

2918



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**VARIACION MORFOLOGICA DE Astrophytum
ornatum (DC.) Web. (CACTACEAE) EN CUATRO
POBLACIONES DE LAS ZONAS ARIDAS
QUERETANA E HIDALGUENSE.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
P R E S E N T A :
ANGEL SALVADOR ARIAS MONTES

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	pag.
RESUMEN	1
I INTRODUCCION	2
II ANTECEDENTES	6
2.1 Antecedentes históricos.	6
2.2 Posición filogenética de <u>Astrophytum</u> .	7
2.3 Variación morfológica de <u>A. orantum</u> .	11
III OBJETIVOS	12
IV EL AREA DE ESTUDIO	13
4.1 Ubicación de las localidades.	13
4.2 Fisiografía	13
4.3 Geología	15
4.4 Hidrografía	15
4.5 Clima	17
4.6 Suelo	20
V METODOLOGIA	21
5.1 Revisión bibliográfica.	21
5.2 Revisión de herbario.	21
5.3 Actividades de campo.	22
5.4 Establecimiento de las localidades y muestreo de las poblaciones.	22
5.5 Análisis de datos.	23
5.6 Observaciones sobre el estado de conservación.	25
VI RESULTADOS.	26
6.1 Descripción del género.	26
6.2 Descripción de la especie.	29
6.3 Descripción de las variedades.	36
6.4 Variación morfológica.	40
6.5 Estado de conservación.	49
VII DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES.	60
VIII REFERENCIAS.	71

I INTRODUCCION

Cuando se trabaja en el campo con especies a través de sus diferentes poblaciones, es común encontrar variaciones morfológicas tanto en las diferentes poblaciones que integran una especie, como dentro de una misma población, las cuales en ocasiones hacen suponer que se trata de especies diferentes. Esta "graduación", es conocida como variación intraespecífica del fenotipo, la cual está determinada, según Stebbins (1978), por la acción de factores ambientales y genéticos.

En la familia CACTACEAE la variación intraespecífica del fenotipo se ha constituido en una gran incógnita para la delimitación de sus especies, trayendo consigo mayores confusiones en su taxonomía, pues por un lado las variaciones no heredables son temporales y en consecuencia no tienen importancia en la taxonomía y la evolución, y por el otro, hacen falta más estudios que puedan distinguir la plasticidad fenotípica. Así es como muchas especies de cactáceas se han establecido erróneamente sobre ejemplares con plasticidad fenotípica (Bravo, 1978; Gibson y Nobel, 1986; Grant, 1981).

Aunque desde principios del siglo XX, Ochoterena (1923) y Patoni (1912a, 1912b) ya consideraban que las variaciones morfológicas en las cactáceas estaban relacionadas con procesos de cruzamiento, intensidad luminosa, orientación y plagas, no es sino hasta la década de 1970 cuando epiezan los estudios más formales sobre algunos factores que influyen en este proceso.

Barthlott y Rauh (1974, 1975) al estudiar la variación morfológica y la distribución de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw.,

en la zona intertropical de América, argumentan que la tasa de variabilidad morfológica entre dos regiones no es mayor que la variabilidad dentro de una población, aunque exponen que E. phyllanthus var. phyllanthus presenta tendencias hacia la diversificación de formas locales, debido a su amplia distribución (Brasil, Ecuador, Paraguay y Perú) y a la autogamia, que contribuyen de manera importante al desarrollo de formas locales.

Estudiando la variación morfológica intraespecífica en el hábito de crecimiento y de estructuras reproductivas de Opuntia echinos Haw., en las Islas Galápagos, Racine y Downhower (1974) encontraron que en su área de distribución (islas Sta. Cruz y Sta. Fé), las dimensiones del tallo están relacionadas positivamente con la altura y densidad de la vegetación.

Nobel (1977) observó que son más abundantes las espinas y la pubescencia apical de Ferocactus acanthodes [léase F. cylindraceus (Engelm.) Orc.] en los lugares fríos de California y Nevada que en los sitios más cálidos de Arizona, argumenta que los incrementos en espinas y pubescencia, actúan sinérgicamente en protección de la planta contra temperaturas extremas. El mismo autor (1980b), reporta que la altura de Stenocereus gummosus (Engelm.) Gibs. & Horak está correlacionada positivamente con la altura de la vegetación circundante y negativamente con la radiación fotosintética activa (PAR), a 1 m del suelo.

Una gran parte de la variación intraespecífica del fenotipo de algunas cactáceas está ocasionada por su composición genética, pues el aislamiento reproductivo entre varios grupos de especies

rara vez es efectiva, por lo que la hibridación, correlativamente con la poliploidía y la apomixis, es un hecho frecuente en esta familia.

Esto ha sido corroborado por Pinkava y col. (1985) al encontrar que de 551 taxa estudiados, el 27.9 % presentaron poliploidía, siendo Opuntia, Echinocereus y Mammillaria los géneros con mayor incidencia de hibridación y poliploidía.

Así por ejemplo, Opuntia phaeacantha Engelm. [Serie Phaeacanthae] comprende un complejo de especies con notables variaciones de origen genético, incluyendo diferentes variedades geográficas. Benson (1982) reconoce para esta especie 10 variedades, muchas de las cuales no están completamente segregadas y a menudo su intergradación es compleja por la hibridación que entre éstas y otras especies se presenta, como O. macrorhiza Engelm. y O. erinacea Engelm. et J. Bigelow. Grant y Grant (1979), reconocen por su parte 7 especies con numerosas variedades en el complejo O. phaeacantha, en donde la hibridación y la poliploidía (tetraploides, hexaploides y a veces diferentes ploidías en una misma especie) han creado una gran cantidad de formas.

Otro grupo taxonómico con alta variación fenotípica es el género Mammillaria. Hunt (1975, 1976a, 1976b) encontró que en el complejo M. rhodantha Link et Otto [Serie Heterochlorae] cada especie ocurre en habitats y zonas de vegetación diferentes. Sin embargo, la hibridación es factible entre alguna especie del complejo con otras especies pertenecientes a otros complejos, como ocurre con M. polythèle C. Martius [Serie Heterochlorae] con la que ha creado una gama de formas intermedias.

Finalmente, otro género en el que existe variación es Astrophytum, lo que ocasiona que se encuentre una enorme sinonimia en las especies de este género. En la presente tesis se estudia una de estas especies: A. ornatum (DC.) F.A.C. Weber.

II ANTECEDENTES

2.1 Antecedentes históricos.

Durante la primera mitad del siglo XX, el memorable botánico de Ginebra, A.P. DeCandolle (1828) describió una planta de aspecto singular, de tallo globoso, provisto de 8 costillas y muchos tricomas (puntos blancos o "estigmas") en el tallo, a la que colocó en el género colectivo Echinocactus, bajo el nombre de E. ornatus, aludiendo a su aspecto ornamental. Esta especie fue colectada en México por Coulter, sin precisar su procedencia.

Pocos años después, Lemaire (1839) propuso un nuevo género al que designó como Astrophytum, nombre que proviene del griego Aster que significa estrella y phyton de planta. La especie fue descrita como A. myriostigma, nombre que alude a los tricomas que cubren totalmente el tallo.

Hacia 1845, Zuccarini describió una planta de dimensiones más pequeñas con respecto a la especie anterior, de forma más o menos esférica y provista de numerosos y diminutos tricomas y sin espinas como en A. myriostigma, a la que denominó Echinocactus asterias, nombre que alude a la analogía con las estrellas de mar del género Asterias. (Sadovský y Schütz, 1979).

Pocos años después, Dietrich describe la cuarta especie, pero que también agrupó en Echinocactus. Se trataba de una especie parecida a Astrophytum ornatum, pero a diferencia de éste, presentaba costillas más delgadas y espinas torcidas, aplanadas y suaves, a la que llamo E. capricornis (Sadovský y Schütz, 1979).

Schumann (1898) mantiene la misma idea original de De

Candolle, de reunir en Echinocactus a una serie de cactáceas que actualmente están agrupadas en géneros distintos, entre los cuales se encuentra Astrophytum (cuadro 1).

Britton y Rose (1923) reconsideran el trabajo de Lemaire al elevar la posición taxonómica de Astrophytum a género y agrupando en él a las cuatro especies mencionadas anteriormente (cuadro 1).

En su trabajo sobre las cactáceas mexicanas, Bravo (1937; en prensa) mantiene las reconsideraciones de Britton y Rose.

Backeberg (1950; 1961) también participa de esta última idea, pero considerando dos especies más: A. coahuilense (Moeller) Kayser y A. senile Fric; separando a las seis especies en dos subgéneros: Neoastrophytum y Astrophytum [Euastrophytum] (cuadro 1).

Sadovský y Schütz (op. cit.) reconocen 10 especies, es decir 4 más que Backeberg: A. crassispinum (Moell.) Haage et Sad., A. niveum (Kayser) Haage et Sad., A. tulense (Kayser) Sad. et Schuetz y A. columnare (Schumann) Sad. et Schuetz.

2.2 Posición filogenética de Astrophytum.

El género Astrophytum ha sido considerado cercano a Echinocactus y Homalocephala (sentido estricto) por Britton y Rose (1923), Berger (1929), Bravo (1937), Backeberg (1961) y más recientemente por el "Working Party" de la IOS (International Organization for Succulent Plant Study, 1986).

Sin embargo, Buxbaum (1951) después de realizar un estudio morfológico comparativo en tallo, flor, semilla, y considerando algunos estudios palinológicos efectuadas por Kurtz en Astrophytum, Echinocactus y Frailea, considera que Astrophytum

CUADRO 1. Posición filogenética del género Astrophytum en la familia CACTACEAE, según los sistemas de clasificación de Schumann (1898), Britton y Rose (1923), Backeberg (1964), Buxbaum (1958) y el Working Party de la IOS (1986).

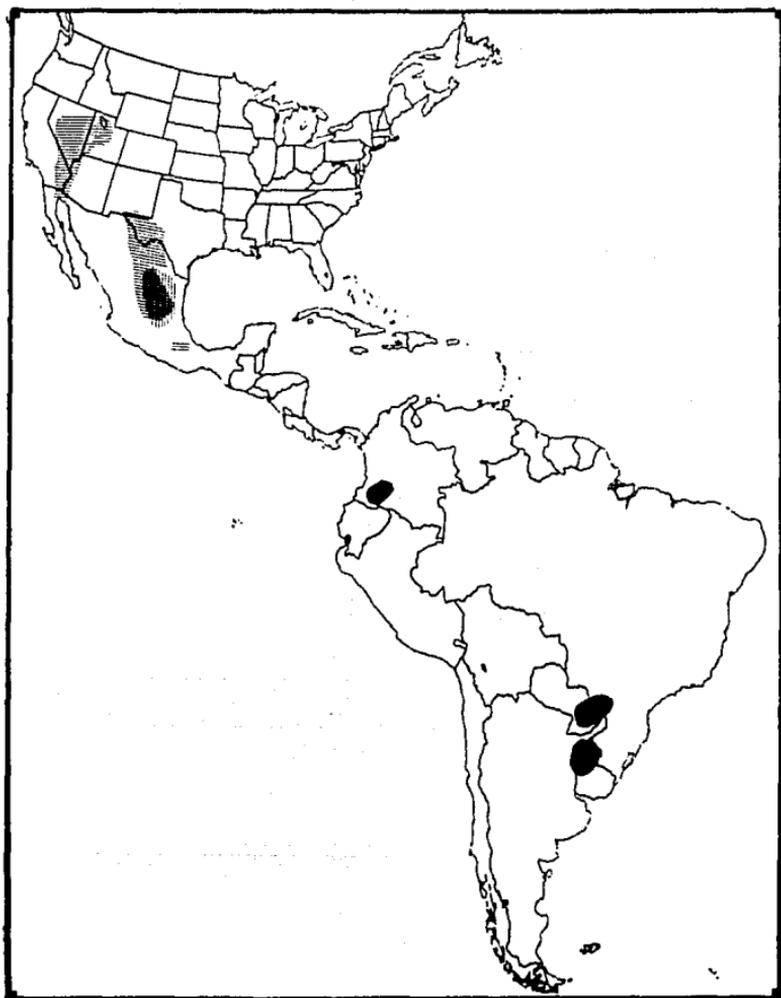
Schumann (1898)	Britton y Rose (1923)	Backeberg (1961)	Buxbaum (1958)	IOS (1986)
Subfamilia:				
Cereoideae	-	Cereae	Cereoideae	Cactoideae
Tribu:				
Echinocacteeae	Cereae	Cereae	Notocacteeae	Cacteeae
Subtribu:			Grupo C	
-	Echinocactanae	Boreo-Echinocacteeae		Cactinae
Géneros:				
<u>Echinocereus</u>	<u>Echinocactus</u>	<u>Echinocactus</u>	<u>Parodia</u>	<u>Echinocactus</u>
<u>Echinocactus</u>	<u>Homalocephala</u>	<u>Homalocephala</u>	<u>Frailea</u>	<u>Thelocactus</u>
Subgénero:	<u>Astrophytum</u>	<u>Astrophytum</u>	<u>Astrophytum</u>	<u>Pediocactus</u>
<u>Disocactus</u>	<u>Eriosyce</u>	Subgénero:	<u>Blossfeldia</u>	<u>Astrophytum</u>
<u>Malacocarpus</u>	+ 24 géneros	<u>Astrophytum</u>	+ 11 géneros	<u>Sclerocactus</u>
<u>Astrophytum</u>		<u>Neoastryphytum</u>		+ 14 géneros
<u>Gymnocalycium</u>		<u>Sclerocactus</u>		
<u>Lophophora</u>		+ 20 géneros		
<u>Rebutia</u>				
<u>Melocactus</u>				
+ 6 géneros				

no es de la misma línea evolutiva de Echinocactus (cuadro 1), pues solo encuentra 2 factores comunes que considera de poca significancia y que son la base de tal concepción: a) su distribución en Norteamérica y b) la densa lana que cubre el pericarpelo y tubo receptacular.

Por otra parte, propone que es vicariante con Frailea, género de la tribu sudamericana Notocacteeae, con quien comparte 2 semejanzas morfológicas básicas: a) semillas naviculares y b) granos de polen aparentemente similares. Esta hipótesis ha presentado oposiciones entre los especialistas, ya que al considerar al género Astrophytum como vicariante con Frailea, se presenta el problema de la distribución a larga distancia, ya que este género sudamericano se distribuye en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Paraguay y Uruguay, mientras que Astrophytum es exclusivamente norteamericano (mapa 1).

Rowley (1978) plantea que no se sabe con certeza si Astrophytum y Frailea son de la misma línea evolutiva, ya que dichas ideas son solo deducciones a partir de las cactáceas que se conocen actualmente y debidas a la ausencia de un registro fósil.

Por su parte Pearce y col. (1978) consideran que la semejanza entre las semillas de estos dos géneros se puede explicar por una convergencia evolutiva, a través de una adaptación para facilitar una rápida germinación. Así mismo, otros caracteres difieren marcadamente, como son el tipo de dehiscencia en los frutos y el sistema de reproducción, ya que en Frailea la autogamia es factible, mientras que en Astrophytum existe una marcada heterogamia.



MAPA 1. Distribución geográfica:

Astrophytum 

Echinocactus 

Frailea 

2.3 Variación morfológica en Astrophytum ornatum.

Bravo y Sánchez-Mejorada (en prensa), han observado notables variaciones en algunas especies del género Astrophytum, y consideran que algunas de ellas están relacionadas con su habitat y distribución geográfica, mientras que otras formas conviven indistintamente en cualquier sitio, por lo que estos autores recomiendan mayores investigaciones sobre la variación de estas especies, en toda su área de distribución, y así poder definir las formas que realmente ameriten un reconocimiento taxonómico a nivel subgenérico. Tal es el caso de A. ornatum (DC.) F.A.C. Weber, en donde los estudios realizados son escasos y confusos, pues en algunos trabajos se han mencionando hasta 14 variedades.

Schütz (1971), estudiando las variaciones morfológicas de Astrophytum ornatum (DC.) F.A.C. Weber, en condiciones de cultivo, decidió considerar 5 variedades para esta especie, basándose en caracteres como las dimensiones de las plantas, color y tamaño de las espinas, el porcentaje de tricomas en el tallo y la disposición del patrón de crecimiento vertical u ortóstico (espirotrofia).

Hájek (1977), al observar poblaciones silvestres de A. ornatum en la Barranca de Tolimán, Hidalgo y en Vizarrón, Querétaro., encontró una variación en el porcentaje de tricomas en el tallo. Estos tricomas se pierden conforme crece la planta, aunque en algunos organismos adultos persisten por encontrarse en microambientes más sombríos. Deduce el referido autor, que la presencia de tricomas sobre el tallo está relacionado con la intensidad de insolación recibida por la planta.

Pechánek (1978), reporta algunas observaciones hechas durante 40 años en 5 variedades de A. ornatum cultivadas en Europa; encuentra por un lado, que el crecimiento de los individuos depende de la variedad a la que pertenece (vars. niveum, glabrescens y mirbelii); en dos de las variedades las dimensiones del tallo son muy similares (vars. glabrescens y spiralis), y por último reporta una variedad (virens) con un rango muy amplio de variación en las dimensiones del tallo.

III OBJETIVOS

Estudiar la variación morfológica de Astrophytum ornatum (DC.) F.A.C. Weber en cuatro poblaciones de las zonas áridas de los Estados de Hidalgo y Querétaro.

Conocer la confiabilidad de los caracteres analizados por Hájek (1977), Pechánek (1978) y Schütz (1971) para la designación de las variedades de esta especie y dilucidar su existencia real.

Evaluar el estado de conservación que guardan las poblaciones estudiadas ante el deterioro ambiental y el saqueo.

IV EL AREA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación de las localidades.

El presente estudio se desarrolló en cuatro localidades a saber: 1) 800 m al E de Motoshi, municipio de Peñamiller (21° 03' 20" N. y 99° 43' 40" O.); 2) 1 km al NO. de Carricillo, municipio de Cadereyta (20° 42' 20" N. y 99° 37' 20" O.), ambos en el Estado de Querétaro; 3) 1 km al E. de Tolantongo, municipio Cardonal (20° 38' 30" N. y 98° 58' 50" O.); 4) y la última a 5.5 km al SE de Metztlán, municipio de Metztlán (20° 35' 10" N. y 98° 44' 20" O.), en el Estado de Hidalgo (mapa 2).

4.2 Fisiografía.

El área de estudio se encuentra entre diversos macizos montañosos de la región centro de los Estados de Hidalgo y Querétaro, en pequeñas porciones secas formadas por depresiones profundas, denominadas zonas áridas queretana e hidalguense.

Geográficamente, la zona esta limitada por los meridianos 98° 42' y 100° 01' de longitud O. y por los paralelos de 20° 28' y 21° 21' de latitud N.

Rzedowski (1968) divide a las zonas áridas de Hidalgo y Querétaro en dos categorías, basándose en su fisiografía y vegetación:

- a) Valles intermontanos de sotavento. Representados en Hidalgo por el Valle del Mezquital (municipios de Actopan, Ixmiquilpan y Zimapán), y en Querétaro por algunas depresiones conocidas como los valles de Cadereyta, Peñamiller (ubicación de la localidad 1) y Tolimán.
- b) Barrancas profundas. Corresponden a los cursos altos y medios

de algunos afluentes del Río Pánuco. En Querétaro está representado por el Río Estorax; en el límite de Hidalgo y Querétaro por la barranca del Río Moctezuma (ubicación próxima de la localidad 2); y en Hidalgo por las barrancas de Boca de León, Tolantongo (localidad 3) y Metztlán (localidad 4).

Los límites de las zonas secas de Hidalgo y Querétaro y su relación con las demás zonas áridas de México, es totalmente convencional y no muy claro del todo. En este sentido, Rzedowski (1973) encontró que la flora de las zonas áridas queretana e hidalguense presentan cierta continuidad entre sí, y gran semejanza con el desierto chihuahuense.

4.3 Geología.

La región presenta una secuencia compleja de emersiones, transgresiones y deformaciones de carácter tectónico. Los afloramientos geológicos que existen muestran un rango de tiempo entre el Pérmico y el Reciente, con una elevación definitiva hacia finales del Cretácico.

De las 10 formaciones que afloran en toda la región, en tres de ellas se encuentran las cuatro poblaciones donde se desarrolló el presente estudio (cuadro 2), las cuales se caracterizan por materiales sedimentarios del Mesozoico (calizas, calizas-lutitas y areniscas) y que corresponden a: Formaciones Las Trancas, El Doctor o El Abra y las indiferenciadas Soyatal y Mexcala (Seegerstrom, 1961, 1962)

4.4 Hidrografía.

El área de estudio pertenece a la cuenca superior del Río Moctezuma-Pánuco, la que desagua en la vertiente del Golfo de

CUADRO 2. Esquema de las formaciones geológicas reportadas para la zona de estudio, según Segerstrom (1962).

FORMACION	TIPO DE ROCA	EPOCA
Mexcala y Soyatal	Calizas, lutitas y limolitas	Cretácico superior
El Doctor (calizas El Abra)	Calizas	Cretácico inferior
Las Trancas	Lutitas filitizadas	Jurásico medio y superior

México. En Querétaro el sistema de drenaje esta formado por los Rios Estorax y Tolimán, los que desaguan finalmente en el Rio Moctezuma. Este último rio sirve de limite natural entre Hidalgo y Querétaro (mapa 3). En Hidalgo, el sistema de drenaje para la zona de estudio, está conformado por los Rios Amajac, Grande de Metztlán, Blanco de Tolantongo y Tula (mapa 3) (Holt, 1970; Sánchez-Mejorada, 1978).

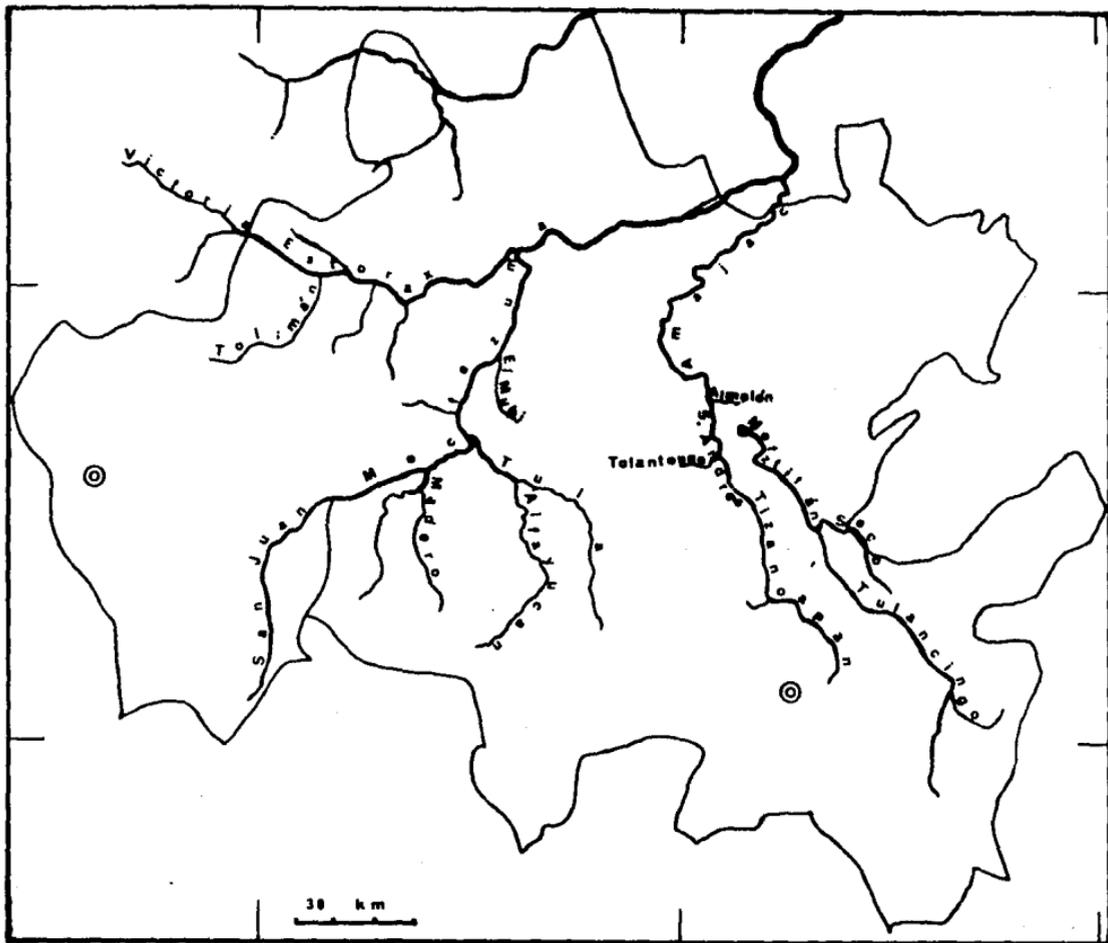
4.5 Clima.

De acuerdo con las modificaciones hechas por García (1981) del sistema de clasificación climática de Köppen, la zona de estudio corresponde al grupo de climas B (seco), representado por los BS (semiseco o estepario), bajo los subtipos BS₁ el mas seco y BS₂ el menos seco.

El régimen de lluvias en la región es de verano (mayo-octubre). La precipitación, que tiene un origen convectivo, aumentan entre los meses de junio y julio, después de los cuales sufre una ligera merma, conocida como "canicula" o sequia intraestival, con la excepción de Metztlán, donde esta condición parece no presentarse (cuadro 3). A fines de octubre se registra un brusco descenso, con lo cual se inicia la temporada de secas (octubre-abril)(cuadro 3).

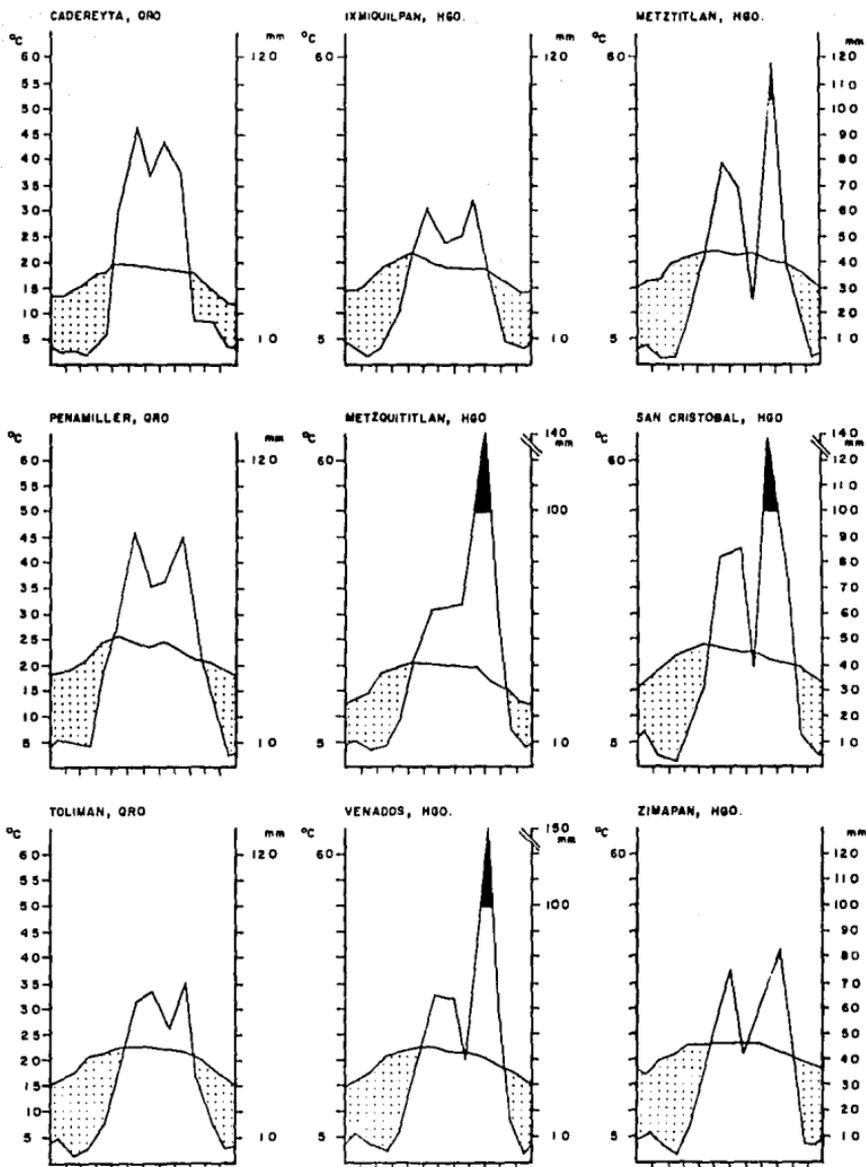
En lo que respecta a la marcha anual de la temperatura, esta sigue un comportamiento similar a la precipitación (cuadro 3).

La razón de la presencia de un clima semiseco en la zona de estudio, es debido en gran medida a su posición respecto a la Sierra Madre Oriental y algunas de sus estribaciones, ya que tal sistema montañoso actúa como sombra orográfica, de tal forma que



MAPA 3. Ríos más importantes de Querétar e Hidalgo.

CUADRO 3. Diagramas ombrotérmicos de 9 estaciones meteorológicas de Hidalgo y Querétaro.



los vientos alisios chocan y ascienden por su ladera de barlovento, enfriándose adiabáticamente y depositando su abundante contenido de humedad en forma de lluvia, por lo que a las laderas de sotavento pasan secos y fríos, originando la aridez en los valles y barrancas profundas en los Estados de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato.

4.6 Suelo

Los principales tipos de suelo son: A) Feozem, se encuentran al noreste y sur de la zona de estudio; se caracterizan por presentar una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y en nutrientes; su textura es de franco y mijagón-arcilloso; pH entre 6.7 y 8.1. B) Litosol, se localiza al norte de la zona; su textura es franco o mijagón arcillo-arenoso; el pH es de 7.0. C) Regosol, se encuentra al norte del Río Estorax y en la Barranca de Metztitlán; su textura varía de mijagón-arcilloso, mijagón arenoso y limosol o franco; presenta pH de 6.5 a 7.8. D) Rendzinas, se encuentra en la zona centro de Hidalgo y Querétaro; la textura es de tipo mijagón arcillo-arenoso; el pH varía entre 6.0 y 7.5.

V METODOLOGIA

Para el presente estudio se realizó la siguiente metodología:

5.1 Revisión bibliográfica.

Se hizo una revisión de los antecedentes taxonómicos del género y particularmente de la especie en estudio (Astrophytum ornatum) y sus variedades.

Para establecer correctamente los nombres científicos, sinónimos, aclarar fechas y títulos de publicaciones, averiguar la existencia de tipos y dilucidar localidades dudosas donde fueron colectadas algunos ejemplares en el pasado, se consultaron índices y otras referencias especializadas.

Con el propósito de incluir en el presente trabajo el estado de conservación de A. ornatum y las posibles causas por las cuales se encuentra amenazada, se revisó la bibliografía relacionada con el tema.

5.2 Revisión de herbario.

La revisión del material herborizado fue para aclarar los siguientes puntos: a) la posible relación de la especie aquí estudiada con alguna de las variedades reportadas y b) información de campo concerniente a su distribución, condiciones ambientales del habitat, etc.

La parte principal de esta revisión se realizó en el Herbario Nacional del Instituto de Biología, U.N.A.M. (MEXU), ya que aquí se encuentra la mayor colección de cactáceas en el país; aunque también se consultaron el Herbario de la Escuela Nacional

de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB) y el Herbario de la Facultad de Ciencias, U.N.A.M. (FCME).

5.3 Actividades de campo.

A través de diferentes recorridos por los Estados de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato, se conoció la distribución geográfica de esta especie. En estos recorridos se hicieron observaciones de la variación de las estructuras morfológicas como las dimensiones del tallo, espinas, aréolas, etc.

-Durante el trabajo de campo se colectó y herborizó material de la especie en estudio y posteriormente se depositó en el Herbario Nacional (MEXU). Para su colecta y preparación se siguió la técnica propuesta por Sánchez-Mejorada para especies suculentas (En: Lot y Chiang, 1986).

5.4 Establecimiento de las localidades y muestreo de poblaciones.

Las 4 localidades de estudio (ver área de estudio, pag. 12) se seleccionaron bajo el criterio de abarcar la mayoría de las condiciones microambientales posibles donde vegeta esta especie, como son: sitios permanentemente sobreados, parcialmente sombreados y lugares totalmente expuestos a la radiación solar.

En cuanto a la forma de muestreo, se utilizaron transectos elegidos al azar a lo largo de las poblaciones; dichos transectos se realizaron con cadenas de 25 m. marcadas cada metro, y obteniéndose transectos de 25 m². Para el número de individuos, se siguió la idea de Goodman (En: Radford y col. 1974) de que los requisitos para tener muestras representativas son el sentido común y un mínimo de conocimiento previo sobre la amplitud de

variación del taxon.

De esta forma, para el presente estudio, se utilizaron los caracteres mencionados por Hájek (1977), Pechánek (1978) y Schütz (1971) empleados en las variedades de A. ornatum. De ahí que se seleccionaron los caracteres de acuerdo a los preceptos sugeridos por Crovello (En: Radford y col. 1974) en el sentido de que fueran medibles con los recursos disponibles y que estuvieran presentes en la mayoría de los individuos.

Bajo estos criterios se tomaron en cuenta 20 caracteres morfológicos de tallo, flor y fruto (cuadro 4), de los cuales fueron medidos 18 caracteres cuantitativos y 2 cualitativos. Para corroborar que se trataba de plantas adultas, los caracteres se determinaron en individuos con flor y/o fruto, o restos de los mismos. El largo y ancho del tallo y de las costillas se realizaron con la ayuda de forcípulas. El número y largo de las espinas, así como el largo y ancho de las aréolas se midieron en la parte media de una costilla. La distancia entre aréolas y la diferencia en la longitud de espinas centrales se determinó entre la aréola de la mitad del tallo y la inmediata superior. Los caracteres antes citados, así como los de la flor y el fruto se obtuvieron con un vernier. En cuanto a los caracteres cualitativos, estos fueron la presencia o ausencia de tricomas y de espirotrofia en las costillas.

5.5 Análisis de datos.

El modelo al cual se atribuyó la variación fue el de efectos aleatorios:

$$Y_{ij} = M + S_i + E(ij)$$

CUADRO 4. Lista de caracteres estudiados y variables asignadas.

C A R A C T E R E S	V A R I A B L E
Diámetro de la planta (cm)	A
Altura de la planta (cm)	B
tricomas: presencia/ausencia	C
espirotrofia: presencia/ausencia	D
número de costillas	E
largo de costilla (cm)	F
ancho de costilla (cm)	G
largo de aréola (cm)	H
ancho de aréola (cm)	I
distancia entre aréolas (cm)	J
número de espinas radiales	K
número de espinas centrales	L
largo mínimo de espina radial (cm)	M
largo máximo de espina radial (cm)	N
largo mínimo de espina central (cm)	O
largo máximo de espina central (cm)	P
largo de la flor (cm)	Q
ancho de la flor (cm)	R
largo del fruto (cm)	S
ancho del fruto (cm)	T

donde

Y_{ij} es la j -ésima observación de la i -ésima población de cada una de las variables de respuesta en forma individual.

M es la media poblacional.

S_i es el efecto de la i -ésima localidad.

$E(i)j$ es el error aleatorio DNI ($0, \sigma^2$).

Las variables A, B, E, F, G, H, I, J, K, L, Q, R, S y T se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) en su subrutina ANOVA-Diseño Completamente Aleatorizado (SAS, 1982), obteniéndose sus medias y errores estándar mínimos cuadráticos así como la comparación de medias respectivas; las variables C y D por ser categóricas fueron analizadas utilizando la prueba de Kruskal-Wallis por medio de una aproximación de X^2 del mismo paquete. A las variables M, N, O y P se les realizó una ANOVA-Diseño Completamente Aleatorizado, obteniéndose las medias y errores estándar generales y utilizando la prueba de Scheffé para comparación de medias (Bruning, 1977).

5.6 Observaciones sobre el estado de conservación.

Para realizar una primera evaluación sobre el estado de conservación de A. ornatum, se siguieron los lineamientos propuestos por Henifin, y col. (1981) para la formulación de reportes de estado de conservación de especies vegetales raras o en peligro de extinción y adaptada por Sánchez-Mejorada y col. (1986) para las condiciones particulares de las cactáceas de México. De esta forma, se registró presencia, abundancia

relativa, tenencia de la tierra y explotación aparente de la vegetación. Este último punto se verificó en forma cualitativa, según la magnitud de la perturbación directa o indirecta. Esta información se completa con la obtenida en las cartas climáticas, edafológicas y geológicas de la zona.

VI. RESULTADOS

A continuación se proporcionan los resultados obtenidos en este trabajo. Se brindan las descripciones del género Astrophytum, de la especie en estudio, A. ornatum y de las variedades consideradas en este trabajo; la variación morfológica determinada en las 4 poblaciones y el estado de conservación en su área de distribución.

6.1 Descripción del género.

ASTROPHYTUM Lemaire, Cact. Gen. Nov. Sp. 3. 1839.
Echinocactus Link et Otto, Verh. Ver. Befoerd.
Gart. 3: 412. 1827.
Echinocactus subgén. Astrophytum Schumann.
Gesambt. Kakt. 324, 1898.
Mairocactus Rostz, Zeitz. Sukk. 8: 138. 1925.

Plantas de aspecto más o menos esférico con el ápice ligeramente hundido, hasta cilíndricas. Costillas de 4-13, ± constante en cada especie; epidermis verde, gruesa y de consistencia dura, revestida de conspicuos tricomas o "estigmas" blancos, ramificados y blanquecinos; espinas presentes en dos especies (A. capricorne v A. ornatum), largas, aciculares o subuladas, de consistencia variable, dependiendo de la especie;

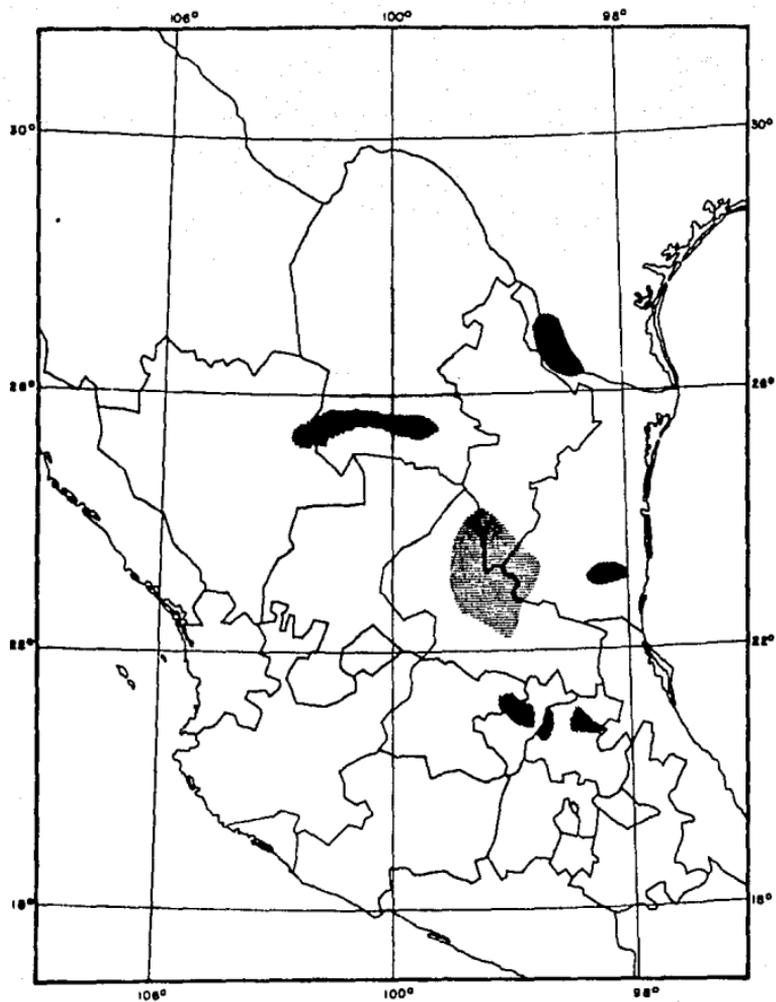
pericarpelo y tubo receptacular con lana y escamas mucronadas; segmentos del perianto lineares, espatulados hasta obtusos, de color amarillo a verde limón y en algunas especies la base de los segmentos son rojos; estambres amarillos; lóbulos del estigma amarillos, cavidad del ovario grande y los rudimentos seminales presentan funiculos ramificados. Fruto carnoso a semiseco, de color amarillo a rojo y de forma globoso a alargado, presentando lana y escamas, dehiscencia apical; semillas de color pardo oscuro a negro con testa ligeramente rugosa, forma cimbrada, de 3 a 5 mm de largo, no existe perisperma, el hilo es amplio y cóncavo y el micrópilo se encuentra fuera del hilo.

Especie tipo: Astrophytum myriostigma Lemaire.

Distribución geográfica: Las especies de Astrophytum son básicamente de México, confinándose a la región centro-norte del país, en la región conocida como Altiplanicie Mexicana y delimitadas en forma general por las principales serranías: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Eje Volcánico Transversal (mapa 4).

Climáticamente se distribuyen en zonas secas a semisecas, con lluvias de verano, particularmente en los matorrales: micrófilo, rosetófilo, crasicale y ocasionalmente en selva baja caducifolia, en lugares abiertos, con buen drenaje y en altitudes que varía entre 800 y 1900 m s.n.m. aproximadamente.

Entre las especies que presentan una distribución relativamente más amplia están A. capricorne y A. myriostigma, quienes se encuentran en los más variados tipos de comunidades vegetales a diferentes altitudes.



MAPA 4 Distribución geográfica del género Astrophytum :

-  *A. gelseias*
-  *A. capricorne*
-  *A. myriostigma*
-  *A. ornatum*

A. ornatum se limita más en su habitat en relación a las 2 especies antes mencionadas; sin embargo, A. asterias corresponde al taxón más restringido, de acuerdo con la información actual (Sánchez-Mejorada y col. 1986), tanto por el tipo de vegetación, las localidades que se conocen de ella y el saqueo indiscriminado a que esta sujeta.

De las 4 especies, A. capricorne y A. myriostigma ocurren simpátricamente al S. de Coahuila (mapa 4), sin reportarse hasta ahora ningún tipo de hibridación natural (Glass y Foster, 1974).

6.2 Descripción de la especie.

Astrophytum ornatum (De Candolle) F.A.C. Weber ex Britton et Rose, Cactaceae, 3: 185, 1922.

Echinocactus ornatus DC., Mém. Mus. Hist. Nat. Paris, 17:114, 1828.

Echinocactus mirbelii Lemaire, Cact. Aliq. Nov. 22, 1838.

Echinocactus holopterus Miquel, Linnaea 12: 2, 1838.

Echinocactus tortus Scheidweiler, Bull. Acad. Sci. Brux. 5: 493, 1838.

Echinofossulocactus mirbelii Laurence, Loundon Gard. Mag. 17: 318, 1841.

Echinocactus giesbreghtii Salm-Dyck, All. Gartn. Pflanz. 18: 395, 1850.

Echinopsis haageana Linke, Wochenschr. Gartn. Pflanz. 1: 86, 1858.

Echinocactus ornatus var. mirbelii Croucher, Gard. Chron. 983, 1873.

Echinocactus haageanus Ruempler ex Foester, Handb. Cact. ed. 2. 469, 1885.

Astrophytum ornatum (DC.) F.A.C. Weber, manuscrito ca. 1895.

Astrophytum glabrescens F.A.C. Weber, manuscrito ca. 1895.

Echinocactus ornatus var. glabrescens Schumann, Gesamtb. Kakt. 324, 1898.

Echinocactus ornatus var. kochii Cels ex Okumura, Svaboten 4: 216, 1933.

Astrophytum ornatum var. glabrescens (F.A.C. Weber) Okumura, Svaboten 4: 216, 1933.

Astrophytum ornatum var. mirbelii (Lem.) Okumura, Svaboten 4: 216, 1933.

Astrophytum ornatum subvar. glabrescens (F.A.C. Weber) Backeberg, Cactaceae 5: 2664, 1961

Astrophytum ornatum var. niveum Schuetz et Fleischer,
Kaktusy 7: 55, 1971
Astrophytum ornatum var. virens Schuetz et Fleischer,
Kaktusy 7: 55, 1971

Tallo globoso hasta cilíndrico con la edad, de 50-100 cm de largo (figuras 1 a 8), de 15 a 25 cm de diámetro; no se ramifica, a menos que sufra daños mecánicos; raíces fibrosas, de hasta 2 m de largo; epidermis gruesa y dura, de color verde claro a verde opaco, cubierta por tricomas blancos ya sea parcial (figura 2 y 5) o totalmente (figura 3) y caducos con la edad; costillas 8(-12), prominentes, agudas, de (3-)4(-6) cm de altura, rectas (figura 1) o espiraladas (figura 8); aréolas circulares hasta elípticas, de 0.9-1.8 cm de largo y de 0.7 a 1.2 cm de ancho, a veces confluentes con la parte superior (figura 6), distantes entre sí 1.4(-4) cm (figura 1), con lana amarilla en la zona basal, grisácea y caducas con la edad; espinas radiales de (6-)7(-10), más o menos rígidas, subuladas, rectas, a veces ligeramente curvas, entrelazándose irregularmente, de (2-)3-4(-5) cm de largo, ensanchadas en la base y debilmente estriadas transversalmente, color amarillo ambar, base rojiza o pardo oscuro y con el tiempo negruzcas; espinas centrales 1(-3), un poco más rígidas que las radiales, de (3.5-)5-7(-10) cm de largo, el resto de las características son semejantes a las espinas radiales. Flor diurna, sentada, infundibuliforme, nace en la zona apical de la planta, solitaria (figura 6), de (4-)5(-8) cm de largo y 4 cm de ancho, pericarpelo más o menos ovado de 0.5 a 1 cm de longitud y de 0.3 a 0.7 cm de diámetro, escamas largas, acuminadas, con el borde dentado, color amarillo a pardo oscuro, la lana es amarilla y cubre completamente el pericarpelo;

tubo receptacular corto, cubierto por escamas largas; segmentos exteriores del perianto lanceolados, de color amarillo limón y a veces con tonos rosados. ápice acuminado de color pardo oscuro, borde superior dentado, de 0.6 a 1.5 cm de largo y de 0.2 a 0.8 cm de ancho; segmentos interiores angostamente obovados a acuminados, con el borde dentado, color amarillo canario, de 1.5 a 2.5 cm de largo y de 0.7 a 1.0 cm de ancho; estambres amarillos, granos de polen 12(-15)-colpados; anillo nectarial corto con estriaciones longitudinales tenues; estilo amarillo; lóbulos del estigma de 7-10, amarillo intenso, emergentes sobre las anteras; cavidad ovárica elíptica; funiculos ramificados con algunas papilas. Fruto globoso, semiseco, con dehiscencia apical, de (1.5-)2(-3.2) cm de largo y (0.8-)1.3 cm de diámetro, verde opaco cubierto totalmente de escamas acuminadas y lana amarilenta, persiste en la aréola por varios meses. Semilla navicular, de 2.5-3.1 mm de largo y de 1.5 a 1.7 mm de espesor, hilo de 2.3 a 2.8 mm de longitud; testa verrucosa de color pardo oscuro; micrópilo fuera del hilo.

El epíteto específico deriva de planta ornamental, ya que la presencia de tricomas en el tallo y una flor grande y amarilla, le confieren un aspecto atractivo. Según parece, Weber nunca llegó a publicar la descripción de la especie, sin embargo Britton y Rose (1923) reproducen su descripción que es la siguiente: "Planta subglobosa o cilíndrica, de 30 cm o más de alto; la superficie más o menos blanca flocosa; costillas 8, muy prominentes, 2 cm de alto o más agudas; aréolas distantes 1 a 5 cm, con fieltro, espinas 5 a 11, subuladas, amarillas al principio, después marrón, de 3 cm de largo; flor larga, amarillo



Figura 1. A. ornatum
entre agaves; ejemplar
sin tricomas y con
costillas rectas. Po-
blación 1, Motoshi,
Querétaro.

Figura 2. A. ornatum,
ejemplar con tricomas
y costillas torcidas.
Población 1, Motoshi,
Querétaro.





Fig. 3. A. ornatum bajo
arbustos; planta sin tricomas
aréolas separadas y costillas
rectas. Población 2,
Carricillo, Querétaro.



Fig. 4. A. ornatum con
tricomas, aréolas separadas
y costillas rectas, cultivado
en el Jardín Botánico, UNAM.
Población 2, Carricillo,
Querétaro.

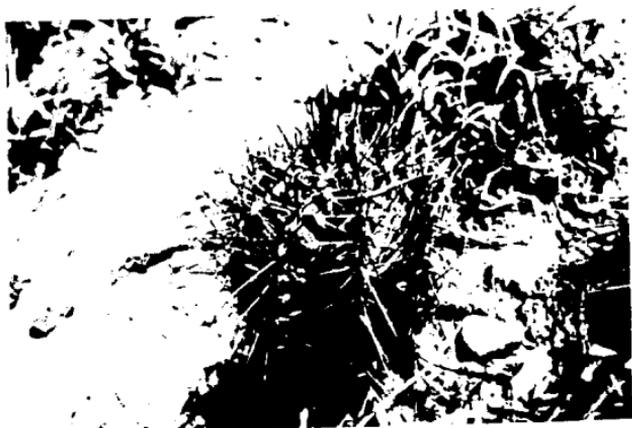


Fig. 5. A. ornatum con tri-
comas en el tallo y cos-
tillas rectas. Población 3,
Tolantongo, Hidalgo.



Fig. 6. A. ornatum sin tri-
comas en el tallo y costi-
llas rectas. Población 4,
Metztitlán, Hidalgo.



Fig. 7. A. ornatum con tricomas, aréolas próximas y costillas torcidas, Población 4, Metztlitlán, Hidalgo.

Fig. 8. A. ornatum sin tricomas, aréolas próximas y costillas torcidas. Población 4, Metztlitlán, Hidalgo.



limón, de 7 a 9 cm de ancho, segmentos interiores del perianto ampliamente oblongos, más o menos aserrados en el ápice, escamas limitadas al ovario."

Distribución geográfica: Estados de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato (cuadro 5).

En el Estado de Hidalgo se encuentra en los municipios de:

Cardonal.- Arias 270 (MEXU); Arias s.n. (MEXU)

Metzquititlán.- Bravo s.n. (MEXU); Arias y Téllez 271 (MEXU)

Metztitlán.- Leuenberger 2636 (MEXU)

Tlahuiltepa.- Otero, Cact. Suc. Mex. 14:57 (1969)

Zimapan.- Arias y Nagl 134 (MEXU)

En el Estado de Querétaro esta representa en los municipios de:

Cadereyta.- Altamirano 1672 (MEXU); Arias y Gama 720 (MEXU)

Scheinvar 2869 (MEXU)

Peñamiller.- Arias y Guzmán 251 (MEXU); Arias y Gama 721
(MEXU)

En el Estado de Guanajuato se encuentra en los municipios de:

Tierra Blanca.- Fittkau, Kakt. and. Sukk. 30: 97 (1979).

Xichu.- Arias y Gama 719 (MEXU)

6.3 Descripción de las variedades.

De las variedades de A. ornatum que se conocen actualmente solo 4 presentan descripción precisa y siguen los reglamentos del Código Internacional de Nomenclatura Botánica, por lo que en el presente trabajo se tratarán exclusivamente estos epítetos. Estas descripciones se basan en los trabajos de Backeberg (1961); Fearn, 1960; Gilkev, 1944; Hájek, 1977; Pechánek, 1978 y Sadovský y Schutz, 1979.

CUADRO 5. Lista comparativa de localidades de *A. ornatum* en las zonas áridas de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato.

Localidad	Municipio/ Estado	coordenadas geográficas	altitud m s.n.m.	formula climática*	geología**	edafología ***	vegetación	densidad
Cerro El Calvario	Tolimán, Qro.	99°55'30" 20°54'40"	1650	BS ₁ hw"(w) (e)'g	calizas	feozem calcárico	matorral rosetófilo	+
10 km al E de Peñamiller	Peñamiller, Qro.	99°47'10" 21°03'40"	1700	BS ₁ hw"(w) (e)'g	caliza- lutita	litosol	matorral microfilo	+
800 m al SO de Motoshi	Peñamiller, Qro.	99°43'40" 21°03'20"	1400	BS ₁ hw"(w) (e)'g	calizas- lutitas	litosol	matorral microfilo	+++
5 km al E de Higuerillas	Tolimán, Qro.	99°44'30" 21°03'20"	1500	BS ₁ hw"(w) (e)'g	calizas- lutitas	rendzina	matorral rosetófilo	+
Rancho Viejo	Tolimán, Qro.	99°54'20" 20°55'30"	1700	BS ₁ kw"(w) (e)'g	areniscas	feozem calcárico	matorral rosetófilo	+
Carricillo	Cadereyta, Qro.	99°37'20" 20°42'20"	1700	"	calizas	litosol	matorral rosetófilo	++
La Negra (mina)	Cadereyta, Qro.	99°30'30" 20°42'20"	1600	BS ₁ hw"(w) (e)'g	calizas	regosol- calcárico	matorral submontano	++
Vista Hermosa	Cadereyta, Qro.	99°31'40" 20°39'50"	1350	BS ₁ hw"(w) (e)'g	calizas- lutitas	regosol calcárico	matorral rosetófilo	++
Boca de León (barranca) (a)	Tlaxiiltapa, Hgo.	99°01'50" 20°57'20"	800 aprox.	BS ₁ kw"(w) (i)'g	calizas- lutitas	litosol	matorral rosetófilo	
Tolantongo	Cardonal, Hgo.	98°58'50" 20°38'30"	1300	BS ₁ kw"(w) (i)'g	calizas- lutitas	litosol	selva baja caducifolia	++
1 km al N de San Juan	Metztitlán, Hgo.	98°43'10" 20°33'40"	1340	BS ₀ hw"(w) (i)'g	calizas	regosol- calcárico	matorral crasicaule	+
5.5 km al SE de Metztitlán	Metztitlán, Hgo.	98°44'20" 20°35'10"	1300	BS ₀ hw"(w) (i)'g	calizas	regosol- calcárico	matorral rosetófilo	+++
1 km al E de Venados	Metzquititlán, Hgo.	98°39'30" 20°30'10"	1350	BS _{1/0} hw (w)'(i)'g	calizas- lutitas	regosol- calcárico	matorral crasicaule	+

CUADRO 5. continuación...

Localidad	Municipio/ Estado	coordenadas geográficas	altitud m s.n.m.	formula climática*	geología**	edafología	vegetación	densidad
Laguna de Metztitlán	Metztitlán, Hgo.	98°50' 20" 20°40'10"	1200	BS ₁ hw" (w) (e)g	calizas- lutitas	regosol- calcárico	matorral crasicaule	++
Cercanías a Tolimán	Zimapan, Hgo.	98°27'15" 20°45'10"	1200	BS ₁ hw" (w) (e)g	calizas- lutitas	rendzinas	matorral rosetófilo	+++
500 m al O de Tzijay	Zimapan, Hgo.	99°27'20" 20°40'30"	1500	BS ₁ hw" (w) (e)g	calizas	regosol calcárico	matorral rosetófilo	++
Agua Blanca	Zimapan Hgo.	99°28'10" 20°40'20"	1300	BS ₁ hw" (w) (e)g	calizas	regosol calcárico	matorral rosetófilo	++
La Presa	Xichú, Gto.	108°30'10" 21°18'40"	1200	BS ₀ hw" (w) (e)g	calizas- lutitas	litosol rendzina	matorral espinoso	+

{a) localidad no visitada pero reportada por Otero (1969); * tomado de las cartas climáticas Pachuca 14Q-(IV) y Querétaro 14Q-III; ** tomado de las cartas geológicas Pachuca F 14-11 y Cd. Valles F 14-8; *** tomado de las cartas edafológicas Pachuca F 14-11 y Cd. Valles F 14-8; densidad de A. ornatum: +, ++, +++ = densidad baja, moderada y alta respectivamente.

A. ornatum var. glabrescens (Web.) Okum. Syaboten 4: 216, 1933.

Tallos de hasta 60 cm de altura y 20 cm de diámetro, de color verde oscuro: costillas 8, rectas, llevando tricomas blancos cuando jóvenes, los cuales desaparecen con la edad; aréolas separadas entre sí, pequeñas, con poco lana, casi desnudas; espinas largas, amarillas.

A. ornatum var. mirbelii (Lem.) Okum. Syaboten 4: 216, 1933.

Tallos de 95 cm de altura y 19 a 20 cm de diámetro; costillas 8, rectas o espirotrofiadas, llevando tricomas a manera de fraínas, pero que no cubren totalmente el cuerpo, no desaparecen con la edad; aréolas cercanas entre sí; espinas largas, amarillas.

A. ornatum var. niveum Schuetz et Fleischer. Kaktusy 7: 55, 1971.

Plantas de hasta 37 cm de altura y 16 cm de diámetro; costillas 8, rectas, cubiertas totalmente de tricomas tanto en ejemplares jóvenes como adultos; aréolas más o menos distantes entre sí y con espinas cortas, amarillas.

A. ornatum var. virens Schuetz et Fleischer. Kaktusy 7: 55, 1971.

Tallos de hasta 58 cm de altura y de 19 a 21 cm de diámetro; costillas 8, rectas o a veces presentan espirotrofia, sin tricomas; aréolas próximas unas de otras; espinas largas y amarillas.

Otras variedades mencionadas y de las cuales no se conoce descripción precisa son:

var. aurispina Schields. Cact. Succ. J. (Los Angeles)
24: 70, 1957

var. glauces Gilkey. Cact. Succ. J. (Los Angeles) 16:

6.4 Variación morfológica.

El diámetro del tallo registrado en las 4 poblaciones de Astrophytum ornatum mostró una variación significativa (cuadro 5), en donde se pueden separar 3 grupos (literales a, b y c); el primero de ellos corresponde a la población 2 con el mayor diámetro (19.5 cm), la población 1 representa el segundo grupo (17.5 cm); entre ambas localidades se encuentra la población 3 con un diámetro intermedio (18.2 cm), y finalmente la población 4 corresponde al tercer grupo con el menor diámetro (15 cm). La mayor variación intrapoblacional corresponde a la población 3 (cuadro 6).

La altura del tallo también mostró variaciones significativas, dividiéndose en 2 grupos (cuadro 6, literales a y b). El primero, correspondiente al de mayores dimensiones está representado por la población 4 (47.5 cm), y en el segundo grupo las poblaciones 1 y 3 (28.9 y 23.4 cm respectivamente), con las menores dimensiones. La población 2 representa una forma intermedia entre ambos grupos (40 cm), lo que indica que existe una mayor variación intrapoblacional en esta última población (cuadro 6).

En relación a la presencia o ausencia de los tricomas, los resultados obtenidos a partir de la prueba de Kruskal-Wallis indican que para las 4 poblaciones estudiadas no hay diferencias considerables ($P > 0.01$) para separar alguna población, ya que más del 70 % de los individuos de cada una de ellas presentaron

CUADRO 6. Media (\bar{X}) y error estandar (E.E.) para dimensiones de *A. ornatum*.

P	n	Diámetro (cm)		Altura (cm)	
		\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.
1	41	17.53 ^b ±	0.45	28.95 ^b ±	3.45
2	36	19.52 ^a ±	0.48	40.08 ^{ab} ±	3.64
3	15	18.26 ^{ab} ±	0.75	23.40 ^b ±	5.70
4	41	15.02 ^c ±	0.45	47.58 ^a ±	3.45

Valores con distinta literal (a, b, c) son estadísticamente diferentes ($p < 0.01$); P = población; n = número de individuos

tricomas (cuadro 7).

El desarrollo vertical de las costillas presenta una notable variación (cuadro 7), aunque en la mayoría de los individuos existe un crecimiento vertical normal (66.17 %), en algunos existe una espirotrofia que conduce a una disposición helicoidal de las costillas (33.83 %). Esta rotación se registró en individuos de las 4 poblaciones, siendo que en la población 1 es más marcado (75.61 %), lo cual contrasta con la población 2 (2.78 %) donde se registró el menor porcentaje. De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, la presencia de espirotrofia presentó diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre las 4 poblaciones (cuadro 7).

El número de costillas corresponde a uno de los caracteres más constantes, ya que los valores registrados no son estadísticamente significativos (cuadro 8).

El carácter largo de las costillas es poco variable entre las poblaciones (cuadro 8, literales a y b), encontrándose que sólo la población 3 registró una variación estadísticamente significativa ($P < 0.01$) teniendo la menor longitud (3.2 cm) en relación con las poblaciones 1, 2 y 4, quienes presentaron la mayor longitud (3.9, 4.0 v 4.1 cm respectivamente).

El ancho de la costilla presentó variaciones significativas (cuadro 8, literales a v b), las cuales fluctúan entre las observadas en las poblaciones 1 v 2, con los valores más altos (4.5 y 4.8 cm respectivamente), hasta los encontrados en las poblaciones 3 y 4, en donde los valores fueron los más bajos (2.5 v 3.0 cm).

En cuanto a las dimensiones de las areolas, la población 3

CUADRO 7. Porcentaje de individuos con tricomas y espirotrofia de *A. ornatum*.

P	n	individuos con tricomas		individuos sin tricomas		individuos con rotación		individuos sin rotación	
		núm.	%	núm.	%	núm.	%	núm.	%
1	41	30	73.17	11	26.83	31	75.61	10	24.39
2	36	27	75.00	9	25.00	1	2.78	35	97.32
3	15	15	100.00	0	0.0	3	20.0	12	80.0
4	41	29	70.73	12	29.27	10	24.39	31	75.61
Total		101	75.94	32	24.06	45	33.83	88	66.17

P= población; n= número de individuos

CUADRO 8. Media (\bar{X}) y error estandar (E.E.) para costillas de A. ornatum.

P	n	Número de costillas		Largo de costilla		Ancho de costilla	
		\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.
1	41	0.00 ^a	± 0.06	3.99 ^a	± 0.08	4.54 ^a	± 0.11
2	36	8.19 ^a	± 0.06	4.01 ^a	± 0.08	4.88 ^a	± 0.11
3	15	8.00 ^a	± 0.10	3.20 ^b	± 0.13	2.57 ^b	± 0.18
4	41	8.12 ^a	± 0.06	4.10 ^a	± 0.08	3.04 ^b	± 0.11

Valores con distinta literal (a, b) son estadísticamente diferentes ($p < 0.01$); P = población; n = número de individuos.

presentó la forma más circular, con 1.2 cm de largo y 1.0 cm de diámetro (cuadro 9); las poblaciones 1, 2 y 4 presentaron aréolas más elongadas, aunque de ellas, la tercera población tiene las aréolas más pequeñas (0.8 x 0.5 cm). Con respecto al largo de la aréola se puede observar en el mismo cuadro 9 la presencia de 2 grupos (literales a y b), en el primero se encuentran las poblaciones 1, 2 y 3 con las mayores dimensiones (1.2, 1.1 y 1.2 cm respectivamente), y en el segundo grupo la población 4 (0.8 cm). Referente al ancho de la aréola ésta registró dimensiones notablemente diferentes a nivel interpoblacional (cuadro 9), separándose 3 grupos a saber (literales a, b y c), siendo estos en forma descendiente los siguientes: la población 3 en el primer grupo con 1.0 cm, las poblaciones 1 y 2 en el segundo grupo con 0.8 cm, y la población 4 en el tercero con 0.5 cm. La distancia entre aréolas registró valores estadísticamente no significativos (cuadro 9).

El número de espinas radiales, que en forma general es de 7, representa un carácter de escasa variación (cuadro 10), conformándose así 2 grupos (literales a y b), en el primero de ellos se encuentra la población 4 con un mayor número de espinas radiales (7.17) y en el segundo grupo se localiza la población 2 (6.69); con un número de espinas radiales que fluctúan entre los dos grupos señalados se encuentran las poblaciones 1 y 3 (cuadro 10).

El número de espinas centrales es muy estable (cuadro 10), pues en las cuatro poblaciones se obtuvieron valores estadísticamente no significativos (literal a).

El largo mínimo de la espina radial presenta una variación

CUADRO 9. Media (\bar{X}) y error estandar (E.E.) para dimensiones de la aréola en *A. ornatum*

P	n	largo de aréola		ancho de aréola		distancia entre aréolas	
		\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.
1	41	1.29 ^a ± 0.03		0.85 ^b ± 0.02		0.74 ^a ± 0.09	
2	36	1.15 ^a ± 0.03		0.85 ^b ± 0.02		0.63 ^a ± 0.10	
3	15	1.24 ^a ± 0.06		1.02 ^a ± 0.03		0.67 ^a ± 0.16	
4	41	0.80 ^b ± 0.03		0.57 ± 0.02		0.71 ^a ± 0.09	

Valores con distinta literal (a, b, c) son estadísticamente diferentes ($p < 0.01$)
 P = población; n = número de individuos.

de casi 1 cm entre las 4 poblaciones (cuadro 10). en donde las poblaciones 2, 3 y 4 presentaron dimensiones similares, mientras que la población 1 registró la menor dimensión. El largo máximo de las espinas radiales es un caracter muy constante (cuadro 10, literal a).

El largo mínimo de la espina central presenta variaciones considerables (cuadro 10), separándose éstas en 2 grupos (literales a y b), por una parte las poblaciones 2 y 4 con los mayores valores (5.5 y 5.1 cm) y por otra las poblaciones 1 y 3 con los menores valores (3.9 y 3.5 cm respectivamente).

En cuanto al largo máximo de la espina central (cuadro 10), se encontraron variaciones altamente significativas entre las 4 poblaciones, dividiéndose en 2 grupos (literales a y b). El primero de ellos está integrado por la población 2 (7 cm) y el segundo por la población 3 (4 cm). Entre ambos se encuentran las poblaciones 1 y 4 de las cuales la población 4 (6 cm) está relacionado con la población 2, y la población 1 (5.2 cm) con la 3, es decir que entre las poblaciones 1 y 4 conjuntan un tercer grupo intermedio, por lo que a nivel intrapoblacional estas dos últimas representan la más notable variación (cuadro 10).

Para el largo de la flor (cuadro 11), las máximas dimensiones registradas fueron para las poblaciones 1, 2 y 4 (5.6, 5.7 y 5.9 cm respectivamente) y la mínima en la población 3 (4.6 cm), lo que separa a las poblaciones en 2 grupos (literales a y b). El ancho de la flor es relativamente diferente entre las poblaciones a nivel de 2 grupos (cuadro 11 literales a y b): el primero de ellos, representado por el de mayor diámetro corresponde a la población 3 (4.9 cm), mientras que las

CUADRO 10. Media (\bar{X}) y error estandar (E.E.) para número y dimensiones de espinas en A. ornatum

P	n	número de espinas radiales		número de espinas centrales		largo mínimo de espina radial		largo máximo de espina radial		largo mínimo de espina central		largo máximo de espina central	
		\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.
1	41	7.09 ^{ab} ±	0.09	1.02 ^a ±	0.04	2.35 ^b ±	0.05	4.33 ^a ±	0.15	3.90 ^b ±	0.11	5.20 ^{bc} ±	0.17
2	36	6.69 ^b ±	0.10	1.22 ^a ±	0.05	3.03 ^a ±	0.11	4.58 ^a ±	0.14	5.56 ^a ±	0.21	7.01 ^a ±	0.23
3	15	7.13 ^{ab} ±	0.15	1.00 ^a ±	0.08	3.35 ^a ±	0.06	3.86 ^a ±	0.10	3.58 ^b ±	0.04	4.08 ^c ±	0.10
4	41	7.17 ^a ±	0.09	1.04 ^a ±	0.04	3.01 ^a ±	0.06	3.57 ^a ±	0.09	5.16 ^a ±	0.12	6.03 ^{ab} ±	0.17

Valores con distinta literal (a, b, c) son estadísticamente diferentes ($p < 0.01$); P = población; n = número de individuos.

poblaciones 1, 2 y 4 representan el segundo grupo, con el menor diámetro (4.2, 4.1 y 4.2 cm respectivamente).

El largo del fruto no presenta variaciones a nivel interpoblacional, ya que se trata de valores estadísticamente no significativos (cuadro 11, literal a): por su parte, el diámetro del fruto (cuadro 11) presenta una variación que divide a las poblaciones 1, 2 y 4, con las mayores dimensiones (1.4, 1.2 y 1.4 cm), con respecto a la población 3 con la menor dimensión registrada (1.2 cm).

6.5 Estado de Conservación.

6.5.1 Categoría de vulnerabilidad.

Nivel nacional: V [vulnerable], INIREB (Vovides, inédito).

Nivel internacional: Apéndice II, CITES: V [vulnerable], UICN.

6.5.2 Importancia.

Esta especie no tiene un uso directo para las comunidades humanas de la región. El único uso que se ha determinado es el ornamental, ya que se trata de plantas atractivas por la presencia de tricomas vistosos sobre el tallo y una flor grande, de color amarillo. Estas características la han hecho imprescindible entre los coleccionistas, lo que ha estimulado su sobrecolecta desmedida.

La presencia de alcaloides no ha sido bien estudiado, aunque en algunas otras especies del mismo género ya se han determinado (Chalet, 1980).

CUADRO 11. Media (\bar{X}) y error estandar (E.E.) para las dimensiones de flor y fruto de A. ornatum

P	n	largo de la flor		ancho de la flor		largo del fruto		ancho del fruto	
		\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.	\bar{X}	E.E.
1	41	5.66 ^a ± 0.10		4.22 ^b ± 0.12		2.08 ^a ± 0.05		1.45 ^a ± 0.03	
2	36	5.75 ^a ± 0.10		4.13 ^b ± 0.12		2.05 ^a ± 0.05		1.29 ^a ± 0.03	
3	15	4.65 ^b ± 0.14		4.90 ^a ± 0.18		1.95 ^a ± 0.07		1.20 ^b ± 0.05	
4	41	5.92 ^a ± 0.14		4.22 ^b ± 0.18		2.01 ^a ± 0.07		1.45 ^a ± 0.05	

Valores con distinta literal (a, b) son estadísticamente diferentes (p 0.01)
 P = población; n = número de individuos.

6.5.3 Distribución geográfica.

A. ornatum es una especie endémica de México y su área de distribución se extiende en dirección NO-SE, casi paralela a la Sierra Madre Oriental, entre valles y barrancas de Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, entre los paralelos 20° 30'10" y 21° 18'40" de latitud N. y los meridianos 98° 21'10" y 108° 30'10" de longitud O. (mapa 3).

Schumann (1898) y Ochoterena (1923) reportan como localidad la zona de Real del Monte, Hidalgo; no obstante, se estima al igual que Sánchez-Mejorada (1955), que *A. ornatum* requiere de condiciones ambientales diferentes a las existentes en esta zona, ya que la humedad tan alta y las temperaturas bajas que se registran, de ningún modo caracterizan al ambiente donde crece. Posiblemente la razón de que se mencione a Real del Monte como localidad, se debe a que por este lugar sacaron alguna vez ejemplares procedentes de Metztlán.

Durante las exploraciones realizadas se registró la localidad más meridional en las cercanías al poblado de Venados, Hidalgo, es decir en la Barranca de Metztlán, y distribuyéndose por el corredor que forma ésta barranca hasta el Lago de Matztlán. Su distribución más septentrional corresponde a la barranca del Río Xichu, Guanajuato. Otro corredor lo conforma la barranca del Río Moctezuma, en el tramo correspondiente entre su unión con el Río Tula y el Río Santiago Mubi.

El tercer corredor de importancia lo forman los valles de Tolimán y Peñamiller conjuntamente a la barranca del Río Estorax, hasta cerca del poblado del Peña Blanca, Querétaro, aunque ha sido registrado por Fittkau (1979) del Río Torre Blanca en

Guanajuato.

Según la posición en el espacio, esta viznaga puede considerarse como elemento del Altiplanicie, en su región conocida como Xerofítica Mexicana, contigua a la Sierra Madre Oriental.

Altitudinalmente, tiene como límite inferior los 800 m aproximadamente, en Boca de León, Hidalgo, y su límite superior en las cercanías de Rancho Viejo y Carricillo, Querétaro, con 1700 m aproximadamente. La mayoría de las localidades visitadas presentan valores de alrededor de los 1500 m s.n.m.

6.5.4 Descripción del hábitat.

A nivel extensivo, A. ornatum se distribuye en lugares con precipitación media anual escasa, aunque parece existir una mayor afinidad por lugares menos secos. De esta forma, A. ornatum se limita por las isoyetas de 400 y 600 mm, es decir que del total de las localidades el 23.5 % se encuentre entre los 300 y 400 mm; otro 23.5 % se ubica entre los 400 y 500 mm, y el 53 % restante se localiza entre los 500 y 600 mm.

En relación a la temperatura (carta de isotermas, SPP 1981) de los hábitats donde prospera A. ornatum, se indica que el 94 % de las localidades reportadas se encuentran entre las isotermas de 18 y 20 °C, y solo el 6 % restante se encuentra entre los 16 y 18 °C.

En cuanto a la topografía se ha observado en forma escasa sobre planicies, aumentando conforme la pendiente se hace más pronunciada, como sucede en las laderas de mediana a pronunciada pendiente, las cuales están bien asociadas a los ríos más

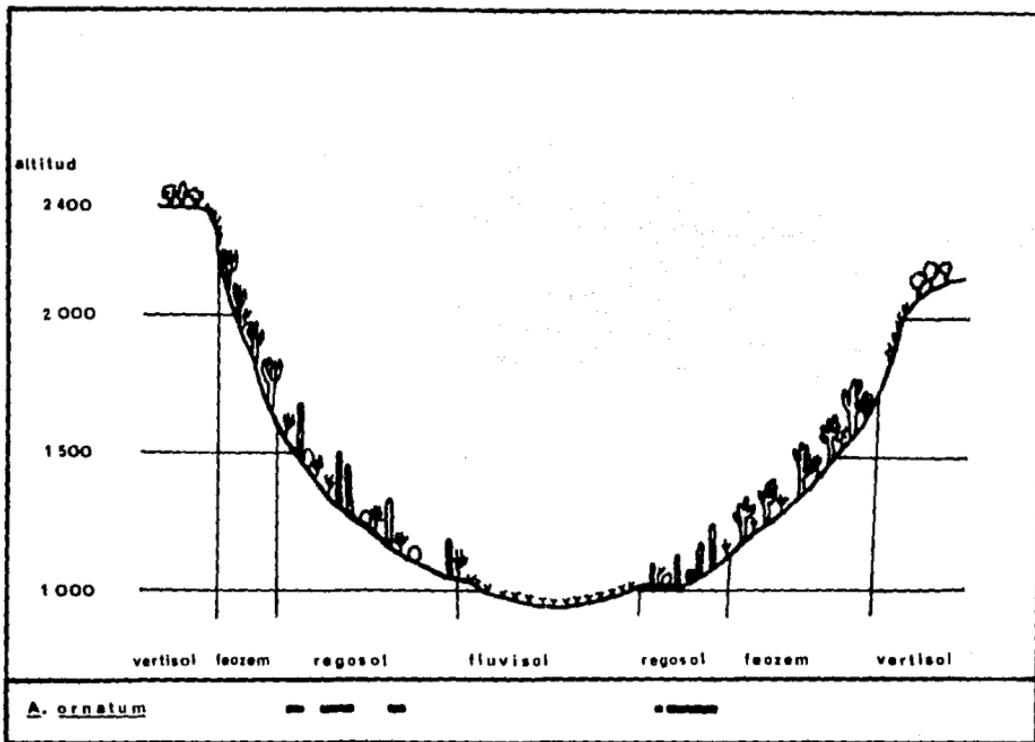
importantes de la región como Estorax, Metztlán, Moctezuma, Tolantongo, Tolimán, Xichú, etc (mapa 3).

Desarrollando un perfil topográfico y de substrato en la Barranca de Metztlán, próximo al poblado de Tres Cruces, se registro la distribución de A. ornatum (mapa 5). Su mayor abundancia se concentra en la parte inferior de las laderas, sin registrarse en la base o parte superior. Esta relación obedece a la combinación de diversos factores, como el sustrato, vegetación, erosión y actividades humanas que, de alguna forma, delimitan su presencia.

Los fragmentos de roca donde se encuentra A. ornatum son guijas (2-64 mm), aunque también se encuentran guijarros (64-256 mm). En esta parte de la barranca, los fragmentos mayores se encuentran cercanos a la meseta y a medida que se descende, los fragmentos son más pequeños.

Por otro lado, el sistema radicular de esta viznaga es prácticamente superficial y considerablemente extenso, con una longitud máxima observada de 4.5 m, lo que permite a la planta fijarse exitosamente a estos lugares tan abruptos.

En cuanto al suelo A. ornatum presenta una selectividad marcada por substratos sedimentarios, ya que está ausente en terrenos igneos contiguos donde existen condiciones topográficas y climáticas similares. Esta relación con el substrato calizo fue observado por Rzedowski (1955) en las especies de la flora de San Luis Potosí, denominándolas especies calcícolas, y a las que presentaban afinidad por el substrato igneo las denominó especies calcifugas. Durante el trabajo de campo se observó que A. ornatum se desarrolla en derivados de roca caliza o caliza-lutita, por lo



MAPA 5. Perfil de distribución de A. ornatum y de la vegetación en la localidad de Tres Cruces, en la Barranca de Metztilán, mostrándose las diferencias en el suelo y la topografía.

que puede considerarse como especie francamente calcícola (cuadro 5).

El suelo donde vegeta A. ornatum es en términos generales somero (10 a 70 cm) y que corresponden a regosol calcárico (mapa 5) y litosol, principalmente. La textura que presenta el suelo varía entre migajón arcillo-arenoso y limosa, con alto porcentaje de pedregosidad. El pH fluctúa entre 7.6 y 8.1.

6.5.5 Biología de la población

1) Especies asociadas

Basándose en las 4 localidades donde se llevó el estudio de variación morfológica y censo poblacional de A. ornatum, las especies más asociadas fueron:

Localidad 1

Acacia vernicosa
Cassia sp.
Condalia mexicana
Echinocactus platyacanthus f. platyacanthus
Ferocactus echidne
Fouquieria splendens
Larrea tridentata
Jatropha dioica
Lophophora diffusa
Mammillaria parkinsoni
Opuntia microdasys
Salvia sp.

Localidad 2

Acacia vernicosa
Agave lechuguilla
Agave striata
Cassia sp.
Dasyllirion longisimum
Echinocereus pentaloophus
Fouquieria splendens
Hechtia glomerata

Localidad 3

Acacia sp.
Agave striata
Agave xylonacantha
Bursera morelensis

Cephalocereus senilis
Cnidoscolus aff. urens
Echinocactus platyacanthus
Euphorbia antisiphilitica
Fouquieria splendens
Hechtia podanta
Karwinskia mollis

Localidad 4

Acacia sp.

Agave xylonacantha

Cassia wislizeni

Cephalocereus senilis

Dasyliirion glaucophyllum

Echinocactus platyacanthus f. platyacanthus

Karwinskia mollis

Mammillaria geminispinata

Prosopis laevigata

Tecoma stans

ii) Censo poblacional

Los censos se efectuaron en la población 1, 2 y 4 (Motoshi, Carricillo y Metztlán, respectivamente). En la primera población se realizaron tres transectos de 25 x 2 m (75 m²), arrojando una densidad de 74 individuos, la mayoría asociados a arbustos. Esta fué la más alta densidad de la especie en los 3 sitios examinados. En la población 2, en dos transectos de 25 x 2 (50 m²) se registraron 62 individuos. En la población 4 se encontraron 50 individuos en dos transectos de 25 x 2 (50 m²). Los individuos muestreados se dividieron en 3 partes: plántulas (no mayor de 5.9 cm), juveniles (plantas de 6 cm hasta ejemplares sin flor y/o fruto) y adultos (presencia de flor y/o fruto). En base a estos datos se estimó que los sitios 1 y 3 presentan una mayor perturbación en sus poblaciones, ya que la relación de plántulas es menor que la de individuos juveniles, y estos a su vez, se encuentran en menor proporción que los individuos adultos. En el sitio 2 no se observó esto, ya que ahí existe un mayor número de plántulas que de individuos juveniles, y estos a su

vez, se encuentran en mayor proporción que los adultos, lo que es de esperarse en una población más o menos estable.

iii) Fenología

El periodo de floración se encuentra dividido en dos épocas al año. La primera entre marzo y mayo y la segunda entre agosto y septiembre, es decir de primavera-verano. Se desconoce la relación que pudiera tener con la humedad presente en esta temporada del año.

Los polinizadores son en su mayoría insectos pertenecientes al orden Hemiptera. El fruto madura a fines de verano hasta fines de invierno. La herbivoría detectada está conformada por hormigas del género Iridomyrmex, quienes se alimentan de las semillas una vez que el fruto sufre dehiscencia.

iv) Biología reproductiva

La especie se reproduce exclusivamente por polinización cruzada, siendo flores hermafroditas. Bajo cultivo en invernadero se ha constatado que la autopolinización no es factible, pues presentan heterostilia.

Su dispersión está dada casi exclusivamente por semillas, aunque se pueden propagar por brotes, los cuales se producen cuando las plantas sufren daños mecánicos. La viabilidad de las semillas es alta, pero el periodo juvenil de la planta es muy lento. Durante el primer año de vida las plántulas cultivadas alcanzan tallas de 1 cm en promedio.

v) Ecología de las poblaciones

La mayoría de los individuos juveniles (poblaciones 1, 2 y 4) se encuentran bajo arbustos o entre rocas, posiblemente como un factor de equilibrio ambiental.

Los tipos de vegetación donde se encontró A. ornatum fueron, en orden decreciente de abundancia:

a) Matorral desértico rosetófilo. En las zonas de estudio, este tipo de vegetación se encuentra en Carricillo, Higuerillas, Peñamiller y Tolimán, Oro, y en las cercanías a Metztitlán, en el lago y en Tolimán, Hgo., abarcando un 62.5 % de las localidades ya señaladas (cuadro 5).

b) Matorral desértico micrófilo. De las localidades señaladas (cuadro 5) este matorral comprende el 12.5 %. Se trata de lugares con pendiente, integrados por lutitas calcáreas, que comprenden a las partes bajas de la zona árida queretana, entre Peña Blanca, Peñamiller e Higuerillas.

En las ecotonias correspondientes entre este tipo de vegetación y el anterior, se encuentra A. ornatum con una relativa abundancia.

c) Matorral crasicaule. En las zonas áridas queretana e hidalguense este tipo de vegetación prospera sobre laderas de cerros formadas por rocas calizas y conglomerados. El matorral crasicaule donde vegeta la viznaga en cuestión corresponde a Tolimán, Oro, y en gran parte de la Barranca de Metztitlán, Hgo., comprendiendo un 12.5 % de las localidades ya señaladas (cuadro 5).

d) Matorral submontano. El matorral submontano donde vegeta A. ornatum se encuentra en las cercanías a Maconí, Oro, en las inmediaciones del Río Moctezuma, así como en Boca de León, Hgo. Este matorral representa el 6.25 % de las localidades reportadas (cuadro 5), creciendo principalmente en laderas y asociado tanto a sustrato basáltico, como sucede en Metztitlán, sustrato donde

no se encuentra A. ornatum, como el sedimento calizo de Maconí y Boca de León.

e) Bosque tropical caducifolio. Bajo este tipo de vegetación, fue encontrado A. ornatum en la Barranca de Tolantongo, Hgo., estableciéndose sobre laderas orientadas al sur, entre los 1200 y 1400 m de altitud. El substrato es de origen sedimentario (lutitas). La fisonomía está dada por Bursera morelensis, que llama la atención por el color de su tallo.

vi) Tenencia de la tierra

De las 4 poblaciones estudiadas, las de Motoshi y Carricillo son terrenos ejidales; las de Tolantongo son terrenos comunales y las de Metztitlán son propiedad privada.

vii) Uso del suelo

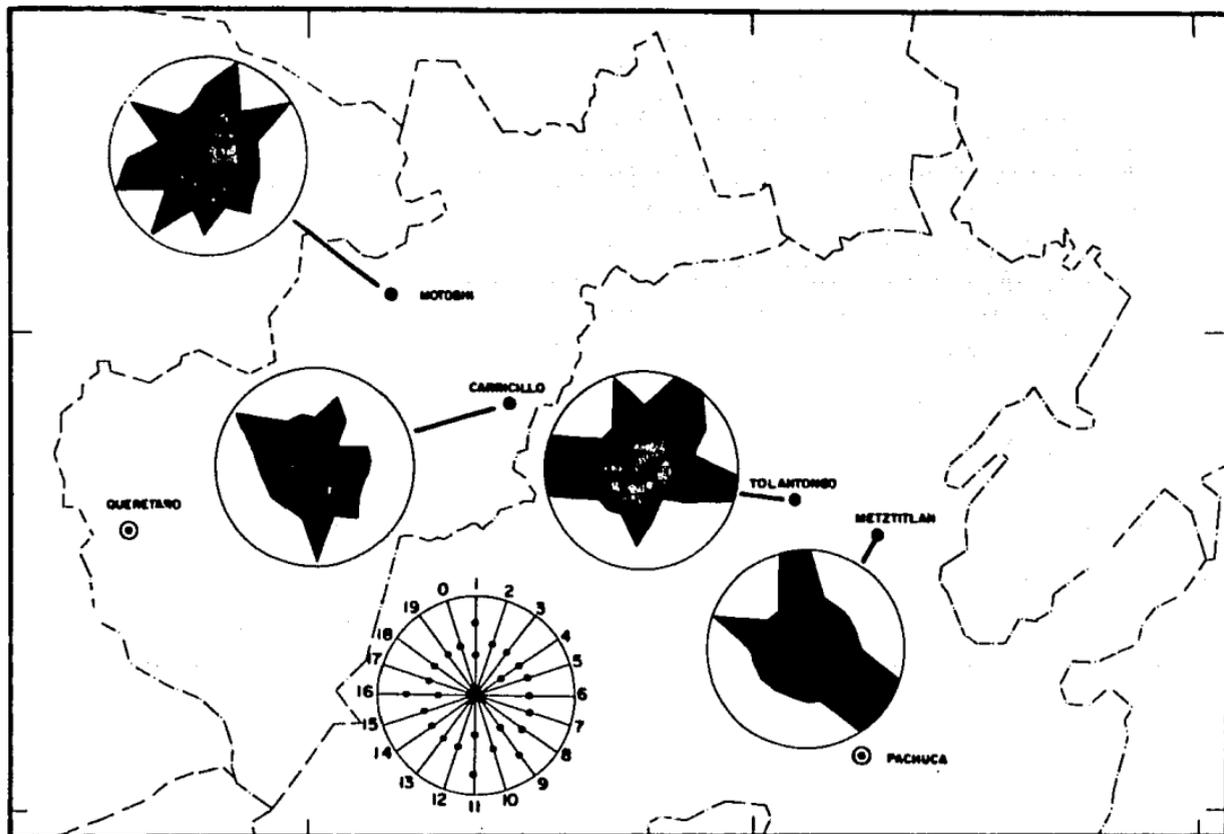
La ganadería caprina de carácter extensivo es casi la única forma de explotación del suelo, ya que en la mayoría de los terrenos la agricultura no se puede establecer por tratarse de suelos pobres, de notable pendiente y muy calichosos. En Metztitlán se practica una agricultura intensiva en el valle aluvial de la barranca, pues ahí se encuentran suelos bien drenados (fluvisol) y con bastantes nutrientes que escurren de la propia barranca (mapa 5). En relación a las localidades restantes (cuadro 5), prácticamente todos presentan una explotación ganadera (caprina). Aunado a esto, la sobrecolecta que se realiza de esta especie es marcada en 6 localidades visitadas: Cerro El Calvario, 10 km al E. de Peñamiller, Higuierillas, San Juan, Venados y La Presa. Las restantes localidades no mostraron, hasta entonces, signos aparentes de perturbación.

IX. DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES.

Existe entre las cactáceas un notable número de especies que mantienen variaciones morfológicas entre sus poblaciones, ya sea en forma continua o discontinua, a lo largo de su distribución. Estudiar estos rangos de variación son de particular interés en la familia CACTACEAE, ya que conforman uno de los criterios taxonómicos utilizados para delimitar las especies.

En Astrophytum ornatum (DC.) F.A.C. Weber se examinó el espectro de variación de 20 caracteres morfológicos desde 2 niveles: detectando las diferencias existentes entre 4 poblaciones seleccionadas (interpoblacional) y hacia dentro de cada una de las poblaciones (intrapoblacional).

A nivel interpoblacional, los caracteres más variables fueron el diámetro (A), la espirotrofia (D), ancho de la aréola (I) y largo máximo de la espina central (P) (cuadros 6, 7, 9, 10 y mapa 6), de los cuales el diámetro del tallo, la espirotrofia y el largo máximo de la espina central han sido usados taxonómicamente para la delimitación de las variedades; mientras que los más estables fueron el número de costillas (E), distancia entre aréolas (J), número de espinas centrales (L), largo máximo de espina radial (N) y el largo del fruto (O). En forma intrapoblacional, los caracteres más inestables fueron: en la población 1, el número de espinas radiales (K) y el largo máximo de la espina central (P)(cuadro 10), en la población 2 fue la altura del tallo (B) (cuadro 6), en la población 3 el largo máximo de espina central (P)(cuadro 10) y en la cuarta población el diámetro del tallo (A)(cuadro 6) y el número de espinas



MAPA 6. Gráficas poligonales de los 20 caracteres morfológicos utilizados (la descripción de los caracteres se encuentra en el CUADRO 1) para 4 poblaciones de *A. ornatum*.

La gráfica inferior muestra los estados de cada carácter. Ver descripción en el texto.

radiales (K)(cuadro 6). Como se puede notar, el largo máximo de la espina central presentó la mayor variación dentro de las poblaciones y entre ellas (cuadro 10 y mapa 6).

Analizando los caracteres empleados, se puede destacar lo siguiente. Los cambios de volumen, expresados através de variaciones en el diámetro y la altura fueron variables entre las 4 poblaciones, sin encontrarse un patrón de correlación, ya que la población de mayor diámetro (2) y la de menor (4) concuerdan con la mayor altura, mientras que los diámetros intermedios (poblaciones 1 y 3) registraron la menor altura. Aun así no se pueden descartar las relaciones de estas variaciones con factores ambientales y bióticos. A este respecto no se encontró correlación entre estos caracteres y el gradiente latitudinal, debido muy probablemente a que éste es muy estrecho ($20^{\circ} 06' 30''$ N. y $21^{\circ} 18' 40''$ N.) y a que el relieve es muy accidentado, impidiendo visualizar su influencia en la variabilidad de las dimensiones del tallo, como fue observado por Niering y col. (1963) en Carnegiea gigantea (Engelm.) Britton y Rose.

Es muy factible que otros factores ambientales estén estrechamente relacionados, ocasionando variaciones más locales, y discordantes con la latitud, como por ejemplo la exposición de ladera, altitud, variaciones de temperatura (heladas) y precipitación, además de la altura de la vegetación, sobre la radiación fotosintética de la planta que ocasionen cambios de volumen.

En relación a la temperatura y precipitación, la influencia de los "nortes" es más directa hacia el E. de Hidalgo (Sierra Madre Oriental), debido a la posición geográfica de la

zona de estudio (García, 1969), lo que influye probablemente en la altura de los tallos, pues las poblaciones de Metztlán y Carricillo, presentan las mayores dimensiones, lo que puede corroborar la idea de Klaus (1975) al encontrar que las mínimas temperaturas y probablemente las heladas, causen localmente mayores elongaciones en el tallo de Astrophytum capricorne (A. Dietr.) Britton y Rose.

Aunque se sabe que la altura de la vegetación también influye en las dimensiones del tallo de algunas cactáceas (Racine y Downhower, 1974), para A. ornatum no se encontró relación directa alguna, pues mientras que en Tolantongo (población 3) se encontró la mayor altura de la vegetación (selva baja caducifolia), es en Metztlán (población 4) donde la elongación del tallo es mayor (matorral rosetófilo).

El carácter presencia/ausencia de tricomas se presentó en las 4 poblaciones, con un promedio mayor del 70 % de individuos con tricomas, registrándose en Motoshi (localidad 1) y Metztlán (localidad 4) los mayores porcentajes. La razón de su ausencia en determinados individuos quizá este en relación con los diferentes grados de exposición a la radiación solar y el porcentaje de humedad ambiental, por lo que se esta en concordancia con la idea de Hájek (1977) a este respecto: pues a lo largo de los recorridos realizados se observó que la presencia de tricomas es más abundante en viznagas que se encuentran bajo la sombra de algún elemento del estrato superior de la vegetación.

Por el contrario, la ausencia de tricomas en individuos adultos se observó bajo 2 extremos. Por un lado fueron evidentes en viznagas sometidas a la mayor radiación solar, y por el otro,

en viznagas presentes en las condiciones de mínima exposición, como es abajo de formas amacoyadas de Agave striata Zucc. y ocasionalmente de Agave xylonacantha SD., donde al juzgar por la coloración verde de las plantas, el contenido de clorofila era más abundante.

En relación a su presencia, no se puede descartar su contribución a regular la temperatura del tallo conjuntamente con las espinas, como ocurre con otras cactáceas (Lewis y Nobel, 1977), aunque para poder comprobar esto, sería necesario realizar otros estudios en Astrophytum ornatum. Por otra parte el posible efecto que pudiera tener en reducir la transpiración, aunque probablemente demasiado pequeño ya que el intercambio de gases esta totalmente determinado por los estomas (Gibson y Nobel, 1986: 112). Futuros experimentos directos sobre especies que tengan diferentes densidades de tricomas son necesarios para resolver su relación con el medio.

La presencia de espirotrofia resultó de gran variabilidad y por lo tanto estadísticamente significativo entre las poblaciones estudiadas. Por un lado, la población 1 mantuvo el mayor número de individuos con espirotrofia (75 %), lo contrasta con las poblaciones restantes, como sucede en la población 2, con solo un 2.7 %. La presencia de dicha espirotrofia en las cactáceas no ha sido bien estudiado, aunque probablemente se encuentre involucrado algún tipo de cambio en la composición genética de las plantas; pues su presencia se manifiesta desde los primeros estadios de desarrollo hasta que fenece; por otra parte, no es exclusiva de alguna localidad ni bajo determinadas condiciones microambientales, ya que se detectó tanto en sitios sombreados

como abiertos. En este punto, es posible que futuros estudios citogenéticos puedan arrojar información más precisa.

Lo que sí es claro, es que esta espirotrofia empieza a manifestarse en las plántulas, cuando las costillas incipientes se forman a partir de la producción de podarios ordenados de acuerdo al patrón vertical u ortóstico de crecimiento, alineándose para conformar 5 costillas, de ahí las nuevas 3 costillas se forman por una bifurcación cerca del ápice, para dar lugar a plantas con 8 costillas, según la secuencia matemática de Fibonacci (Gibson y Nobel, 1986: 121; Sánchez-Mejorada, 1964).

El número de costillas, así como el largo y ancho de las mismas, no presentaron variaciones significativas. El número de costillas, que fué uno de los caracteres más estables, confirma la serie aditiva de Fibonacci: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, etc.

Uno de los cambios notables que presentó A. ornatum a nivel inter e intrapoblacional es el desarrollo de las espinas. Por un lado el número de las espinas radiales es más variable que el número de espinas centrales, pues mientras las radiales variaban entre 6 y 8, solo se encontró 1 espina central; por otra parte el largo es más variable en la espina central, pues mientras que las radiales variaban entre 2.3 y 4.5 cm, la central osciló entre 3.5 y 7.0 cm (cuadro 10)

Las diferencias en el desarrollo de las espinas probablemente sea consecuencia de una plasticidad fenotípica en relación con la temperatura y luz. Las espinas de algunas cactáceas participan en el control de las temperaturas extremas de su tejido interno. Una mayor producción de espinas implica un mayor amortiguamiento ante las condiciones ambientales extremas.

protegiendo los tejidos superficiales, principalmente el meristemático. Así es como en sitios abiertos con variaciones térmicas muy marcadas, la densa capa de espinas impide la pérdida considerable de temperatura durante la noche.

Por otro lado la menor cobertura de espinas sobre el tallo, así como la mayor cantidad de clorofila y muy probablemente los tallos más largos permiten una mayor captación de luz en las plantas sombreadas. En Metztlán (localidad 4) la temperatura media anual es de 19.8 °C (cuadro 3) y corresponde a la población con mayores dimensiones del tallo, un bajo porcentaje de tricomas, pocos individuos con espirotrofia y mayor número de espinas radiales, mientras que en Motoshi (localidad 1) la temperatura media anual es de 21.9 °C y los individuos presentan alturas muy cortas, notable presencia de tricomas, notable presencia de espirotrofia y mayor longitud de espinas radiales.

Dado que las espinas reducen la pérdida neta de radiación de onda larga durante la noche y la velocidad del viento cerca de la superficie de la planta (Lewis y Nobel, 1977; Nobel, 1980b), probablemente las diferencias sean variaciones ecotípicas, como fue detectado en Ferocactus histrix (DC.) Linds. (Castillo, 1982). Sin embargo futuras investigaciones al respecto podrán indicar su veracidad.

Las variaciones en las dimensiones de la flor y el fruto presentan un comportamiento menos brusco (cuadro 11) en relación con otros caracteres, lo que pone de manifiesto su importancia taxonómica.

En cuanto a lo significativo de los caracteres empleados por diversos taxónomos para considerar las 4 variedades

indicadas con anterioridad, se puede señalar lo siguiente.

a) La variedad glabrescens no concuerda en forma precisa con ninguna población, pues mientras que el diámetro y la altura del tallo, así como lo pequeño sus aréolas la aproximan a la población 4 (Metztitlán), la corta distancia entre aréolas, la mayor longitud de espinas radiales y centrales no corresponde a la misma población, acercándola en cambio a la población 2. Pero la reducida proporción de tricomas, propio de la variedad no corresponden a ninguna de las 4 poblaciones, pues en todas existen individuos con tricomas.

b) En la variedad mirbelii el diámetro y la altura del tallo concuerdan con los datos obtenidos de las poblaciones 2 y 4, no obstante la presencia de tricomas y la distancia entre aréolas puede corresponder a la de todas las poblaciones.

c) La variedad niveum parece semejante a la población 2 en relación al diámetro y altura del tallo, pero por las aréolas distantes podría incluirse en la población 1, mientras que las pequeñas longitudes de espinas son parecidas a la población 3. En relación a los tricomas, prácticamente en todas las poblaciones existen, de las cuales la población 3 representa a los individuos con mayor porcentaje de tricomas.

d) En lo que respecta a la variedad virens, el diámetro y largo del tallo son similares a los encontrados en la población 4, aunque las aréolas y espinas concuerdan con la población 2. Así también, la ausencia de tricomas, característico de la variedad, no es comparable con ninguna población, pues en todas es significativo la presencia de tricomas.

Por lo antes expuesto es importante reconocer que las

variedades señaladas por Backeberg (1961); Fearn (1960); Gilkey (1944); Hájek (1977); Pechánek (1978) y por Sadovský y Schütz (1979) no se les puede considerar como tales ya que en los resultados obtenidos en el presente estudio los caracteres se mezclan entre las 4 poblaciones estudiadas.

A pesar de que la mayoría de los caracteres señalados son variables, se encontró una similitud entre las poblaciones 1, 2 y 3, es decir que sus variaciones resultaron ser muy semejantes, diferenciándose en forma más ecentuada con la población 4 (cuadro 6). Esto puede deberse al aislamiento geográfico aparente que existe entre la población 4 (Metztitlán) con respecto a las 3 restantes, ya que por un lado, Metztitlán se encuentra al oriente de las sierras de Zacualtipán y de Pachuca, y las restantes 3 poblaciones se ubican al occidente de estos macizos montañosos, aunque es preciso realizar un estudio más detallado al respecto.

De acuerdo a los elementos determinados en la distribución geográfica de A. ornatum, se puede señalar que la delimitación esta dada por una complicada relación entre los factores climáticos, edáficos y altitudinales, pues se trata de una especie calcícola (regosol o feozem calcárico), asociada a barrancas más o menos profundas y algunos valles intermontanos de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato, con altitudes que no exceden los 1800 m de altitud, temperaturas medias anuales de entre 18 y 20 °C y precipitación anual entre 500 y 600 mm (cuadro

De acuerdo a los elementos determinados en la distribución geográfica de A. ornatum, se puede señalar que la delimitación esta dada por una complicada relación entre los factores climáticos, edáficos y altitudinales, como ha sido señalado por

Bernhard (1987) para esta misma especie en Metztlán y por Castillo (1982) para *Ferocactus histrix* (DC.) Lindsav. pues *A. ornatum* es una especie calcícola (regosol o faciem calcárico), asociada a barrancas más o menos profundas y algunos valles intermontanos de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato, con altitudes que no exceden los 1800 m de altitud, temperaturas medias anuales de entre 18 y 20 °C y precipitación anual entre 500 y 600 mm (cuadro 5).

Finalmente, en relación a su estado de conservación, las poblaciones detectadas, en su mayoría se encuentran en lugares inaccesibles, por lo que escapan de los fines agrícolas; así, los factores causantes más importantes son el sobrepastoreo (ganado caprino), tan común en la región y la colecta indiscriminada por parte de comerciantes. De 19 localidades reconocidas solo en 3 se presentan marcados signos de perturbación por las razones antes mencionadas (cerro El Calvario, Rancho Viejo y 1 km al E de Venados). En las restantes poblaciones la presencia de plántulas e individuos inmaduros es alto. Por ello es conveniente que la Convención Internacional sobre Comercio de Especies Silvestres de Flora y Fauna Amenazadas (CITES), que es un tratado que tiene el propósito de controlar el comercio de especies en peligro de extinción, siga incluyendo en el Apéndice II (especies que están potencialmente amenazadas) a *A. ornatum*. En relación a esto, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN) y Vovides (inédito) han creído conveniente colocar a esta especie dentro de la categoría de vulnerable (V).

Mientras tanto, el comercio de esta y otras especies debe

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

de cactáceas sigue fluyendo, principalmente hacia Estados Unidos de Norteamérica y Europa Occidental (Oldfield, 1985; Sánchez-Mejorada, 1982b); aunque actualmente se ha promovido su propagación en viveros de esos países (Campbell, 1986; Fueller, 1985)

Aun así, es recomendable proteger algunas de sus poblaciones a través de varias opciones como pueden ser el cultivo y propagación en Jardines Botánicos, así como los mismos lugareños, quienes son realmente los dueños del recurso. Finalmente también se sugiere que Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) la considere como especie vulnerable en sus listas de Flora Mexicana, pues hasta ahora no se encuentra mencionada por dicha institución mexicana.

VIII REFERENCIAS

- Backeberg, C. 1950. Nova Genera et subgenera. Cact. Succ. J. (Los Angeles) 22: 153-154.
- 1961. Die Cactaceae. vol. 5. Fischer, Jena. pp. 2651-2674.
- Barthlott, W. y W. Rauh. 1974. Some notes on the morphology, palynology and geographical variability of Epiphyllum phyllanthus (L.) Haw. Natl. Cact. Succ. J. 29: 113-115.
- 1975. Some notes on the morphology, palynology and geographical variability of Epiphyllum phyllanthus (L.) Haw. Natl. Cact. Succ. J. 30: 8-10.
- Benson, L. 1982. The Cactaceae of the United States and Canada. Stanford University Press. California. 1044 p.
- Berger, A. 1929. Kakteen. Eugen Ulmer. Stuttgart. pp. 197-199, 231-235.
- Bernhard, V. 1987. Astrophytum ornatum (De Candolle) Weber in der Barranca von Metztlán. Kakteen Sukk. 38: 234-237.
- Bravo, H. 1937. Las Cactáceas de México. 1a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 755 pp.
- 1978. Las Cactáceas de México. 2a. ed. Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 743 pp.
- y H. Sánchez-Mejorada. (en prensa) Las Cactáceas de México. Vol. 2.
- Britton, N.L. and J. N. Rose. 1923. The Cactaceae. Vol. 3. Carnegie Inst. Washington, Washington, D.C. 258 pp.
- Bruning, J.L. and B.L. Kintz. 1977. Computational handbook of Statistics. 2nd. ed. Scott, Foresman and Company Glenview. Illinois. pp. 125-127.
- Buxbaum, F. 1950. Morphology of cacti. Section I: Roots and stems. Abbev Garden Press. Pasadena, California. 87 pp.
- 1951. Where does the genus Astrophytum belong? Natl. Cact. Succ. J. 6: 4-5.
- 1958. The phylogenetic division of the subfamily Cereoideae. Cactaceae. Madroño 14: 177-206
- Campbell, F. 1986. Mexican cacti export decline. Traffic 6:12-13.

- Castillo, R.F. del. 1982. Estudio ecológico de Ferocactus histrix (DC.) Lindsav. Tesis. ENEP-Iztacala, UNAM. 228 pp.
- CETENAL 1970a Carta climática. Pachuca 14Q-IV. Escala 1: 500 000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional-UNAM.
- b. Carta climática. Querétaro 14Q-III. Escala 1: 500 000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional-UNAM.
- 1973a. Carta geológica. Ciudad Valles F14-8. Escala 1:250000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México.
- 1973b. Carta geológica. Pachuca F14-11. Escala 1:250000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México.
- 1973c. Carta edafológica. Ciudad Valles F14-8. Escala 1:250000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México.
- 1973d. Carta edafológica Pachuca F14-11. Escala 1:250000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México.
- Chalet, J.M. 1980. Los alcaloides de las cactáceas. Cact. Suc. Mex. 25: 75-92.
- DeCandolle, A.P. 1828. Echinocactus ornatus. Mem. Mus. Hist. Nat., (Paris) 17: 114.
- Fearn, P. 1960. The genus Astrophytum Lemaire. Natl. Cact. Succ. J. 15: 46.
- Fittkau, H.W. 1979. Astrophytum ornatum(DC.) Web. Kakteen Sukk. 30: 97-98.
- Füller, D. 1985. U.S. Cactus and succulent business moves toward propagation. Traffic 6: 1-3.
- García, E. 1969. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Bol. Inst. Geogr. UNAM. 2: 7-19.
- 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. 3a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 252 pp.
- Gibson, A. and P.S.Nobel. 1986. The Cactus Primer. Harvard University Press, Cambridge. 286 pp.
- Gilkey, J.E. 1944. The Astrophytum grup. Cact. Succ. J. (Los Angeles) 16: 143-151.
- Glass, C. and R. Foster. 1974. Strange bedfellows. Cact. Succ. J. (Los Angeles) 46: 112.
- Grant, V. 1981. Plant speciation. Columbia University. 2a. ed..

New York. 435 pp.

- and K.A. Grant 1979. Systematics of the Opuntia phaeacantha group in Texas. Bot. Gaz. 140: 199-207.
- Hájek, K. 1977. Observaciones sobre Astrophytum ornatum v A. myriostigma v sus variedades. Cact. Suc. Mex. 22: 88-91.
- Henifin, M.S., L.E. Morse, J.L. Reveal, B. MacBryde and J.I. Lawyer. 1981. Guidelines for the preparation of Status Reports on Rare or Endangered Plant Species. In: L.E. Morse y M.S. Henifin editores. Rare Plant Conservation: Geographical Data Organization. New York Botanical Garden, Bronx, pages. 261 - 282.
- Holt, E. 1970. Desarrollo general agropecuario y forestal del Estado de Querétaro en el periodo 1930 - 1960. Bol. Inst. Geogr. UNAM, 3:134-193.
- Hunt, D. 1975. Observaciones sobre Mammillaria rhodantha y especies aliadas I. Cact. Suc. Mex. 20(4):89-96.
- 1976a. Observaciones sobre Mammillaria rhodantha y especies aliadas II. Cact. Suc. Mex. 21(1): 3-10.
- 1976b. Observaciones sobre Mammillaria rhodantha y especies aliadas III. Cact. Suc. Mex. 21(2): 31-38.
- IOS. Working Party. 1986. The Genera of the Cactaceae: towards a new consensus. Bradleva. 4: 65-78.
- Klaus, W. 1975. Astrophyten im Schnee. Kakteen Sukk. 26: 134-137.
- Lawrence, G.H.M., A.F. Günther, G.S. Daniels and H. Dolezal. 1986. B-P-H Botanico-Periodicum-Huntianum. Hunt Botanical Library, Pittsburgh. 1063 pp.
- Lemaire, C. 1839. Echinocactus mirbelii. Cactearum Genera Nova Species que novae. p. 22.
- Lewis, D.A. and P.S. Nobel 1977. Thermal energy exchange model and water loss of a barrel cactus Ferocactus acanthodes. Plant Physiol. 60: 609-616.
- Lot, A. y F. Chiang (compiladores). 1986. Manual de herbario. Consejo Nacional de la Flora de México A.C.. México D.F. 142 pp.
- Niering, W.A., R.H. Whittaker and C.H. Lowe. 1963. The saguaro: a population in relation to environment. Science 142: 15-23.
- Nobel, P.S. 1977. Water relations and photosynthesis of barrel cactus: Ferocactus acanthodes in the Colorado Desert. Oecologia 27: 117-133.

- . 1980a. Interception of photosynthetically active radiation by cacti of different morphology. *Oecologia*. 45:160-166.
- . 1980b. Influences of minimum temperatures on ranges of cacti in the southwestern United States and Central Chile. *Oecologia*. 47: 10-15.
- Ochoterena, I. 1923. *Las Cactáceas de México*. Ed. Cultura, México 179 pp.
- Oldfield, S. 1985. The western European trade in cacti and other succulents. *Traffic* 7: 44-56.
- Otero, F. 1969. Excursión a Boca de León, Hgo. *Cact. Succ. Mex.* 14: 57-58.
- Patoni, C. 1912a. La producción lanosa en las axilas de las Mammillaria. *Bol. Alianza Científica Universal*.. 3(1): 43-4.
- 1912b. Mammilaria valida Purpus. *Bol. Alianza Científica Universal* 3(3):119-121.
- Pearce, R., B. Davis, D. Hunt, B. Phipps, B. Putnam and N. Taylor 1978. Forum: FRAILEA. *Cact. Succ. J. Gr. Brit.* 40(1): 14-18.
- Pechánek, J. 1978. Jak roste Astrophytum. *Kaktusy* 14: 40-43.
- Pinkava, D.J.; M.A. Baker; B.D. Parfitt and M. K. Mohlenbrock. 1985. Chromosome numbers in some cacti of western North America-V. *System. Bot.* 10(4): 471-483.
- Racine, Ch. and J.F. Downhower 1974. Vegetative and reproductive strategies of Opuntia (Cactaceae) in the Galapagos Islands. *Biotropica* 6:175-1186
- Radford, A.E.; W.C. Dickison; J.R. Massey and C.R. Bell. 1974. *Vascular Plant Systematics*. Harpe & Row., New York. 891 pp.
- Rowley, G.D. 1978. Fossil cacti-factor fable? *Nat. Cact. Succ. J.* 33: 19.
- Rzedowski, J. 1968. Las principales zonas áridas de México v su vegetación. *Bios. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.* 1: 4-24.
- . 1973. Geographical relationships of the flora of Mexican dry region. *En: Vegetation and vegetational history of northern Latin America*. Elsevier Scientific Co. Amsterdam. pp. 61-72.
- . 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México. 432 pp.
- Sadovský, O. und B. Schütz. 1979. Die Gattung Astrophytum. *Flora-Verlag, Titisee-Neustadt. Heitersheim.* 248 pp.

- Sánchez-Mejorada, H. 1955. Resultados de 10 años de exploraciones cactológicas a lo largo de la carretera Pachuca-Metzitlán. *Cact. Suc. Mex.* 1: 9-14.
- 1964. Las matemáticas de las cactáceas. *Cact. Suc. Mex.* 9: 38-48.
- 1978. Manual de campo de las cactáceas y suculentas de la Barranca de Metzitlán. Soc. Mex. Cact.-CONACYT, México. 132 pags.
- 1982b. Problemas en el control del comercio de las cactáceas. *Cact. Suc. Mex.* 27: 27-33.
- E.F. Anderson, N.P. Taylor, R. Taylor, M. Bonilla, U. Guzmán, C. Orozco, R.H. González and S. Arias. 1986. Succulent Plant Conservation Studies and Training in Mexico. Stage I: Assessment of Individual Species in Northeastern Mexico and Initial Training of Conservation Specialist. World Wildlife Fund-U.S. and CONACYT. Confidential.
- SAS Institute Inc. 1982. SAS user's guide: basics. SAS Institute Inc. Cary, Nort Carolina.
- Schumann, K. 1898. Gesamtbeschreibung der Kakteen. Ed. Verlag J. Neumann, Neudamm, 832 pp.
- Schütz, B. 1971. Astrophytum ornatum Kaktusy. 7: 51-55.
- Seegerstrom, K. 1961. Geology of the Bernal -Jalpan area. Estado de Queretaro, Mexico. U.S. Geol. Survey Bull. 1104-B: 19-85.
- 1962. Geology of the south central Hidalgo and northeastern Mexico, Mex. U.S. Geol. Survey Bull. 1104-C: 87-162.
- Soto, C. y A. Coll. 1975. La zona árida de Querétaro: su análisis y aprovechamiento. *Bol. Inst. Geogr. UNAM.* 6: 117-152.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto) 1981. Atlas Nacional del Medio Físico. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- Stebbins, G. L. 1978. Procesos de la evolución orgánica. Prentice-Hall, México D.F. 199 pp.
- Vovides, A. P. (inedito). Lista preliminar de plantas mexicanas raras o en peligro de extinción.