamos juntos, por las alegrías y penas muchas gracias amigos.

A mis compañeros Del ICE en la Sierra de Arteaga

Por haberme demostrado lo que significa un equipo y en especial al Ing. Víctor Manuel Hernández Pineda por los consejos que me ha brindado durante todo este tiempo.

AGRADECIMIENTOS

A mi segunda casa **la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme refugiado en ella durante 5 años, madurar como persona y como profesionalista, por todos los momentos que pase en ella, por que en el campo de Fut ball Americano que jugué y en sus aulas me instruí para ser lo que soy en día. Gracias **Alma Terra Mater**.

Al Ing. **M.C. Luis Pérez Romero**, por todo el apoyo brindado para poder realizar esta tesis, muchas gracias Ingeniero.

Al Instituto Coahuilense de Ecología por participar en el esfuerzo de este trabajo y por haberme dado la oportunidad de desarrollarme como profesioncita.

INDICE

DEDICATORIA _____	iii
AGRADECIMIENTOS _____	iv
INDICE DE CUADROS _____	vii
INDICE DE FIGURAS _____	viii
INTRODUCCION _____	1

Objetivos	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Clasificación de la lechuguilla	3
Descripción taxonómica	3
Cogollo	5
Hábitat	6
<i>Agave lechuguilla</i> torr	9
MATERIALES Y METODOS	17
Descripción general del área de estudio	17
Descripción del sitio	17
Arquitectura	18
Carga y descarga	19
RESULTADOS	21
DISCUSIÓN	42
Implicaciones de manejo	44
CONCLUSIONES	46
LITERATURA CITADA	47

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Características productivas de *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales, campo experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas. _____ (23)

CUADRO 2. Numero de cortes de hojas y distribución de la productividad de hojas de *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales, campo experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas. _____ (24)

CUADRO 3. Características dimensionales y productivas de *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales, campo experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas. _____ (27)

CUADRO 4. Proceso de carga del cogollo en volumen acumulativo (cm^3) de *Agave Lechuguilla* en función de categorías del cogollo. _____ (36)

CUADRO 5. Proceso de carga de poblaciones naturales de *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales. _____ (41)

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Relación entre el volumen del cogollo y peso verde del cogollo en *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales. _____ (28)

FIGURA 2. Relación entre el volumen del cogollo y el rendimiento de fibra del cogollo de *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales. _____ (29)

FIGURA 3. Relación entre el volumen del cogollo y numero de hojas talladas por cogollo en *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales _____ (30)

FIGURA 4. Relación entre el numero de hojas talladas por cogollo y el rendimiento en fibra por cogollo en *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales. _____ (33)

FIGURA 5. Relación del total de área foliar de *Agave Lechuguilla* con (a) volumen del cogollo (b) con el rendimiento de fibra por cogollo bajo condiciones naturales. _____ (34)

FIGURA 6. Relación entre el volumen de la planta y (a) volumen del cogollo y (b) rendimiento de fibra por cogollo en *Agave Lechuguilla* bajo condiciones naturales. _____ (35)

FIGURA 7. Proceso de carga de *Agave Lechuguilla* a través del tiempo bajo condiciones naturales. _____ (37)

FIGURA 8. Tendencia del proceso de carga de *Agave Lechuguilla* en relación a la precipitación.

(40)

INTRUDUCCIÓN

Uno de los problemas de los recursos naturales renovables, es la presión de utilización que se ejerce sobre ellos. Esto trae como consecuencia la degradación de los mismos. Para amortiguar este impacto se requiere establecer criterios de un manejo sustentable de los recursos. Desde este punto de vista, en ambientes áridos existen dos tipos de recursos; aquellos en que se utiliza la totalidad de la planta y aquellos en los que únicamente se aprovecha un atributo de la planta. Dependiendo de esto, se deben de establecer criterios de manejo que conlleven a la sustentabilidad del ecosistema.

Recurso que se utiliza una porción de la planta requiere de un manejo adaptativo. *Agave lechuguilla* (lechuguilla) caracteriza a estos ya que cuando se utiliza para la producción de fibra se cosecha únicamente el cogollo. Sin embargo para definir criterios de un manejo sustentable se debe plantear la siguientes preguntas ¿ Cuanto cosechar?, ¿ Que individuos cosechar?, y ¿ Cual es el tiempo que se requiere para su recuperación ?, para contestar estas preguntas se requiere conocer

la arquitectura de la planta y entender el proceso de carga y descarga los cuales permitirán establecer criterios de tasa de aprovechamiento sin degradar el recurso de lechuguilla en ambientes áridos.

Objetivos.

- ✿ Para dar respuesta a esta pregunta se presentan los siguientes objetivos.
- ✿ Describir la arquitectura de *Agave lechuguilla* en diferentes etapas de crecimiento.
- ✿ Identificar la relación alométrica de plantas de *Agave lechuguilla* con la producción de fibra.
- ✿ Describir el proceso de carga y descarga en diferentes tamaños de cogollo y ambientes.

REVISIÓN DE LITERATURA

Clasificación de la lechuguilla

Reino ----- Vegetal

Sub – reino ----- Fanerógamas

Grupo ----- Gimnospermas

Sub – grupo ----- Monocotiledóneas

Orden ----- Liliflorales

Familia ----- Amaryllidaceae

Genero ----- Agave

Especie ----- lechuguilla (torrey)

Descripción Taxonómica

Es una planta muy variable, suculenta, ancha, con rosetas verde-amarillas de 2.5 a 4 dm de alto; a menudo se presenta en colonias extensas. Con un tallo floral muy largo que crece de un grupo de numerosas hojas centrales, se multiplica por estolones. De 10 a 30 hojas, de 30 a 60 cm de largo por 2 a 3 cm de ancho, verde grisáceo o verde amarillento, cuando nacen están trabadas con una línea clara en el haz, lineares, rectas, usualmente falcadas o curvadas, redondeadas abajo y acanaladas arriba, los márgenes estrechos, separables, usualmente con 8 a 12 dientes flexibles hacia abajo, de 4 a 7 mm de largo y 2 a 4 mm en algunas partes; esquina terminal gruesa, de 2 a 3.5 cm de largo, café-grisáceo; las espinas marginales, ganchudas, triangulares, los bordes entre las espinas son corneas y fáciles de separar. Las flores solamente florecen una vez de los 6 a los 15 años. Las plantas viejas mueren, pero plantas jóvenes son producidas

en la base. El escapo mide de 1 a 3 m, con una panícula en el ápice con ramas muy cortas llevando flores generalmente en racimos de 2 a 3 o más brácteas lanceoladas, los racimos miden de 1 a 3, 2.5 a 4 cm de largo desde la base del ovario a las puntas de los tépalos; perianto tubular o en forma de embudo verde o amarillento pero algunas veces blanco a medio teñidas de púrpura; tubo poco profundo abierto de 2 a 4 mm de profundidad; tépalos de 12 a 18 mm de largo lineares, de amarillo a rojo o púrpura después de la antesis; filamentos amarillos o rojos, de 2.5 a 4 cm de largo insertados en el tubo; anteras amarillas, de 11 a 16 mm de largo; ovario verdusco-amarillo, fusiforme de 12 a 14 mm de largo; el fruto es una cápsula café o negra casi oblongada, coriàcia a menudo cilíndrica a obtuso-triangular midiendo de 1.5 a 2.5 cm de largo por 1.2 a 1.5 cm de diámetro, con una punta aguda corta de 3 cámaras. Semillas numerosas, planas, negras y brillantes.

Cogollo

Las hojas en su tierna edad forman un conjunto homogéneo más o menos del mismo tamaño dado que unas hojas recubren a otras y estas a las más tiernas y así sucesivamente, este conjunto que se diferencia del resto y es lo que comúnmente se le

nombra “Cogollo” , siendo precisamente la porción aprovechable para la extracción de la fibra por ser esta la de mejor calidad (Valero, 1946).

Las hojas cuando están marchitas quedan volteadas hacia fuera y no son propias para la extracción de la fibra y las principales se presentan mas o menos encorvadas hacia el centro de la planta, en forma acentuada en épocas de mayor sequía teniendo un tinte amarillento y la epidermis de la hoja que es resistente se repliega o se arruga. En la estación de lluvia, cuando la lechuguilla tiene los tejidos bien impregnados de agua, las hojas no aparecen sino poco encorvadas y mas bien erectas teniendo un color verde y amarillento predominando el verde (Patoni, 1917).

Las plantas de lechuguilla bien desarrolladas pueden tener de 20 a30 hojas en perfecto estado y de 8 a 10 hojas ya marchitas; llevan además en el centro y en la parte superior varias hojas imbricadas en un estado todavía imperfecto de desarrollo que forman lo que se le llama cogollo que es la parte que se explota preferentemente en la mayor parte de las zonas productoras para obtener la mejor calidad de la fibra (Patoni, 1917).

Hábitat

La lechuguilla forma parte del matorral rosetofoilo es el principal constituyente del tipo vegetativo denominado Matorral Crasirosulifolio Espinoso que pertenece a una vegetación xerófito. Se encuentra en la zona seca y montañosa de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Tamaulipas, Coahuila, Nuevo León y Chihuahua, o sea en los suelos mas pobres donde casi no existe otro tipo de vegetación.

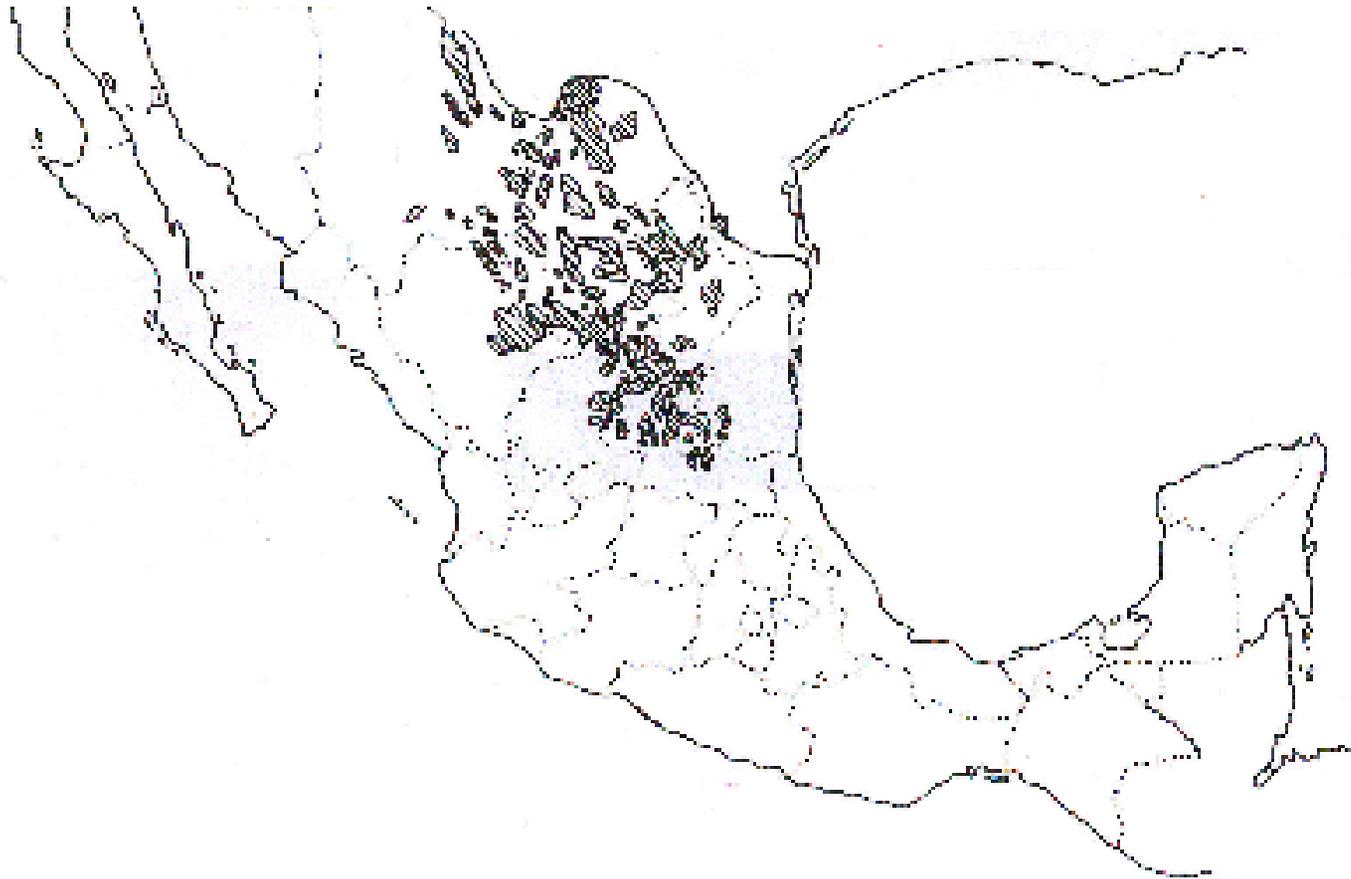
La profundidad del suelo para la lechuguilla es muy variada, y presenta las siguientes características; su contenido de piedra y grava varia de 20 a 85%, la proporción de arena, limo y arcilla varia de 20 a 70%, de 25 a 70% y de 3 a 50%, respectivamente, siendo más frecuentes los migajones arenosos, migajones arcillo-arenosos, migajones limosos y arcillosos y los suelos francos (Marroquín et al, 1964).

En términos generales se considera una altitud comprendida entre los 200 y 2000 m.s.n.m. habiéndose observado que las plantas que crecen en los lugares mas altos o mas bajos producen una fibra de menor calidad siendo muy delgada y poco resistente que las que crecen en altitudes comprendidas en este rango (Mesa y Villanueva, 1948).

Las precipitaciones y temperaturas optimas no están determinadas, se sabe que las precipitaciones en las zonas donde se produce la lechuguilla varia de 150 a 200

milímetros anuales pero pudiendo resistir sequías hasta de varios años al igual que de inundaciones; respecto a la temperatura se sabe que puede resistir temperaturas desde 30⁰ C hasta 8⁰ C bajo cero (Valero, 1946).

DISTRIBUCIÒN DE LECHUGUILLA



Fuente : (COTECOCA 1978
CITADO POR: MARROQUIN et al 1964

Agave lechuguilla Torr como individuo debe ser considerado como un sistema organizado el cual posee dos atributos fundamentales para su manejo, estos son: arquitectura y funcionamiento. Estos pueden ser analizados a cualquier nivel de integración (Odum, 1962; Gastó, 1980; Nava et al., 1980 y pieper et al., 1986).

El funcionamiento, como proceso general, es uno sólo en los individuos de lechuguilla únicamente las magnitudes de etapas, tasas y procesos pueden variar en espacio y tiempo, es decir, varía de una categoría o clase de individuo a otra. Este proceso se encuentra regulado por el ambiente y la arquitectura (Gastó y Cañas, 1975; Nobel y Quero, 1986) .. Por lo que se considera que el funcionamiento depende grandemente de la capacidad de asimilación que el sistema lechuguilla tenga de los recursos disponibles en el ambiente.

La productividad primaria de la planta es el resultado del proceso de funcionamiento de los recursos a través de su paso por la arquitectura. A través del proceso de funcionamiento se logra manifestar la productividad, sin embargo, la arquitectura es el elemento donde se centran los procesos de funcionamiento por ello, en la practica cualquier intento por mejorar la productividad necesariamente se requiere de la modificación de la arquitectura. Así se tiene que la arquitectura puede modificarse a través de mejorar los atributos o componentes de la planta (Evans,

1980; Coiné, 1980 Hartum et al., 1981 Ishuzuka, 1982), a través de la cosecha parcial principalmente bajo el control de la intensidad de cosecha de los individuos (Meza y Villanueva 1948 y Patoni, 1917), o bien a través de la plasticidad fisiológica y morfológica del individuo al introducirse a ambientes más favorables (Meza y Villanueva, 1948 y Nava et al., 1976). Estas modificaciones traen consigo dos aspectos importantes: incrementar la productividad y promover la máxima acumulación de su producción en partes cosechables más deseables antrópicamente (Cox y Atkins, 1979).

Los productos sintetizados por la planta son canalizados hacia los diferentes tejidos en donde son almacenados o utilizados por el crecimiento y diferenciación o bien perderse en el proceso de respiración. La canalización esta regulada por las características de la arquitectura de la planta, de manera que, ésta puede transformarse en hojas, tallos, raíces o cualquier otro componente (Gastó y Cañas, 1975) la proporción de los elementos anatómicos esta regulada por su arquitectura (Hallé et al., 1978). Así para cada arquitectura existe una proporción anatómica que sólo puede ser alterada dentro de ciertos límites.

Arquitectura es el arreglo topológico de los componentes del sistema (Nava et al., 1980; Halle et al., 1978) la cual es diferente en tiempo y espacio y puede analizarse, en su importancia dada que al interactuar los recursos se produce una

respuesta determinada (Gastó y Olivares, 1979; López et al., 1981 y Nava et al., 1982).

Nobel y Quero (1986) al estudiar los aspectos ambientales que influyen en la productividad de *Agave lechuguilla* encontraron que el peso seco de la planta esta relacionado con el número de hojas por planta, existiendo un máximo cuando ocurre un número de 60 hojas individuo donde se alcanza un peso seco de 2.6 Kg. Aproximadamente. La distribución del peso seco en individuos pequeños de *Agave lechuguilla* fue aproximadamente igual entre hojas vivas, hojas muertas y el resto de la planta teniendo un rango entre 10-30 por ciento del peso total de la fitomasa aérea y subterránea. Para plantas con un promedio mayor en el numero de hojas, el peso seco de las hojas muertas fue el componente con una mayor proporción dentro del individuo ya que representa cerca del 60 por ciento del peso total de su fitomasa, mientras que las raíces de tales plantas representa únicamente el 4 por ciento del peso seco total de su fitomasa.

De igual manera, en *Agave deserti*, el incremento del numero de hojas vivas incrementa el tamaño o peso de la roseta de esta especie (Rapahel y Nobel 1986). Los componentes de la arquitectura de la planta de *A. deserti* es como sigue: hojas vivas 53% +- 11%, hojas nuevas del cogollo 8% +- 2%, hojas muertas 20% +- 5%;

tallo 5% +- 3%, rizomas 9% +- 5% y raíces 5% +- 2%, estos porcentajes permanecen relativamente constantes con el tamaño de la planta.

Para cinco especies de agave, el sistema radical promedio un 10 por ciento del peso total de la planta, 12 por ciento tallo y 78 por ciento hojas. Para *Agave lechuguilla*, el porcentaje de los atributos en base a peso seco es de 6, 15 y 78 por ciento para raíz, tallo y hojas respectivamente (Nobel 1989). Para Agaves productores de fibra, el peso seco de la fibra constituye cerca de una tercera parte del peso seco. (Nobel 1985).

Parece evidente que en *Agave* el mayor componente son las hojas. En *Agave tequilana* Nobel y Valenzuela (1987) analizaron el porcentaje de los componentes de la arquitectura de esta planta a diferentes edades. Para individuos de un año de edad con un peso de 296 g el componente de hojas nuevas representa un 66 por ciento, cogollo 4.5 por ciento, hojas muertas 9.9 por ciento; tallos 7.4 por ciento y raíces 12.2 por ciento; esta misma proporción se sigue mostrando en las diferentes edades. En individuos de 3.51 Kg. o con tres años de edad las hojas nuevas representan el 56.7 por ciento, cogollo 7.2 por ciento, hojas muertas 9.4 por ciento, raíces 11.1 por ciento y rizomas un 6.4 por ciento mostrando una tendencia similar de los componentes para individuos de 6 años de edad con un peso de 28.7 kilogramos, similarmente en *Agave salmiana* la fracción del peso seco de la planta representada por las hojas vivas incrementa rápidamente con el tamaño de la planta en un rango de

30-40 hojas vivas presentando un peso constante después de este rango (Nobel y Meyer 1985).

En contraste, la fracción de peso seco en raíces decrece con el tamaño de la planta. El tallo representa el 38 por ciento del peso seco total para una planta con siete hojas y 14 por ciento para una con 12 hojas, sin embargo únicamente el 6.5%+- 0.8% para las plantas mas grandes. El peso seco de las hojas muertas representa un 38 por ciento menos que las hojas vivas de la misma longitud. La tasa de mortalidad de hojas que ocurre en *A. salmiana* es del orden del siete por ciento.

Zamora (1980) analizo la producción de fibra de lechuguilla bajo condiciones naturales encontrando un mismo promedio de hojas talladas por planta de 2.74 – 3.21. La productividad del cogollo se particionó en centro, guishe y fibra. Independientemente del tamaño del cogollo el porcentaje del centro fue de aproximadamente del 45.0 por ciento, guishe 40.0% y fibra el 15%, con respecto al peso seco del cogollo. Los rangos de producción de fibra por cogollo fue de 3.8-24.1g. por planta. Así mismo, Nava, Armijo y Gastó (1977) mencionan que un 15% del peso del cogollo corresponde a fibra y un 85% para guishe y centro.

Nobel (1985) menciona una productividad variable en Agave en relación al ambiente. Así, en *Agave tourcroydes* en un ambiente con precipitaciones de 1000 mm anuales existe una producción de fibra de 0.17 Kg de peso seco m⁻² año⁻¹, mientras

que en ambientes con precipitaciones de 1300 mm anuales reúnan una productividad de .33 Kg de peso seco $\text{m}^{-2} \text{año}^{-1}$, de fibra. En otro caso, *Agave salmiana* en ambientes con precipitaciones de 900 mm se presentan productividades de 0.17 Kg de peso seco $\text{m}^{-2} \text{año}^{-1}$ y en 1200 mm, una productividad de fibra de 0.25 Kg de peso seco $\text{m}^{-2} \text{año}^{-1}$. *Agave lechuguilla* en ambiente de 430 mm de precipitación anual se presenta una productividad de 0.32 Kg $\text{m}^{-2} \text{año}^{-1}$ de hoja y tallo.

Dentro del proceso general de funcionamiento es importante considerar el cambio de estado del sistema. Este cambio de estado consta de dos etapas fundamentales uno de carga y otro de descarga por lo que puede considerarse como un proceso continuo y cíclico (Nava et al 1980). La etapa de carga no es mas que la transformación de los componentes topológicos cuya respuesta se refleja en el crecimiento y diferenciación de la planta. En el caso particular del crecimiento de la planta la productividad puede ser particionalizada en cuatro componentes: masa de hojas, masa de tallos, masa de raíces y masa de asimilados almacenados en diversos órganos (Monsi y Murata, 1972). El proceso inverso al crecimiento individual o carga es el de cosecha, es decir la descarga del sistema. Este proceso representa un cambio negativo de fitomasa o del arreglo topológico de los componentes. La descarga se puede realizar a través de daño mecánico al retirar una porción o totalidad de la fitomasa. En este caso, la proporción de tejidos y órganos a cosecharse es

variable dependido de las características del individuo cosechado y cosechador (Nava, et al., 1980).

Es un hecho, que la productividad, puede ser vista como el proceso de carga. Nobel (1985) menciona productividades para Agaves en un rango de 0.17 a 2.49 Kg m⁻² año⁻¹. Para Agaves productores de fibra, bajo condiciones áridas, la productividad de la fitomasa aérea de *Agave lechuguilla* es de 0.32 Kg m⁻² año⁻¹ y de *Agave salmiana* es de 1.01 Kg m⁻² año⁻¹ (Nobel 1989, Nobel y Quero 1986).

MATERIALES Y METODOS

Descripción General del Área de Estudio

El área de estudio está localizada en el campo experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas, en la parte norte del estado de Zacatecas, México. El área está concentrada a los 24°21' latitud norte y 1001°24' longitud oeste de Greenwich.

Existen dos estaciones: un período seco de Noviembre a Mayo y un período húmedo de Junio a Octubre. En el período húmedo cerca del por ciento total ocurre en forma torrencial. Las temperaturas mínimas son de hasta -10°C entre los meses de Noviembre y Febrero, las temperaturas máximas de hasta 35°C . Ocurren dentro de la estación seca. La evapotranspiración media anual es de 317 mm, y la temperatura media anual es de 14.2°C . en la figura 4 se muestra la precipitación ocurrida de 1986 a 1988.

Descripción del Sitio:

Para caracterizar la arquitectura y el proceso de carga de *Agave lechuguilla* se seleccionaron individuos de una población transformada de esta especie en 1974, localizada dentro del Campo Experimental Noria de Guadalupe, Zac. (Nava et al., 1976).

Arquitectura

Para caracterizar la arquitectura de la planta se seleccionaron individuos de diferentes categorías de altura y volúmenes. Cada una de estas plantas fueron particionalizadas en sus diferentes atributos: cogollos, hojas, tallos y rizomas.

El cogollo se particionalizo en total de hojas, guishe, centro y g de fibra. El volumen total de la planta se determinó aplicando la siguiente formula:

$$V=1/2\pi b^2a \quad (1)$$

donde (b) es el radio de la cobertura basal de la planta y (a) corresponde a la altura de la planta.

Se seleccionaron 38 cogollos para determinar el volumen y relacionarlo con el peso verde del mismo, el cual se determino en función de la formula de un cono

$$V=1/2\pi r^2h \quad (2)$$

Donde (r) corresponde al radio del diámetro basal del cogollo y (h) a la altura del cogollo.

El área foliar total de la planta se determinó la estimación del área total seleccionando una hoja de las diferentes cohortes de hojas que mostrará cada planta, pasando su superficie aérea sobre papel para después determinar el área de la hoja en un aparato para medir área y después multiplicar por el número de hojas totales.

Carga y Descarga

Para evaluar el proceso de carga o crecimiento acumulativo del cogollo en Septiembre de 1986 se cosecharon varios cogollos de diferente volumen i) $<800\text{cm}^3$, ii) $600 \leq 800\text{cm}^3$ y iii) $400 \leq 600\text{cm}^3$; y se tomaron medidas a intervalos de tiempo entre 1.0 y 3.4 meses para evaluar el volumen acumulado en el tiempo, se aplicó la formula de un cono truncado.

$$V=1/3\pi h(a^2+ab+b^2) \quad (3)$$

Donde (h) corresponde a la altura y (a) y (b) a los diámetros menor y mayor respectivamente.

La producción de fibra se determinó en función de 15 cogollos de diferentes tamaño, los cuales fueron tallados sus hojas por medio manual. Los pesos que se obtuvieron de éstos fueron peso seco de fibra, guishe y centro.

Para relacionar los diferentes variables se seleccionaron los modelos de regresión según el caso (Landsberg 1977 y Steel and Torrce 1980).

El proceso de descarga se realizo a nivel poblacional. Para esto se selecciono un productor (Tallador de fibra) que cosechara cogollos en una superficie de 5.0 has. Se estimo el número de cogollos cosechados y la producción de fibra.

RESULTADOS

Las características productivas de A. lechuguilla se ven modificadas a través de la arquitectura de la planta con la edad. En el (cuadró 1), se muestra una gran diferencia productiva en cada uno de sus componentes a medida que se incrementa la

edad de la planta. En un individuo de 60 cm de altura muestra que la fitomasa total de hojas representa aproximadamente el 53 por ciento de su peso verde y un tanto igual en su peso seco. Esta relación se mantiene desde sus primeras etapas, ya que en un individuo de 10 cm el peso verde de su fitomasa foliar es de 11.3 g. Ind.⁻¹, lo cual representa una tendencia similar a subsecuentes edades. El cogollo, componente cosechable, representa únicamente el 13 por ciento de su fitomasa total y el 17 por ciento de su fitomasa aérea. La capacidad reproductiva subterránea parece ser más frecuente en individuos de un mayor volumen de la planta, haciéndose más frecuentes en individuos más maduros. Así mismo, la cantidad de hojas muertas, o necromosa, se empieza a incrementar con la edad de los individuos.

De igual manera el número y tamaño de sus componentes se ven influenciados por la edad. (Cuadro 2). Individuos de 60 cm de altura presentan cuatro cohortes bien diferenciados formados por dos o tres

Cuadro 1. CARACTERISTICAS PRODUCTIVAS DE AGAVE LECHUGUILLA BAJO CONDICIONES NATURALES.
CAMPO EXPERIMENTAL NORIA DE GUADALUPE, ZAC.

Atributo	CLASE POR EDADES POR ALTURA (CM)				
	60	50	35	20	10
Volumen total de la planata (cm ³)	150796.5	93482.0	34361.17	14522.0	2454.4
COGOLLO					
Peso verde (gr)	520.8	439.2	125.5	20.0	4.6
Peso seco (gr)	172.8	140.9	41.3	6.0	1.6
Volumen cogollo (cm ³)	443.0	388.5	66.0	17.3	2.4
Num. Hojas cogollo	24	21	17	8	4
HOJAS					
Peso verde (gr)	2581.0	1777.7	759.0	85.3	11.3
Peso seco (gr)	692.4	501.3	232.0	24.1	3.0
Num. de cohortes	4	4	3	2	1
Num. de hojas vivas	34	33	22	7	3
Num. de hojas muertas	28	9	16	0	0
PINA					
Peso verde (gr)	551.0	415.5	342.5	16.5	7.0
CAP. REPRODUCTIVA					
Peso rizomas activos (gr)	267.5	185.3	0.0	0.0	0.0
Peso rizomas muertas (gr)	106.0	95.7	0.0	0.0	0.0

Cuadro 2. NUMERO DE COHORTES DE HOJAS Y DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE HOJAS EN AGAVE LECHUGUILLA BAJO CONDICIONES NATURALES. CAMPO EXPERIMENTAL NORIA DE GUADALUPE, ZAC.

COHORTES		CLASE POR EDADES POR PLANTA (cm)							
DE		60		35			10		
HOJAS	Hojas por cohorte	Peso Verde	Peso Seco	Hojas por cohorte	Peso Verde	Peso Seco	Hojas por cohorte	Peso Verde	Peso seco
1	(9)*	711.0	176.1	6	193.0	58.0	3	11.3	3.0
2	9	668.5	200.0	9	319.5	99.2			
3	10	682.5	186.3	7	246.5	74.8			
4	6	519.0	130.0						
TOTAL									

(*) Corresponden al número de hojas por cohorte.

intervalos de tiempo, es decir la cohorte número uno que muestra un total de 9 hojas, estos se formaron a través de tres intervalos de tiempo diferente sin embargo presenta un arreglo simétrico dentro del individuo. El numero total de cohortes de una planta adulta presentes, de hasta cuatro cohortes, tiene un total de 34 hojas y un peso total acumulado de 692.4 g ind^{-1} . El numero y arreglo de cohortes se relacionan con la edad. Individuos con una altura de 35 cm., presenta tres cohortes, con un total de 22 hojas por individuo y un peso seco total de 232 g ind^{-1} . Individuos pequeños o plantuales únicamente muestran tres hojas con un peso seco total de 3 g ind^{-1} .

Evidentemente, la edad de la planta tiene una gran influencia con las características dimensionales y productivas de la lechuguilla (Cuadro 3). Las características dimensionales de la planta se muestran muy relacionadas ya que al incrementarse el volumen de la planta se ven influencias tanto en el numero de hojas por planta como el total de área foliar de la misma. Sin embargo hay que hacer notar que existen cambios o características ambientales que modifiquen al individuo como en el caso de la planta 7 y 13. El cual muestra características dimensionales mayores que otras, sin embargo, las características dimensionales del cogollo son menores. Por el contrario el cogollo, muestra características más estrechas con la

Cuadro 3. CARACTERISTICAS DIMENSIONALES Y PRODUCTIVAS DE AGAVE LECHUGUILLA BAJO CONDICIONES NATURALES. CAMPO EXPERIMENTAL NORIA DE GUADALUPE, CONCEPCION DEL ORO, ZACATECAS.

NUMERO DE PLANTA	PLANT A			COGOLLO						
	VOLUM EN (CM ³)	NUM. DE HOJAS	TAF (CM ³)	LONGIT UD (CM)	NUM.DE		VOLUMEN TOTAL (CM ³)	PRODUCTIVIDAD (PS g/COGOLLO)		
					HOJAS	TALLADA S		FIBRA	GUISSE	CENTRO
1	667.59	5	120.0	17.0	3	0	4.45			2.4
2	2078.17	8	352.0	24.0	8	1	25.13	0.9	3.0	7.5
3	6232.15	12	528.0	27.0	8	2	44.18	2.0	4.8	5.6
4	6652.34	15	810.0	30.0	9	3	63.62	3.7	10.0	6.8
5	14878.62	17	850.0	33.0	10	3	105.83	4.7	14.2	11.7
6	16084.99	17	1226.0	37.0	14	6	154.99	11.6	22.0	10.4
7	75801.70	30	3030.0	43.0	24	11	281.44	34.5	45.9	17.0
8	23090.76	19	1387.0	45.0	13	6	188.50	8.6	28.7	9.5
9	13273.26	19	1254.0	46.0	14	7	192.68	12.2	25.4	8.5
10	26454.84	20	2880.0	48.0	14	7	314.16	14.0	39.4	9.0
11	94083.06	30	4410.0	49.0	19	11	320.71	28.5	96.0	12.3
12	139697.9	34	4148.0	49.0	20	10	320.71	21.0	65.0	15.0
13	220766.5	53	9010.0	49.0	28	17	821.00	68.5	143.3	19.1
14	136954.1	33	5148.0	51.0	23	11	480.66	31.0	80.0	18.1
15	271836.4	35	6405.0	49.0	17	13	628.58	49.8	105.9	11.5

productividad. Dado que, el número total de hojas por cogollo y hojas talladas por cogollo están relacionadas con la producción de fibra por individuos.

Un aspecto importante es observar la particionalidad de los componentes del cogollo, ya que en individuos de menores dimensiones se obtiene menor producción de fibra, representando un porcentaje menor con respecto a los componentes desechados (guishe y centro del cogollo) los cuales no son utilizados productivamente. Los cogollos con mejores características productivas son aquellos mayores de 40 cm de longitud.

En la (figura 1), se muestra la relación entre el volumen del cogollo y peso verde del mismo. Se observa que existe una relación muy estrecha entre estas características ya que al incrementarse el volumen del cogollo se incrementa su peso verde. De igual manera, el volumen del cogollo con el rendimiento de fibra por planta muestra una tendencia similar, dado que a mayor volumen del cogollo mayor producción de fibra por cogollo (Figura 2).

Presumiblemente, al existir un mayor volumen por cogollo, el número de hojas a tallarse por cogollo se incrementa (Figura 3).

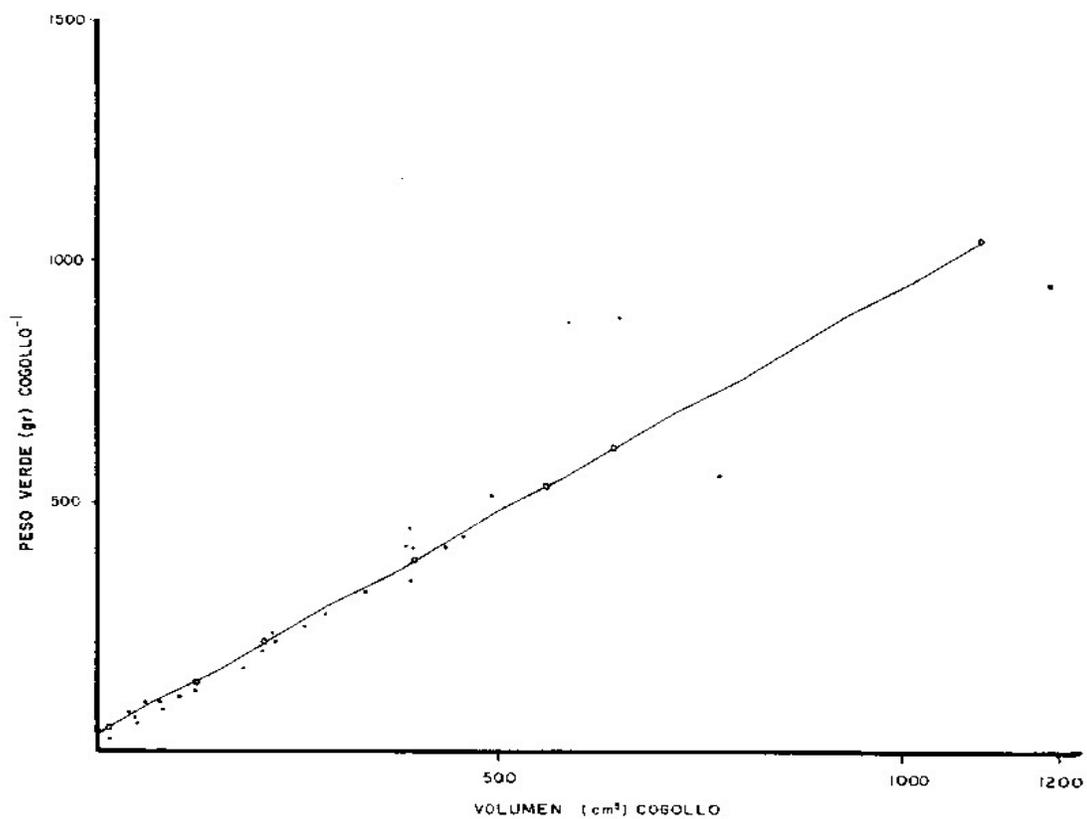


Fig. 1 Relación entre el volumen del cogollo y peso verde del cogollo en *Agave lechuguilla* bajo condiciones naturales.

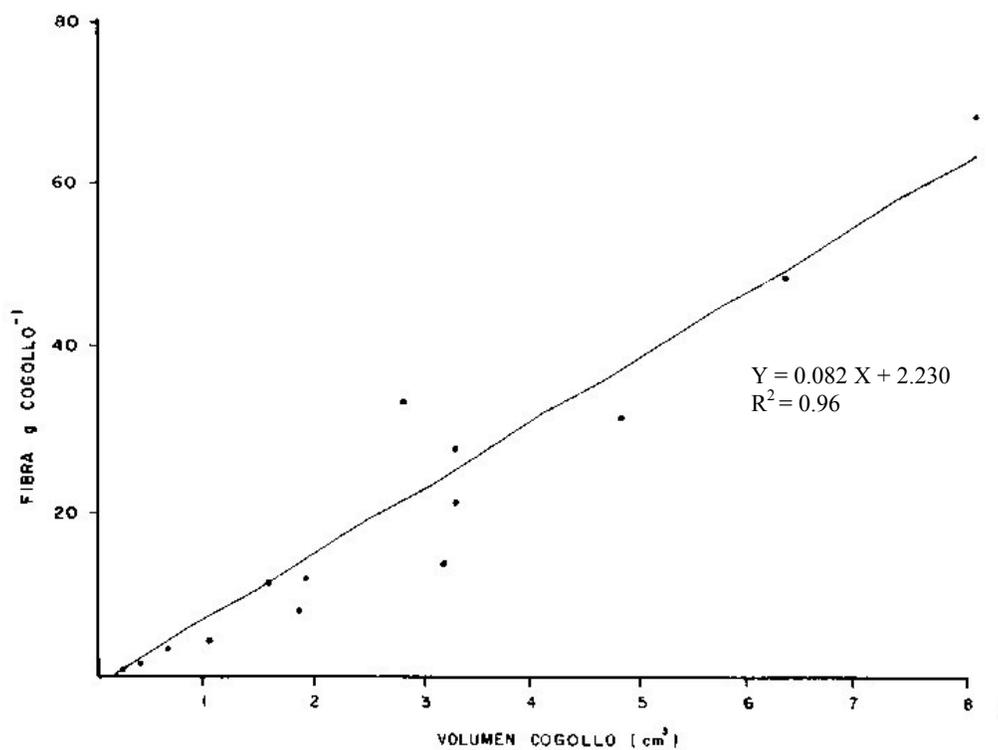


Fig. 2 Relación entre el volumen del cogollo y el rendimiento de fibra por cogollo de *Agave lechuguilla* bajo condiciones naturales.

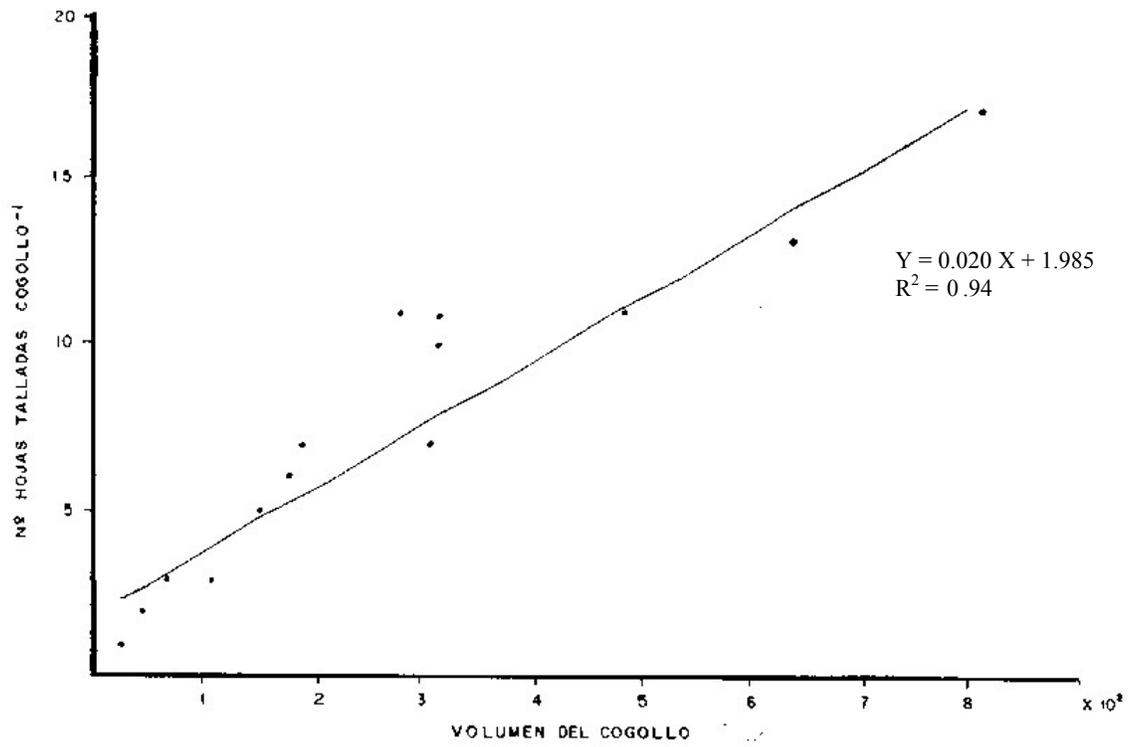


Fig. 3 Relación entre el volumen del cogollo y número de hojas talladas por cogollo de *Agave lechuguilla* bajo condiciones naturales.

En nuestro caso encontramos individuos cuyo volumen del cogollo fue de aproximadamente 821.0 cm^3 y en cuyo caso el número de hojas talladas fue de 17. Esto trae como consecuencia una mayor productividad. En la (figura 4) existe una tendencia de incrementarse la producción de fibra por cogollo a medida que se incrementa el número de hojas talladas por cogollo.

El área foliar total tiene una relación tanto con el volumen del cogollo como con el peso seco de la fibra por cogollo. (Figura 5 a y b). En este caso, Al existir mayor capacidad fotosintética, el cual se ve influenciado por la edad de la planta, existe una mayor capacidad para producir un mayor volumen del cogollo por individuo, el cual trae como consecuencia mayor producción de fibra por individuo.

De igual manera, el volumen de la planta muestra una tendencia similar a la anterior (Figura 6 a y b). No obstante , en este caso, las características dimensionales y productivas se muestran limitantes a cierto incremento de volumen. Es decir, al incrementarse un volumen de $280 \times 10^4 \text{ cm}^3$ en la planta probablemente, el volumen del cogollo no se incremente en la misma magnitud que de 240 a $280 \times 10^4 \text{ cm}^3$. Este mismo sucede con la cantidad de fibra acumulada por cogollo.

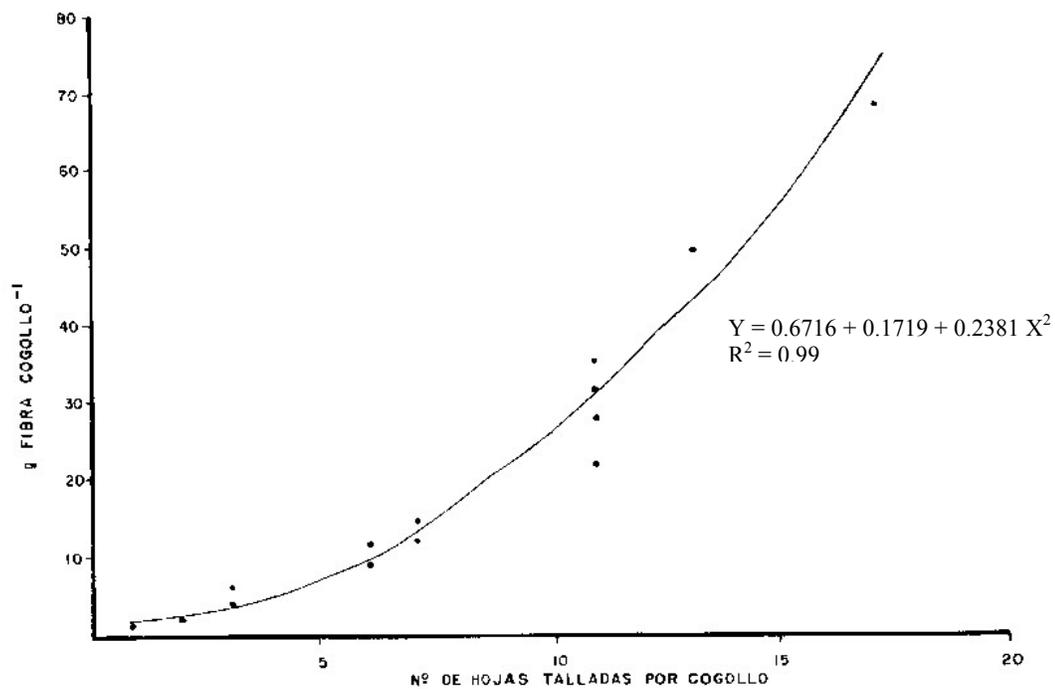


Fig. 4 Relación entre el número de hojas talladas por cogollo y el rendimiento en fibra por cogollo en *Agave lechuguilla* bajo condiciones naturales.

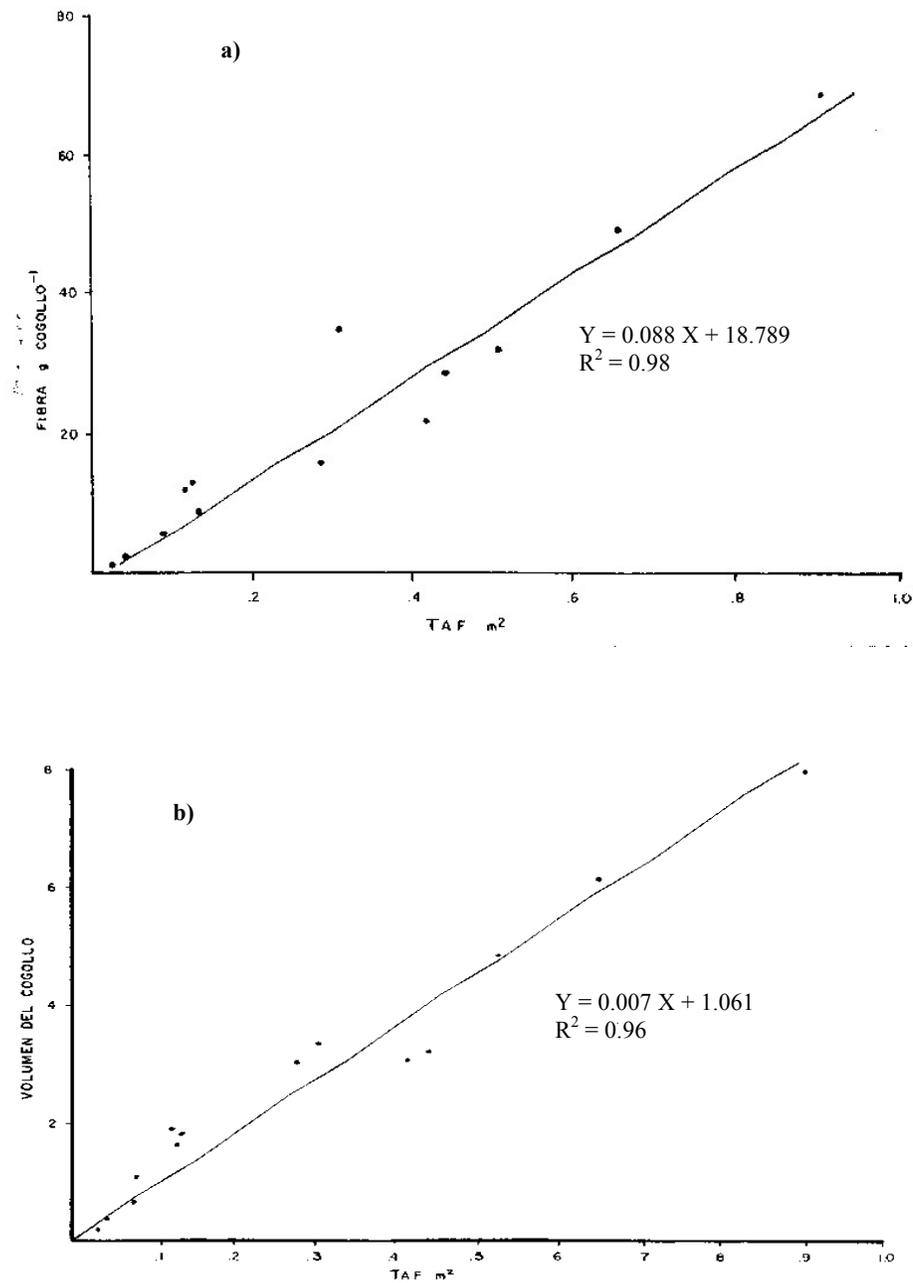


Fig. 5 Relación del total de área foliar de *Agave lechuguilla* con (a) volumen del cogollo (b) con el rendimiento de fibra por cogollo bajo condiciones naturales.

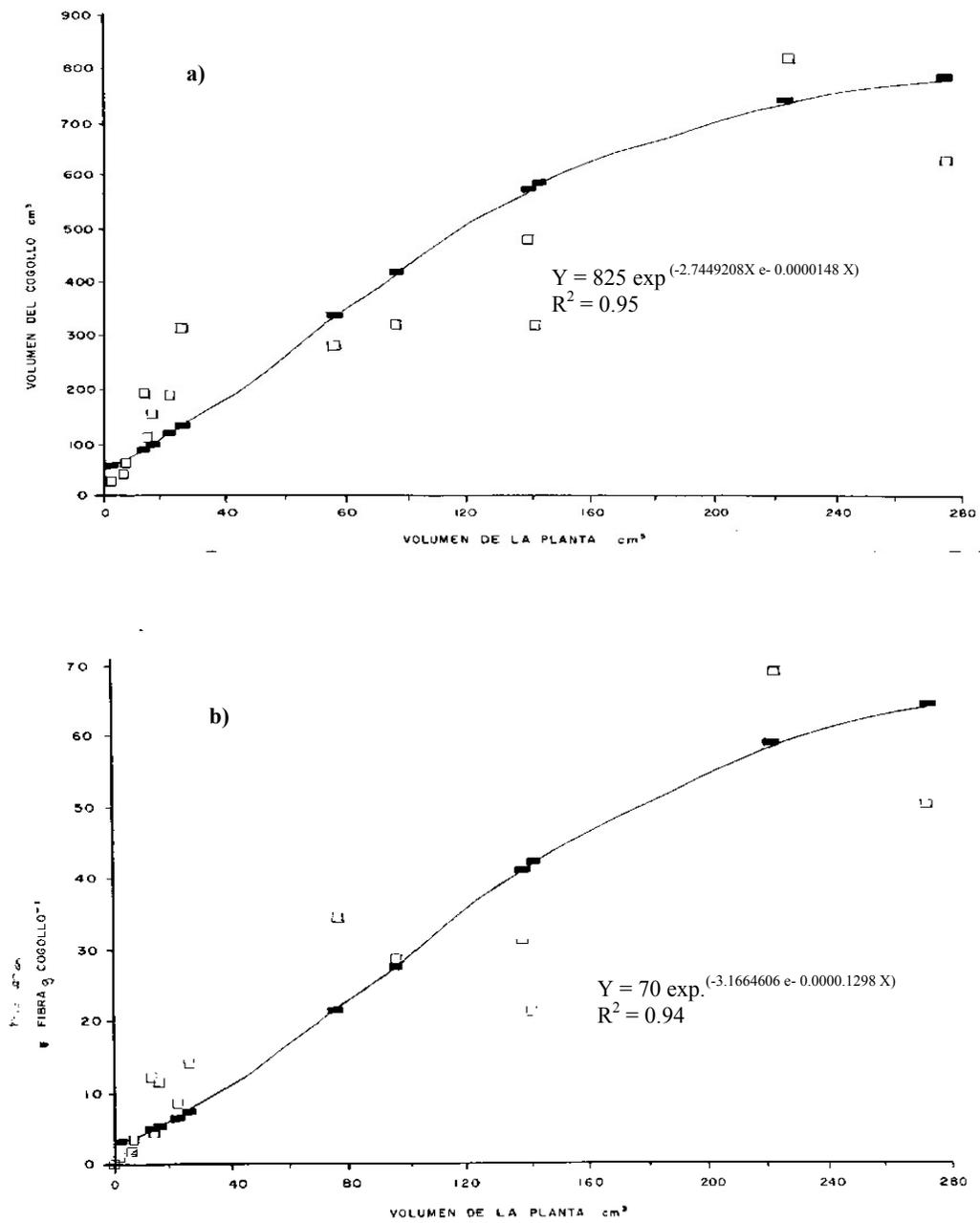


Fig. 6 Relación entre el volumen de la planta y (a) volumen del cogollo y (b) rendimiento de fibra por cogollo en *Agave lechuguilla* bajo condiciones naturales.

El proceso de carga o acumulación de fitomasa del cogollo se muestra caracterizado por cogollos con diferente volumen. En términos generales se observa que cogollos con un mayor volumen, su proceso de carga requiere de un mayor tiempo. (Cuadro 4). Así por ejemplo cogollos con un volumen de $1.1 \times 10^2 \text{ cm}^3$ requiere de 19 meses (1.7 años) para cargarse y volver a ser cosechados. Cogollos con menor volumen requieren de un menor tiempo; cogollos con $0.7 \times 10^2 \text{ cm}^3$ y $0.4 \times 10^2 \text{ cm}^3$ requieren de aproximadamente de 17 y 15 meses para cargarse de nuevo y volver a ser cosechables. (Figura 7).

Por otra parte, la acumulación de fitomasa en el cogollo a través del tiempo depende del volumen del cogollo. (Figura 7.). Es obvio pensar que a menor volumen la acumulación de fitomasa es menor. Para un cogollo con un volumen $>800 \text{ cm}^3$ puede existir una acumulación aproximada de 283 g de peso seco en un período de tiempo de 19 meses. Por el contrario volúmenes de cogollo de $450 \leq 600$ y $<400 \text{ cm}^3$ tienen una acumulación de fitomasa aproximada de 181 y 134 g de peso seco durante 15 meses respectivamente. El ambiente (precipitación), volumen del cogollo influye sobre el proceso de carga de lechuguilla. Esto es debido a que cogollos del mismo volumen requieren de hasta 17 meses cuando reúne una precipitación de 250 mm al año; mientras que cuando crece en ambientes con una

Cuadro 4: PROCESO DE CARGA DEL COGOLLO EN VOLUMEN ACUMULATIVO (Cm ³) DE <i>Agave lechuguilla</i>			
EN FUNCIÓN DE CATEGORIAS DEL COGOLLO.			
TIEMPO	CATEGORIAS DE VOLUMENES DEL COGOLLO CM ³		
EN	400≤600	600≤800	≥800
MESES	CM ³ ACUMULADOS POR COGOLLO		
1.0	56.14 ± 38.05	66.46 ± 73.04	115.40 ± 12.4
3.3	105.10 ± 42.03	142.72 ± 87.14	234.13 ± 12.4
6.7	160.94 ± 41.25	204.28 ± 93.07	338.60 ± 49.79
8.7	367.06 ± 39.94	463.64 ± 52.22	710.20 ± 134.80
10.5	416.34 ± 56.70	560.32 ± 73.80	801.66 ± 103.48
12.8	479.28 ± 79.48	681.40 ± 57.39	900.70 ± 96.40
14.9	505.92 ± 49.25	693.10 ± 55.47	948.40 ± 140.80
16.9	525.26 ± 47.57	695.60 ± 55.12	1012.86 ± 158.55
18.7			1051.50 ± 190.44

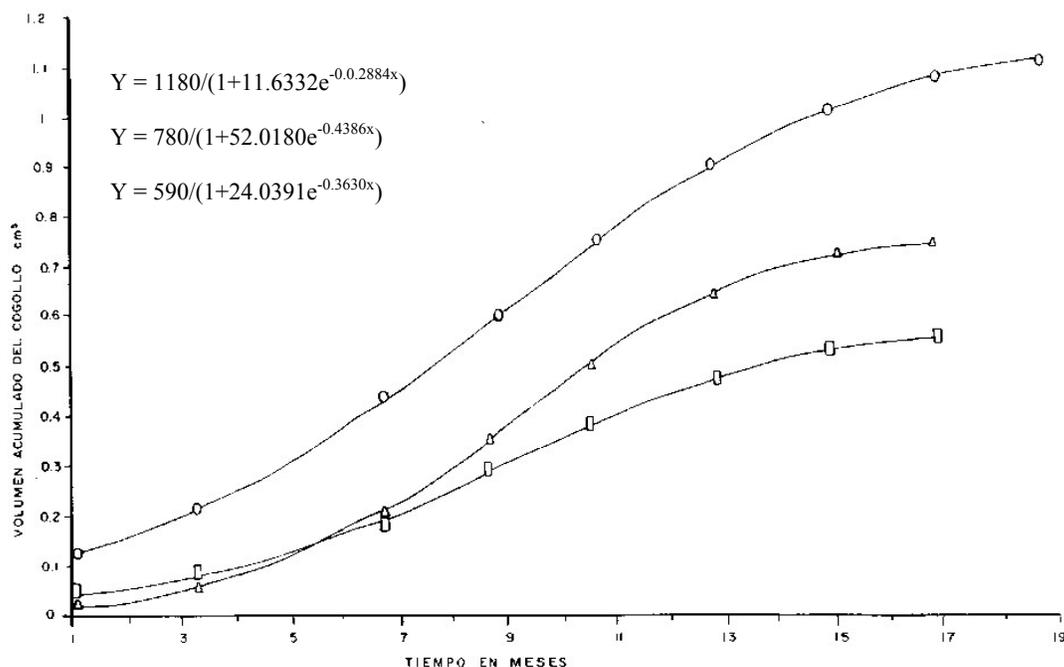


Fig. 7 Proceso de carga del cogollo de *Agave lechuguilla* a través del tiempo bajo condiciones naturales.

precipitación de 350 mm requiere únicamente 12 meses para la recuperación del cogollo después de haber sido utilizado anteriormente (Figura 8).

El proceso de descarga depende de las características estructurales de la población. En una población promedio de 65,000 individuos por hectárea pueden ser cosechadas 714 cogollos diarios⁻¹ o bien 2286 cogollos por ha durante un período de 3.2 días por ha⁻¹ (cuadro 5). La producción aproximada obtenida por hectárea es de 64.5.3 kg de fibra por hectárea. Sin embargo, se pueden obtener 306.5 Kg ha⁻¹ cosechando 11426 cogollos por un periodo de cosecha de 16 días.

Cuadro5: PROCESO DE DESCARGA DE POBLACIONES NATURALES DE *AGAVE LECHUGUILLA* BAJO CONDICIONES NATURALES

TIEMPO (Días)	No. DE REDES	No. DE COGOLLOS COSECHADOS	PRODUCCIÓN DE FIBRA (Kg)
1-3 (3)	18	2286	64.5
6-9 (4)	21	2667	68.0
13-16 (4)	24	3048	80.0
19-23 (5)	27	3425	94.0
TOTAL 16	90	11426	306.5

5 hectáreas
 16 días descarga
 485 días carga (1.32 años)

DISCUSIÓN

Como ocurre en todas las plantas, la arquitectura de *Agave lechuguilla* se ve modificada por la edad de la planta. Una gran proporción de su fitomasa total esta representada por el componente hoja, tal y como sucede en otras especies del mismo genero (Rapahel y Nobel 1986, Nobel y Valenzuela 1987). Este mayor porcentaje esta como tejido fotosintético activo aparentemente la tasa de mortalidad de las hojas es menor que la tasa de natalidad de las mismas (Nobel y Quero 1986). La distribución, cantidad de hijas y peso de las mismas concuerda con la arquitectura de otros agaves como en el caso de *Agave deserti* (woodhous y Nobel 1980) En esta especie, se muestra, un incremento en el peso seco total de su fitomasa con el número de hojas, el cual se ve influenciado por la edad de la planta y el ambiente, no obstante, contrariamente a lo encontrado por Nobel y Quero 1986 en esta misma especie, muestran un mayor porcentaje de hojas muertas que hojas vivas. En nuestro caso sucede lo contrario, esto presumiblemente como una respuesta al manejo de estas poblaciones.

Las características productivas, es decir la producción de fibra por individuos, se ven también influenciados por la edad de la planta. Esta mayor productividad es un reflejo de una mayor cantidad de tejido fotosintético, una mayor cantidad de hojas vivas traen como consecuencia mayor tasa fotosintética cuyo efectos causan una ganancia mayor de gramos de fibra por individuo. Dentro de las estrategias de manejo de poblaciones naturales de esta especie únicamente son cosechadas aquellas que por características de su cogollo

presentan un menor costo ecológico de cosecha, tal y como sucede en otras especies (Pérez y Nava).

Es obvio esperar una respuesta como la observada en la Figura 1., donde existe una relación entre el volumen del cogollo y peso verde del cogollo, esto debido a las características dimensionales con respecto a una edad más avanzada.

De la misma manera al incrementar las características anatómicas del cogollo refleja mayor producción de fibra, el cual también es debido a que muestran mayor número de hojas talladas (Zamora 1980).

El mecanismo de cosecha puede modificar las características morfológicas y fisiológicas en una especie. El proceso de carga se ve influenciado por las dimensiones anatómicas del cogollo. Aún y cuando una planta presenta mayor proporción de tejido fotosintético no es suficiente para acortar el tiempo de cosecha de este atributo. Por lo que las plantas con mayores características anatómicas requieren mayor tiempo de recuperación. Sin embargo debemos saber que esto también puede estar influenciado principalmente por las características ambientales del medio ambiente (Nobel y Quero 1986, Nobel y Valenzuela 1987 y Quero y Nobel 1987). La velocidad de carga, también se ve modificada por la disponibilidad de nutrientes (Nobel et al 1988).

Implicaciones de Manejo

Las tasa de retorno de cosecha en cualquier recurso natural renovable dependen en gran medida del período de descanso y de la intensidad de disturbio. En ***Agave lechuguilla***, el atributo cosechable es el cogollo. Esto hace que esta especie muestre una mayor resiliencia, debido a que únicamente una porción de su fitomasa es retirada, dejando la totalidad del tejido fotosintetizador del cual dependerá, si las condiciones son favorables una carga del sistema más corto, como lo que sucede con ***Opuntia streptacantha*** (López et al 1980). Contrariamente a lo que sucede con especies tales como ***Euphorbia antisiphilitica*** (Pérez et al 1980) y ***Parthenium argentatum*** (Pérez et al 1981) donde se requiere de varias décadas para el proceso de carga del sistema cosechable para lechuguilla, bajo las condiciones del estudio se requiere de aproximadamente 1.4 años (485 días) para el proceso de carga.

El proceso de carga del ecosistema de lechuguilla es variable. Este depende de la densidad de plantas de lechuguilla y del número de cogollos cosechables. En nuestro caso cuando existe una densidad de 65,000 individuos por hectárea de lechuguilla y un aprovechamiento de 70 % de los individuos; el proceso de descarga puede ser que en 16 días únicamente se cosechen aproximadamente 11,426 cogollos en los cuales se pueden obtener 306 kilogramos de fibra. Se puede esperar por lo tanto una cosecha de 4 veces más; lo que nos da una producción aproximada de 1,224 Kg por hectárea de fibra.

CONCLUSIONES

- ✿ Con relación a las características de *Agave lechuguilla* y al ambiente en que se desarrolla se puede concluir lo siguiente.
- ✿ La productividad de *Agave lechuguilla* esta relacionada a sus características dimensionales.
- ✿ Los cogollos potencialmente cosechables son aquellos que muestran una altura mayor de 35 cm.
- ✿ El proceso de carga del cogollo requiere como mínimo 15 meses, para volver a ser cosechado.
- ✿ Las precipitaciones influyen en el proceso de carga del cogollo: lechuguilla creciendo en abundancia con precipitaciones de 150 mm requiere de mas de 2 años, mientras que creciendo en precipitaciones de 300 mm se requieren 1.2 años.
- ✿ El proceso de descarga de estructuras de lechuguilla es variable dependiendo de la frecuencia e intensidad de cosecha, la cual depende de la densidad de lechuguilla.

LITERATURA CITADA

- Cox, G.W., and M.D. Atkins . 1979. Agricultural Ecology. An Analysis of world food production systems. W. H. Freeman and Company 721 p.
- Coyne D.P. 1980. Modification of plant architecture and crop yield by breeding. HorTScience 15 (3) : 244- 47 p.
- Evans, L.T. 1980. The Physiological basic of crop yield. In. Evans. L.T. (Ed) Crop Physiology . Some case histories. Cambridge University Pres. 327-355 p.
- Gastó C., J y A. Oliveres E. 1979. Análisis cuantitativo de la arquitectura de Atriplex repanda (phil.). Ciencia e Investigación Agraria 6: 105-113 p.
- Gastó C.J. 1983. Dinámica de la descarga de la postura y su arquitectura. En Palidines O.M. C. Lascano (Eds). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Metodologías de evaluación. Memorias de una reunión de trabajo Cali, Colombia 22-24 Septiembre 1982. CIAT. 81-106 p.
- Gastó J.C y R. Cañas C. 1975. Modelo simulado de funcionamiento del ecosistema silvoagropecuario. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía – Técnico - Científica. 2(1): 180-240 p.
- Hallé F. , R.A.A. Oldeman y P.B. Tomlinson. 1978. Tropical trees and Forest. An Architectural Analysis.

- Hartung R.C., J.E. Specht, and J.H. Williams. 1981. Modification of soybean plant architecture by genes for stem growth habit and maturity. *Crop. Sci.* 21(1) 51-56 p.
- Ishizuka Y. 1982. Engineering for higher yields. In: Eastin J. D., F.A. Haskas , C.Y. Sullivan and C.H.M. Van Bonel (Eds) *Physiological Aspects of crop yield.* American Society of Agronomy. 15-26 p.
- Landsberg. J.J. 1977. Some useful equations for biological studies. *Exp. Agrí.* 13: 273-286 p.
- López G.J., J. Gastó C. y R. Nava C. 1981. Análisis cuantitativo de la arquitectura de *Opuntia Strepthoacantha Lemaine* en poblaciones naturales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía – Técnico – Científica 7(3) 135-169 p.
- Mesa A., M. Y R. Villanueva V. 1948. La producción de fibras duras en México. Monografía Industriales del Banco de México. 335 p.
- Nava C.R., J. Gastó C. y R. Armijo T. 1976. *Arquitectura Ecosistemica. Fundamentos y génesis.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía – Técnico – Científica 2(): 738-855 p.
- Nava C.R., Armijo R.T. y Gastó J.C. 1977. Investigación silvoagropecuaria de las zonas áridas de México. Campo experimental Noria de Guadalupe. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía – Técnico – Científica 3(3): 182-265 p.
- Nava C.R., Armijo R.T. y Gastó J.C. 1979. *Ecosistema: La unidad de la naturaleza y el hombre.* Serie Recursos Naturales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila. Prensa. UAAAN. 332 p.

- Nava C.R., J. Gastó C. y L. Pérez R. 1982. Análisis cuantitativo de la arquitectura ***Cucúrbita foetidissima*** H.B.K. Creciendo en poblaciones naturales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía – Técnico – Científica 8 (3): 203-250 p.
- Nobel P.S. and Meyer S.E. 1985. Field productivity of a CAM plant, ***Agave salmiana***, estimated using daily acidity changes under various environmental conditions. *Physiology. Plant* . 65. 397-404 p.
- Nobel P.S. and E. Quero. 1986. Environmental productivity indices for a Chihuahuan desert CAM plant, ***Agave lechuguilla***. *Ecology* 67(1): 1-11 p.
- Nobel P.S. and A.G. Valenzuela. 1987. Environmental responses and productivity of the CAM plant, ***Agave tequilana***. *Agricultural and Forest Meteorology* 39(1). 319-334 p.
- Nobel P.S., E. Quero and H. Linares 1988. Differential growth responses of Agaves to nitrogen, phosphorous, potassium, and boron applications. *J. Plant Nut.* 11(12) : 16863-1700 p.
- Nobel P.S. 1989. *Environmental biology of Agaves and cacti*. Cambridge University Press. 270 p.
- Quero E., and P.S. Nobel 1987. Predictions of field productivity for ***Agave lechuguilla***. *J. Appl. Ecology*. 24: 1053-1062 p.
- Rapahel D.O., y P.S. Nobel. 1986. Growth and survival of ramet and seedlings of ***Agave deserti***: influences of parent. ramet connections. *Bot Gaz.* 147(1): 78-83 p.

Woodhouse M.R. and P.S. Nobel 1980. Leaf orientation, radiation interception, and nocturnal acidity increse in the CAM plant *Agave deserti* (Agavaceae). Amer. J. Bot. 67: 1,179 – 1,185.

Zamora L. R. 1980. Determinación de producción de fibra a partir de las poblaciones naturales de *Agave lechuguilla* torr. en la parte norte de Zacatecas, tesis profesional. Ing. Agr. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coah.