

CONTENIDO

- DAWN FRAME. Chromosome studies in *Schoenocaulon* (Liliaceae: Melanthiaceae), a relict genus.
Estudios cromosómicos en *Schoenocaulon* (Liliaceae: Melanthiaceae), un género relicto. 123
- CÉSAR DEL C LUNA-MORALES, J. ROGELIO AGUIRRE RIVERA Y CECILIA B. PEÑA-VALDIVIA. Cultivares tradicionales mixtecos de *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb. y *S. stellatus* (Pfeiff.) Riccob. (Cactaceae).
Mixtec landraces of *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb. y *S. stellatus* (Pfeiff.) Riccob. (Cactaceae). 131
- SALVADOR ARIAS Y TERESA TERRAZAS. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Engelm.) Britton et Rose (Cactaceae).
Variation in the wood anatomy of *Pachycereus pecten-aboriginum* (Engelm.) Britton et Rose (Cactaceae). 157
- SILVIA AGUILAR-RODRÍGUEZ, LEONOR ABUNDIZ BONILLA Y JOSEFINA BARAJAS-MORALES. Comparación de la gravedad específica y características anatómicas en especies arbóreas de dos comunidades vegetales de México.
Comparison of the specific gravity and anatomical characteristics in tree species from two plant communities in Mexico. 171
- GENOVEVA GARCÍA AGUIRRE, REBECA MARTÍNEZ FLORES Y JOSÉ MELGAREJO HERNÁNDEZ. Inspección para aflatoxinas en el maíz almacenado o transportado en el estado de Sonora, México 1998: Informe técnico.
Inspection for alatoxins in stored or transported corn in the state of Sonora, Mexico, in 1998: Technical report. 187

El texto completo de estos artículos puede consultarse en la dirección electrónica del Instituto: <http://www.ibiologia.unam.mx>

Chromosome studies in *Schoenocaulon* (Liliaceae: Melanthieae) a relict genus

DAWN FRAME*

Resumen. Se presentan los resultados de los recuentos cromosómicos de ocho taxa, representantes de siete especies de *Schoenocaulon* (Liliaceae: Melanthieae), un género principalmente mexicano. Una especie (*S. tenorioi*) presenta una cadena de tres cromosomas, cuyo posible origen se discute. Se describe brevemente la morfología cariotípica general y, junto con el número cromosómico, se considera en el contexto de otras Liliaceae cercanamente relacionadas. Además, se presentan hipótesis de tendencias evolutivas amplias, basadas en la evolución cromosómica de *Schoenocaulon*, con miras hacia estrategias futuras para la protección y conservación de estas plantas.

Palabras clave: cromosomas, *Schoenocaulon*, Liliaceae, evolución, conservación

Abstract. Results of chromosome counts of eight taxa representing seven species of *Schoenocaulon* (Liliaceae: Melanthieae), a primarily Mexican genus are presented. One species (*S. tenorioi*) shows a chain of three chromosomes, the possible origin of which is discussed. The general karyomorphology of *Schoenocaulon* chromosomes is briefly described and along with chromosome number considered in the context of closely related Liliaceae. Further, hypotheses of broad evolutionary trends based on *Schoenocaulon* chromosome evolution are developed, with an eye to future strategies for this plant's protection and conservation.

Key words: chromosomes, *Schoenocaulon*, Liliaceae, evolution, conservation.

*Laboratoire de Botanique, 163 rue A. Broussonet, 34090 Montpellier, France, and University Herbaria, University of California, Berkeley, 1001 Valley Life Science Building #2465, Berkeley, CA 94720-2465, USA.

Introduction

The genus *Schoenocaulon* (Melanthieae) is a natural group of bulbo-rhizomatous perennial herbs distinguished from other members of its tribe by a spike-like racemose inflorescence and small flowers usually having exerted stamens. Restricted to the New World, it grows from southwestern United States to Andean South America; there is one disjunct species in Florida. The center of diversity for *Schoenocaulon* is Mexico. With the notable exceptions of *S. officinale* and *S. ghiesbreghtii*, the species are narrow endemics in undisturbed sites and slow growing, colonial plants. Several years of growth from seed are required before reaching sexual maturity. In fact, the length of time to sexual maturity from seed is unknown and may vary from species to species, but in any case is likely to be on the order of a minimum of five years growth. This fascinating plant is often overlooked by people in general and even by collectors because of its grass-like appearance, which allows it to blend anonymously into the landscape. For this reason, *Schoenocaulon* is often poorly represented in herbarium collections and few people have attempted its study. *Schoenocaulon* belongs to Melanthieae, a tribe considered by this and other authors (e.g. Krause, 1930; Takhtajan, 1969; Hutchinson, 1973) to be a basal, archaic lily group.

After field observation and collection, undertaken as part of revisionary studies of this genus, it has become clear that *Schoenocaulon* is a relict liliaceous genus that frequently occupies stable little-changing habitats. Presently in Mexico, plants are usually restricted to very steep canyons or rocky ledges where grazing animals cannot reach. Data from old herbarium specimens suggests that many species formerly had a wider range and plants were more numerous, but both range and number have been reduced because of human activities and widespread animal grazing. Some *Schoenocaulon* species are today represented by only a few populations (e.g. *S. pringlei*, *S. rzedowskii*) and despite new localities sometimes being discovered, it is evident that most species are very fragile and risk extinction related to habitat change.

There are published reports on the cytology of only two species of *Schoenocaulon* out of a total of 24 recognized species (Frame *et al.*, 1999); de Zerpa (1951) found that *S. officinale* had $2n=16$ and Cave (1967) reported $n=8$ for *S. dubium*. The remaining genera belonging to the Melanthieae (*Veratrum*, *Zigadenus*, *Stenanthium*) are better known cytologically. *Veratrum*, with approximately the same number of species as *Schoenocaulon* but these more widespread, has ploidy differences among and within species, i.e., *V. nigrum* and *V. oxysepalum*, as well as one species (*V. stamineum*) that has $2n=32$ plus two chromosome fragments (Zimmerman, 1958; Federov, 1969; Moore, 1971). Preece's unpublished dissertation was a detailed cytological study of *Zigadenus* (1956), and revealed both karyotype and ploidy differences among the approximately 16 species. By far the smallest genus of the tribe with four species, *Stenanthium* is not without chromosome diversity; *S. occidentale* is reported to have eight pairs of relatively small chromosomes whereas *S. robustum* was found to have 10 pairs (Miller, 1930; Sato, 1942). Moreover, four satellite chromosomes were observed in the latter species (Sato, 1942). In Cave's perceptive study of lily chromosomes, she

comments (1970, p. 45): "Evolution within the tribe must have taken place by multiplication of the basic set of chromosomes as well as by increase in the basic number through fragmentation and recombination of the original 8".

Methods

Freshly collected young inflorescences were placed in either Carnoy's (1:3:1 chloroform: absolute ethanol: glacial acetic acid) or Farmer's (3:1 absolute ethanol: glacial acetic acid) solutions. After a minimum of 36 hrs, the fixed material was transferred to a storage solution of 70% ethanol. The preserved material was treated, examined and photographed at the Jodrell laboratory, Royal Botanic Gardens, Kew. For chromosome counts from pollen mother cells, anthers were dissected from the flowers and squashes were made in 1.8% aceto-orcein. For chromosome counts from root tips, germinating seeds with actively growing root tips were pretreated in μ -bromonaphthalene for 24 hrs at 4°C, then fixed in 1:3 ethanol: glacial acetic acid (v/v) at 4°C for at least 30 mins; thereafter, the material may be stored at 4°C until use. The fixed material was hydrolyzed in 1N HCl at 60°C for 10 mins (after this treatment the root tips usually became detached from the parent seed) followed by staining with Feulgen solution in the dark at room temperature for at least 30 minutes. The stained root tips were counterstained with 1.8% aceto-orcein, and squashes made. Coverslips were removed in liquid CO₂ and the slides dehydrated in absolute ethanol before mounting in Euparal. Photographs were taken using a Zeiss photomicroscope. A herbarium specimen of each collection used in this study is deposited at MEXU.

Results and discussion

Results of the chromosome counts are given in table 1 and figure 1 shows results for selected species. Eight taxa representing seven species of *Schoenocaulon* were examined; in all cases the number was found to be $2n = 16$ (Table 1; Fig. 1). This is in agreement with the findings of de Zepa (1951), Cave (1967) and Preece (1956, unpublished counts for *S. texanum* and *S. drummondii* = *S. ghiesbreghtii*). Chromosome size was on the order of 1.5 - 3 μ m (Fig. 1), and the chromosomes are considered small. For this reason, other methods of karyotype analysis such as Giemsa banding were not undertaken. Six of the species formed regular bivalents. However, a newly described species from near Rodeo, Puebla, *S. tenorioi* exhibited a chain of three chromosomes (Fig. 1e), the possible result of a heterozygous reciprocal translocation or adhesions between the chromosomes (see Price, 1956). This population is usually fertile. A similar chain of three chromosomes is also present in pollen mother cells of a population of the same species collected up the hill from the first at Cerro Verde (Fig. 1f). Conversely, pollen from this population is frequently aborted. The consequence of a simple case of heterozygous interchange, with pairing between two pairs of

Table 1. Chromosome counts in *Schoenocaulon*

Species and collection No.	Pollen mother cell	Root tip
<i>S. calcicola</i> , DF 275	2n = 16	2n = 16
<i>S. caricifolium</i> var. <i>caricifolium</i> , DF 288 & DF 283	2n = 16	2n = 16
<i>S. caricifolium</i> var. <i>oaxacense</i> , DF 289	2n = 16	
<i>S. comatum</i> , DF 347	2n = 16	
<i>S. ghiesbreghtii</i> , DF 254 & DF 386	2n = 16	
<i>S. intermedium</i> , DF 287	2n = 16	2n = 16
<i>S. jaliscense</i> var. <i>jaliscense</i> , DF 406	2n = 16	
<i>S. tenorioi</i> , DF 344 & 345	2n = 16	

homologous segments, would either be two pairs or a chain of three and a univalent (Darlington, 1937). It was not possible to discern whether a univalent was present in the material I studied because of the small size of the chromosomes. Interchange heterozygotes are semi-sterile due to the non-viability of those gametes that lack one of the chromosome segments present in the parental complement (Darlington, 1937). Notwithstanding this interesting correlation, it was beyond the scope of the present study to determine if the observed chain was the result of a genetic interchange or due to “sticky” adhesions.

All species of *Schoenocaulon* that I studied have heteropycnotic segments visible in the interphase nucleus (Fig. 1b) similar to those reported by Tanaka and Tanaka (1979) for *Chionographis* (Liliaceae: Helonieae), a genus belonging to a tribe closely related to Melanthieae. Albeit that *Schoenocaulon* chromosomes are morphologically similar with respect to size and general appearance to those of *Chionographis*, they differ in number and in having a distinct kinetochores (Fig. 1a-c, e-f) although depending upon the material and how it was treated, the kinetochores may not be apparent (Fig. 1d).

The most remarkable fact to emerge from this study is the homogeneity of *Schoenocaulon* chromosomes in terms of number, size and ploidy. This differs with what has been found in other members of the tribe. And, at least with respect to chromosome number, was anticipated by Zimmerman (1958) on the basis of the few counts available to him: “...that while the genus *Veratrum sensu lato* may be less diverse than *Zigadenus sensu lato*, it is less homogeneous than *Schoenocaulon*.”

Schoenocaulon may have been abundant locally in the recent past as evinced by the observation that in the 1980's *S. macrocarpum* was found growing in abundance on Cerro Viga, Coahuila, presumably because the site was protected from humans and grazing animals. Today, most species of *Schoenocaulon* are extremely rare, confined to the margins of what was likely their previous habitat. To the extent that karyotype diversity often provides indications of on-going speciation events, it would appear that the relative homogeneity of *Schoenocaulon*'s chromosome morphology and number mirror its relative evolutionary stasis. Present populations of *Schoenocaulon* are very isolated (partly as a result of habitat disturbance) and this may have further contributed

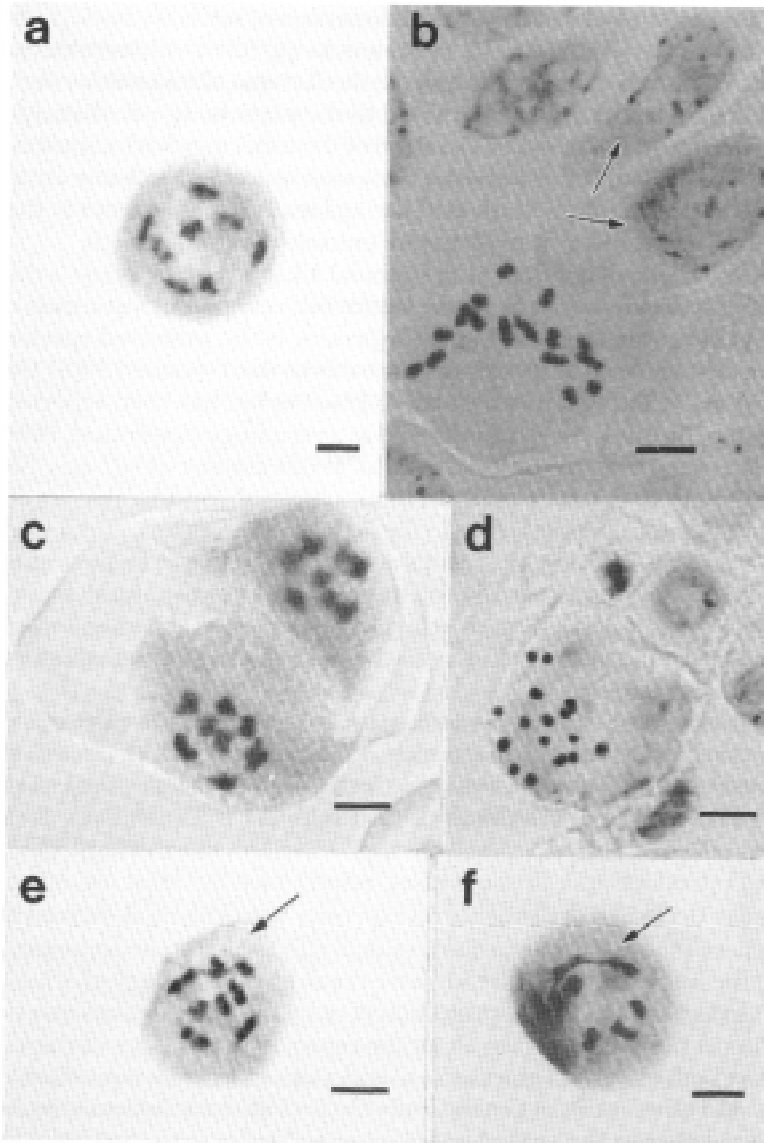


Fig. 1. Photographs of *Schoenocaulon* chromosomes. a) *S. intermedium* pollen mother cell, metaphase I, $n=8$. b) *S. intermedium* root tip cells $2n=16$, arrows denote heteropycnotic regions of interphase cells. c) *S. caricifolium* var. *caricifolium* pollen mother cells, late prophase II, $n=8$. d) *S. caricifolium* var. *caricifolium* root tip cells, $2n=16$. e) *S. tenorioi*, population from near Rodeo, pollen mother cell, metaphase I, $n=8$, arrow denotes chain of three chromosomes. f) *S. tenorioi*, population from Cerro Verde, pollen mother cell, metaphase I, $n=8$, arrow denotes chain of three chromosomes. Bar = 5 μm .

to its evolutionary slow-down. No special dispersers of seeds are known and indeed this is unlikely as the seeds are quite poisonous being filled with steroidal alkaloids, the chemical hallmark of the tribe. Indeed, the fact that *Schoenocaulon* accumulates steroidal alkaloids in its seeds as opposed to the plant body, particularly the bulb and bulb-rhizome as do the other members of the tribe, may have contributed to its general decline. With the introduction of free-ranging goats and other grazing animals in Mexico, the plants offered little defence against foraging, except at the time of fruit maturity; and sadly, grazed plants are unlikely to produce seeds.

The positive side of accumulating steroidal alkaloids in the seeds is their ready accessibility. *Schoenocaulon* seeds are the source of a very potent insecticide currently used in organic gardening. Although *S. officinale*, is the preferred species for this product, in fact, seeds of all species can probably be used (Frame 1990). Traditional use of *S. officinale* and to a lesser extent *S. ghiesbreghtii*, has been reported for the treatment of pediculosis, deep wounds and as a vermifuge (see Frame, 1990). Much information regarding traditional use of *Schoenocaulon* seeds has been lost. Notwithstanding, *S. officinale* seeds were an object of considerable trade among American indigenous peoples prior to the arrival of Europeans, and it is likely that they were aware of its strong insecticidal activity — and may even have applied it to crops. If so, it may represent one of the earliest known natural plant-derived insecticides. Such a remarkable and useful plant deserves greater attention and would be an excellent candidate for inclusion in schemes to develop sustainable agricultural practices in Latin America.

Dried, powered “sabadilla” seeds form the base of an effective insecticide useful against certain hard-to-control insects such as Diamond-back moth (*Plutella xylostella*), Mexican Bean beetle (*Epilacha varivestis*), Striped Cucumber beetle (*Acalymma vittatum*), Tarnished Plant bug (*Lygus oblineatus*), Leaf hoppers (Cicadellidae), Flea beetles (Alticinae) and Citrus thrips (*Scirtothrips* spp). Development and implementation of schemes to introduce and, in some cases, reintroduce the local use of “sabadilla” should lead to decreased dependence on expensive petrochemical-derived pesticides that often have long-term, hazardous residual effects on the environment.

Using the information we already have regarding the biology of *Schoenocaulon*, simple projects designed for the protection of remaining populations may be begun. And, as almost nothing is known about the reproductive biology of these plants it should prove both useful and practicable to undertake concurrent reproductive studies. Karyology and other forms of genetic study can provide basic information regarding relationships between and among populations and taxonomic categories, as well as vital evidence concerning evolutionary status. For these reasons, it is also recommended that the karyology survey of *Schoenocaulon* here begun be completed, and that an overall program of population genetic studies be undertaken.

Acknowledgements. I am indebted to Dr. P. Brandham for his technical instruction and patience; to R. Barneby for his perusal of, and comments on, the manuscript; to Fernando Chiang for his translation of the English abstract and to Prof. K. Jones for

graciously allowing me the use of his laboratory. Chih-Hua Tsou's aid with the bibliographic work is gratefully acknowledged. Funding for field collection of *Schoenocaulon* comes from a Sigma Xi research grant, Organization of American States Fellowship, and a New York Botanical Garden Fellowship to the author as well as an NSF Dissertation Research Grant (#BSR - 8501232) to Dr. A. Cronquist (principal investigator) and the author (student investigator). This paper is dedicated to R. Barneby, A. Cronquist and A. Kenton.

Literature cited

- CAVE, M. S. 1967. Documented chromosome numbers of plants. *Madroño* 19: 134-136.
- CAVE, M. S. 1970. Chromosomes of the Californian Liliaceae. *University of California Publications in Botany* 57: 1-58.
- DARLINGTON, C. D. 1937. *Recent advances in cytology*, second edition. P. Blakiston's Son, Philadelphia. 671 p.
- DE ZERPA, D. M. 1951. Los cromosomas de *Schoenocaulon officinale* (cebadilla). *Agronomía Tropical (Maracaibo)* 1: 83-84.
- FEDEROV, A. A. 1969. *Chromosome numbers of flowering plants* (in Russian). V. L. Komarov Botanical Institute, Leningrad. 927 p.
- FRAME, D. M. 1990. *A revision of Schoenocaulon (Liliaceae: Melanthieae)*. Ph.D. thesis. City University of New York.
- FRAME, D., A. ESPEJO AND A. R. LÓPEZ-FERRARI. 1999. A conspectus of Mexican Melanthiaceae including a description of new taxa of *Schoenocaulon* and *Zigadenus*. *Acta Botanica Mexicana* 48: 27-50.
- HUTCHINSON, J. 1973. *The families of flowering plants, third edition*. Clarendon, Oxford. 968 p.
- KRAUSE, K. 1930. Liliaceae. In: A. Engler (ed.) *Die natürlichen Pflanzenfamilien*, vol. 15a. Englemann, Leipzig, pp. 227-386.
- MILLER, E. W. 1930. A preliminary note on the cytology of the Melanthioideae section of the Liliaceae. *Proceedings of the University of Durham Philosophical Society* 8: 267-271.
- MOORE, R. J. 1971. Index to plant chromosome numbers, 1967-1971. *Regnum vegetabile* 90: 1-11,539.
- PREECE, S. J. JR. 1956. *A cytotaxonomic study of the genus Zigadenus (Liliaceae)*. Ph.D. thesis. State College of Washington, Pullman.
- PRICE, S. 1956. Cytological studies in *Saccharum* and allied genera. I. Syncytes in certain clones of *Saccharum* and *Erianthus*. *Cytologia* 21: 21-37.
- SATO, D. 1942. Karyotype alteration and phylogeny in Liliaceae and allied families. *Japanese Journal of Botany* 42: 57-161.
- TAKHTAJAN, A. 1969. *Flowering plants. Origin and dispersal*. Oliver and Boyd, Edinburgh. 310 p.
- TANAKA, N. AND N. TANAKA. 1979. Chromosome studies in *Chionographis* (Liliaceae) II. Morphological characteristics of the somatic chromosomes of four Japanese members. *Cytologia* 44: 935-949.
- ZIMMERMAN, J. H. 1958. *A monograph of Veratrum*. Ph.D. thesis. University of Wisconsin, Madison.

Recibido: 24.IX. 2001

Aceptado: 31.X.2001

Cultivares tradicionales mixtecos de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* (Cactaceae)

CÉSAR DEL C. LUNA-MORALES*

J. ROGELIO AGUIRRE RIVERA**

CECILIA B. PEÑA-VALDIVIA***

Resumen. En la Mixteca Baja se reconocieron 40 variantes cultivadas de *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb. y *S. stellatus* (Pfeiff.) Riccob. Con el fin de explorar su clasificación tradicional, móviles de selección y patrones de variación infraespecífica, se midieron 19 atributos morfológicos en 230 frutos entre los que de dos a 10 frutos pertenecían a cada variante; además se evaluaron 44 características de tallos, flores y frutos en cinco individuos de cada especie y de un posible híbrido entre ellas. La clasificación infraespecífica tradicional se encontró muy relacionada con las presiones culturales de selección. Estas presiones han sido mayores en *S. pruinosus*, pues se reconocieron 30 variantes (10 de las cuales son las más comerciales), y se han basado principalmente en color, tamaño y forma del fruto, tamaño y color de la espina, tamaño y cantidad de semillas, dulzura, sabor y época de maduración. En *S. stellatus* sólo se evaluaron nueve variantes, las cuales se clasificaron principalmente por color, época de madurez, tamaño, dulzura, cantidad y tamaño de semillas. Es probable que una de estas variantes sea un híbrido entre las dos especies de *Stenocereus*, con morfología más parecida a la de *S. stellatus*.

Palabras clave: etnobotánica, *Stenocereus*, Pachycereeae, recursos fitogenéticos.

Abstract. A total of 40 cultivated variants of *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb. and *S. stellatus* (Pfeiff.) Riccob. were recognized in the Mixteca Baja region. In order to explore infraspecific folk classification, selective motives and variation patterns of these variants, 19 morphological attributes were measured on 230 fruits (2-10 fruits per variant), and 44 characteristics of stems, flowers and fruits on 5 individuals of each species and of one putative hybrid between them. The folk infraspecific classification is closely related to the human selective pressures. These pressures appear to have been greater in *S. pruinosus*, since this species

*Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, Km. 38.5, 56230 Chapingo, Edo. de México.

**Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, UASLP. Altair 200, Fracc. del Llano. San Luis Potosí, SLP 78377, México.

***Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco, Km.35.5, 56230 Montecillo, México.

has more than 30 variants (10 are more commercial) which are recognized by color, size and shape of fruits, size and color of spines, size and number of seeds, sweetness, flavor and production season. In *S. stellatus*, only nine variants were measured, which are classified mainly by the color, size and sweetness of fruit, production season, and size and number of seeds. It is possible that one of these variants were a hybrid between the two species of *Stenocereus*, but its morphology seems more similar to that of *S. stellatus*.

Key words: ethnobotany, *Stenocereus*, Pachycereae, plant genetic resources.

Introducción

México es centro de origen y diversidad de cactáceas, muchas de las cuales, principalmente especies de *Opuntia* y Pachycereae, han sido importantes para el desarrollo de algunas culturas de Meso y Aridoamerica (Smith 1967, 1988; Sánchez-Mejorada, 1982; Nabham, 1990; Felger y Moser, 1991). En estas regiones, además del aprovechamiento de poblaciones espontáneas, se han cultivado por lo menos 40 especies de cactáceas; 20 son columnares y se han domesticado alrededor de 17, de las que sólo tres son columnares (Zeven y de Wet, 1982; Sánchez-Mejorada, 1984; Hemández X., 1993; Casas *et al.*, 1998 y 1999c; Luna-M., 1999; Luna-Morales y Aguirre, 2001a-c).

De las 22 a 24 especies del género *Stenocereus*, entre 17 y 20 se encuentran en México, y ocho de éstas son cultivadas en el centro-sur del país (Gibson y Horak, 1978; Sánchez-Mejorada, 1984). Para la Mixteca Baja se han consignado *S. pruinosus* (Otto) Buxbaum, *S. stellatus* (Pfeiffer) Riccobono, *S. dumortieri* (Scheidweiler) Buxbaum y *S. griseus* (Haworth) Buxbaum (Bravo-Hollis, 1978), aunque no se ha confirmado la presencia de esta última, pues al parecer se le ha confundido con la primera especie. Existen evidencias de cultivo o auspicio de *S. dumortieri* en algunos centros ceremoniales prehispánicos, terrenos de cultivo y solares mixtecos, pero su variación morfológica y usos actuales son reducidos. En contraste, *S. pruinosus* y *S. stellatus*, especies nativas del sur de México (Gibson y Horak, 1978), muestran amplia variación morfológica y tienen usos múltiples (principalmente consumo de fruto y semilla, además del aprovechamiento de los tallos para cercas vivas, control de erosión y como combustible); asimismo, se han documentado factores que representan presiones humanas de selección e indicios del proceso de domesticación (Casas *et al.*, 1997; Casas *et al.*, 1999a; Luna-Morales y Aguirre, 2001 a-c).

En el Valle de Tehuacán y seguramente también en la Mixteca Baja adyacente, se han aprovechado frutos, semillas y tallos de cactáceas columnares (entre ellas *S. aff. pruinosus* y *S. stellatus*) desde hace unos 8000 años, y pudieron haberse cultivado algunos cactus desde la fase Palo Blanco (200-700 d.C.) (Callep, 1967; Smith, 1967; González Q., 1972; Winter *et al.*, 1984). En efecto, actualmente es posible observar antiguas plantaciones de *S. pruinosus* y *S. stellatus*, asociadas a ruinas prehispánicas y

coloniales, cuya estructura contrasta con las comunidades espontáneas o aparentemente silvestres (Luna-Morales y Aguirre, 2001b); además de que su aprovechamiento se basa en un conocimiento tradicional y una tecnología mesoamericana (Luna-Morales y Aguirre, 2001a).

A pesar de la investigación arqueológica escasa en la Mixteca Baja, es posible hablar de la existencia de una lengua propia y centros urbanos desde 500 a.C. en esta región (Hopkins, 1984; Winter, 1996). Como herencia de esta cultura, actualmente se designa a las cactáceas columnares como *too dichi* o *tnu dichi*, las cuales complementan la subsistencia y el ingreso monetario en 45 localidades, ubicadas en ambientes semiáridos, con laderas pedregosas y suelos someros, donde crecen matorrales espinosos, bosques tropicales caducifolios y palmares muy perturbados (Luna-M., 1999). De las diferentes especies de cactáceas columnares que se han seleccionado y cultivado, destacan *S. pruinosus* y *S. stellatus*, que reciben el nombre genérico mixteco de *dichi* y el antillano pitaya, así como el náhuatl *xoconochtlí* sólo para *S. stellatus*. La importancia actual y pasada de estas dos especies en la Mixteca Baja, se evidencia también por la presencia bajo cultivo de más de 40 variantes infraespecíficas, una de las cuales parece ser un híbrido interespecífico.

La Mixteca Baja se encuentra dentro de uno de los centros mundiales de origen de la agricultura, con un poblamiento y civilización milenarios; así, es conveniente que el estudio de los recursos biológicos y culturales parta del conocimiento tradicional que los propios mixtecos poseen, y se integre al conocimiento científico, tarea de mediano y largo plazo, pues el conocimiento acumulado en milenios tarda en recuperarse (Hernández X., 1985a-b). En el presente estudio, que puede considerarse exploratorio, se hace un análisis inicial de la clasificación infraespecífica y de los móviles de selección tradicionales de *S. pruinosus* y *S. stellatus*; también se establece una caracterización morfológica preliminar de algunas de sus variantes y de un posible híbrido entre ellas.

Materiales y métodos

Durante 1995-1997 se identificaron las principales localidades productoras de *S. pruinosus* y *S. stellatus* en la Mixteca Baja, mediante recorridos regionales y entrevistas abiertas en mercados y centros de población (Luna M., 1999). Con la información, se seleccionaron ocho localidades por su mayor riqueza en variantes infraespecíficas. En 16 huertos de estas localidades, en tres centros comunitarios de empaque de fruto y con 20 informantes nativos, se obtuvieron entre dos y 10 frutos de cada una de las variantes reconocidas por los informantes; la selección se basó en la identificación independiente al menos de tres informantes. De esta forma se colectaron en total 230 frutos, a los cuales se les midieron 19 atributos morfológicos que incluyen dimensiones, peso y color del fruto entero y de sus regiones anatómicas separadas (cáscara, semillas, pulpa y espinas), así como sólidos solubles de la pulpa (grados Brix). Además, con el fin de documentar la presencia de un posible híbrido

entre *S. pruinosus* y *S. stellatus*, en uno de los huertos se seleccionaron cinco plantas de cada uno de los tres taxa involucrados. De cada planta se seleccionaron dos tallos, flores y frutos en los que se evaluaron 44 atributos. Los atributos de los frutos correspondieron a los citados arriba; los atributos del tallo (12) incluyeron dimensiones y número de costillas, espinas y aréolas; entre los atributos de las flores (14) están las dimensiones del tubo floral, de un tejido blanco (o pico) superior e inferior, de los filamentos, anteras, estilo, estigma, cámara nectárea y ovario, estructuras citadas por Bravo-Hollis (1978) y Gibson (1991).

Los frutos se evaluaron en la madurez de consumo. Para las evaluaciones de dimensión y peso se utilizó un vernier y una balanza analítica. El color se determinó en una escala de intervalo con la cascada de colores Munsell (Munsell, s/f) y el contenido de sólidos totales de la pulpa (azúcar) se midió en grados Brix, con un refractómetro manual. Las semillas se separaron después de fermentar la pulpa, frotarlas y limpiarlas. Se contaron y midieron las dimensiones de 30 semillas por fruto, para esto último se utilizó un microscopio de disección. Los atributos del tallo se midieron en su sección media, cuidando que las espinas y aréolas mensuradas tuvieran un estado típico; se cuantificó también el grado de ramificación.

Con los datos obtenidos se efectuó un análisis de varianza de una vía y comparación múltiple de medias con el método de Duncan, para lo cual se utilizó el paquete estadístico SAS 6.03 para computadora personal (SAS, 1988). También se efectuó un análisis multivariable mediante una ordenación y clasificación de las variantes y los taxa, para lo que se utilizó el paquete NTSYS 1.7 (Rohlf, 1992). La ordenación se hizo mediante un análisis de componentes principales a partir de la matriz de correlaciones, dada la heterogeneidad de varianzas de las variables originales. Una clasificación aceptable (correlación cofenética mayor a 0.75) se logró mediante los procedimientos más comunes: estandarización de variables con media cero y varianza uno; cálculo de la matriz de similitud con la distancia taxonómica media; agrupamiento secuencial, aglomerativo, jerárquico y anidado, mediante la media aritmética no ponderada para pares de grupos.

Resultados

Clasificación tradicional. En el cuadro 1 se presentan los principales criterios y el significado de algunos términos que los productores mixtecos utilizan para clasificar y denominar las variantes infraespecíficas de *S. pruinosus* (*dichi kua*) y *S. stellatus* (*dichi kaya* o *dichl key*). Estos criterios son en su mayoría nominales, pero algunos (poca o mucha semilla o espina; temprano, intermedio, tardío) son ordinales. La mayoría de los términos designan características del fruto (forma, tamaño, color de pulpa y espina, dulzura, dehiscencia, cantidad de espinas y semilla) y algunos a la época de maduración o al lugar de origen de la planta. Es importante destacar que en la denominación se incluyen términos mixtecos (*dichi*, *iñu*=espina, *kua*=amarillo, etc.), antillanos (pitaya=fruta escamosa), nahuas (*xocochitli*=tuna ácida) y castellanos (reina,

blanco, etc.), pero los términos mixtecos rara vez se juntan con los de otro origen, y se utiliza el término genérico y específico mixteco. De esta forma, puede decirse que la clasificación tradicional mixteca de *S. pruinosus* y *S. stellatus* considera tres categorías, una (*too/tnu dichi*) considera a todos los cactus columnares y las otras dos (*key/kaya kushi*, *i ñu ya 'a*, etc.) incluyen alguna característica más específica que denomina u ordena el color, el tamaño o la forma del fruto, la cantidad de semillas y la densidad y tamaño de espinas del fruto.

La clasificación infraespecífica mixteca de *S. pruinosus* es más detallada, pues se identificaron 13 criterios y 31 variantes (Cuadro 1). De los criterios, tres se refieren a la forma, tamaño y dehiscencia del fruto; tres al color, densidad y tamaño de las espinas; tres al sabor, dulzura y color de la pulpa; uno a la cantidad de semillas, uno a la época de maduración, uno al grosor de la cáscara y uno al lugar de origen de la planta.

La clasificación tradicional de las variantes de *S. stellatus* se basa principalmente en el color, tamaño y sabor del fruto (Cuadro 1). Según los propios informantes mixtecos, el color está relacionado con la época de maduración, pues primero maduran los xoconochtlis rojos y amarillos, luego los blancos y finalmente los morados; ésta es una tendencia general, ya que es posible encontrar algunas variantes tardías o tempranas de los diferentes colores. En cuanto al tamaño y sabor, destacaron los xoconochtlis San Pedro y *dichi n 'doko* (fruto parecido externamente al zapote negro, *Diospyros digyna*), que son de los más grandes y agradables, según los informantes.

Variantes de S. pruinosus. De los 19 atributos evaluados en los frutos, el grosor de la cáscara, el número de aréolas, el grosor y la anchura de las semillas y el índice peso de pulpa/peso de cáscara fueron significativamente semejantes entre las 31 variantes (Cuadro 2, 2a y 2b). La comparación entre las variantes no fue objetivo del presente estudio, por lo que en sustitución de la comparación múltiple de medias se presenta la diferencia mínima significativa (DMS) y la media de cada atributo evaluado en los frutos y se señalan los valores extremos, más altos (+) o menores (-), de esa comparación de medias.

En general, las variantes blanca, burra, cántaro, *intsi'ia*, *iñutun*, negra, reina, *sinsidi*, y *site'e* se consideran las de mayor valor comercial y de primera calidad, por su peso alto y tamaño grande. En contraste, las variantes abrileña, coqui, hormiga, morada, *iñukushi*, roja y San Gabriel son pequeñas, pero poseen alguna característica de interés para los productores: cáscara delgada, pocas semillas y/o color atractivo (Cuadro 2a y 2b). Específicamente, la variante abrileña es de producción temprana, la hormiga tiene un sabor característico que los productores describieron como «especial», la variante San Gabriel es de producción alta y es la única que tiene dos temporadas marcadas de producción, una en mayo y otra en agosto. Las 15 variantes restantes incluidas en este estudio son de tamaño y peso intermedio y tienen algún carácter apreciado, como elevada dulzura (licui), colores variados (melón:0.5YR, sandía:5.6RP, solferina:5.5R) o fructificación tardía (acateca), que hace posible la disponibilidad de fruto fuera de la temporada en la que hay mayor oferta.

Cuadro 1. Clasificación infraespecífica mixteca de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus**

Criterio denominación	Características del fruto
<i>S. pruinosus</i>	Pitaya amarilla
Forma y espinación	
Jarra, cántaro, runchi	Forma de cántaro
Site'e	Forma de escarabajo, pocas espinas cortas
Indo'oyo	Forma esférica, espinas tupidas
Dini indo'oyo	Forma de cabeza esférica, pulpa roja
Color de pulpa	
Kua	Naranja, amarilla
Kua'a	Roja
Sandía, melón, mamey	Color parecido a la fruta referida
Morada, solferina, roja	Del color referido
Color de espinas	
Ifiu tun	Espinas negras
Ifiu kushi	Espinas blancas o cenizas
Ifiu kua	Espinas rojas
Ifiu ya'a	Espinas naranjas o amarillas
Tamaño y cáscara	
Burra	Fruto grande, cáscara y espinas gruesas
Negra	Fruto grande, cáscara y pulpa guinda
Contenido de semilla	
Chinefiu	Con pocas semillas
Chicalía	Con muchas semillas
Época de maduración	
Abrileña	Produce pronto, desde abril
Acateca	Tardía
Roja venturera	Producen en mayo y poco en diciembre
Pitayo-xoconochtli	Dos épocas de producción, mayo y agosto
Sabor y dulzura	
Reina, gota de miel	Muy dulce y grande
Sinsidi	La más dulce, pero cáscara muy delgada
Hormiga	Muy dulce pero pequeña
Intsi'ia	Agridulce, tallo desgajable
Dehiscencia	
Sillusa, sindandun	Dehiscentes
Origen	
Monte o cerro 'x'	Lugar donde se obtuvo para propagarla
<i>Stenocereus x sp.</i>	Probable híbrido interespecífico con fructificación bimodal
Pitaya San Gabriel	(mayo y agosto)
<i>S. stellatus</i>	
Color y fenología	
Dichi key/kaya kua	Amarillo

Cuadro 1, continuación

Criterio denominación	Características del fruto
Dichi key/kaya kua'a	Rojo, madura primero
Dichi key/kaya kushi	Blanco, maduración,intermedia
Morado, solferino rosa	Morado, madura al último
Tamaño, color y dulzura	
Dichi n'doko	Rojo, grande y dulce; como zapote negro
San Pedro	El más grande de los xoconochtlis
Cuyera	Roja, pequeña
Lundita	Roja, pequeña, precoz

*Datos de ocho localidades y 20 informantes, 1995-97

Los colores de los frutos (Cuadro 2a) incluyen las tonalidades que distinguen algunos productores (siete tonalidades de rojo y ocho de amarillo, desde $29.6=0.5Y$ hasta $42.15=2.4R$). Este aspecto demostró que los campesinos mixtecos han desarrollado cierta capacidad para distinguir una amplitud de colores de los frutos. Este conocimiento se refleja en las 10 denominaciones que refieren al color de la pulpa (Cuadro 1), además de las asociadas con el color de la espina o la cáscara de los frutos de *S. pruinosus*.

El análisis multivariable de componentes principales (CP) mostró que los primeros: tres CP resumen el 60% de la variación morfológica de los frutos de *S. pruinosus*. El primer CP, con 35% de la variación, mostró correlaciones mayores con el tamaño y peso del fruto, longitud, grosor, peso y número de semillas, y longitud de las espinas. En el segundo CP, con 14% de la variación, los frutos se ordenan por los colores de la cáscara y la pulpa; y en el tercer CP, con 11% de la variación, los frutos se ordenaron por su redondez y número de aréolas (Cuadro 3). Así, en la representación gráfica de los dos primeros CP (Fig. 1A), las variantes de fruto grande y espinosos, como burra, negra, *iñutun*, *site'e*, *inlsi'ia*, se dispusieron en extremos opuestos a las variantes de fruto pequeño, como abrilena, hormiga y San Gabriel; también se formó un gradiente de variación, basado en el color de la pulpa, desde los tonos amarillo claro (*licui*, *iñukushi*) hasta los rojos oscuros y morados (*hormiga*, *lilamora*) (Fig. 1A). El CP3 confirmó que la forma del fruto, incluida en el cuadro 1, también ha interesado a los pitayeros mixtecos, pues los frutos redondos (*coqui*, *sinsidi*, *tsindudo*, *abrilena*) o alargados y con más aréolas (*cántaro*, *si'e'e*, etc.) se ubicaron en extremos opuestos (Fig. 1B).

Variantes de S. stellatus. El cuadro 4 evidencia la clasificación regional más común de las variantes de *S. stellatus* basada en el tamaño, dulzura y color (asociado a la época de maduración) de los frutos. Nueve de los 19 atributos del fruto (peso y grosor de cáscara, proporción de peso comestible, número y dimensiones de la semilla, longitud de espina y número de aréolas) evaluados en las variantes *S. stellatus* fueron

significativamente semejantes entre las nueve variantes incluidas en el estudio (Cuadro 4). En general, los frutos de *S. stellatus* son de menor tamaño, más redondos y menos dulces respecto a los de *S. pruinosus* (Cuadro 2a, 2b y 4).

El análisis de CP mostró que los primeros tres CP explican 80% de la variación morfológica de los frutos de *S. stellatus*. Sobre el primer CP (con 36% de la variación) se ordenaron positivamente los frutos de las nueve variantes de acuerdo con su anchura, peso, redondez y grosor de cáscara, y negativamente según el número de aréolas y el grosor de semilla. El segundo CP (con 25% de la variación), se correlacionó positivamente con la longitud del fruto y el tamaño y peso relativo de las semillas. Sobre el tercer CP (con 19% de la variación) se ordenan los frutos según su color, de rojo oscuro a amarillo claro, y la longitud de espinas (Cuadro 3). Así, la representación gráfica de los dos primeros CP (Fig. 2A) separó las variantes más redondas, anchas y con menos aréolas (*dichi n 'doko*), las alargadas y con más aréolas (San Gabriel) y las de semilla pequeña (morada). Por otro lado, la representación gráfica del CP uno y tres (Fig. 2b) mostró que la variante *dichi n 'doko* destaca por su mayor peso y redondez, con espinas cortas y color de pulpa rojo oscuro, y contrasta con la lundita, que posee características opuestas, y con San Gabriel que posee frutos alargados y con cáscara delgada.

Posible híbrido entre S. pruinosus y S. stellatus. Entre las 40 variantes de *Stenocereus* spp. evaluadas en el presente trabajo, únicamente la San Gabriel mostró dos fechas marcadas de fructificación al año que coinciden con las de las dos especies en estudio; los informantes enfatizaron su sabor parecido a *S. stellatus* en la época de producción de *S. pruinosus* y viceversa. Además, la comparación directa de los frutos de todas las variantes evidenció que la variante San Gabriel compartía algunas características con las de *S. stellatus* y *S. pruinosus*. Por lo anterior, se realizó una comparación formal de 44 caracteres morfológicos de tallos, flores y frutos de la variante San Gabriel con los de otras variantes de *S. stellatus* y *S. pruinosus*. Se observó que de los 44 atributos evaluados (Cuadro 5), solamente doce (número y longitud de espinas centrales, ancho de aréola y diámetro y grado máximo de ramificación del tallo, diámetro de la cámara nectaria, diámetro y longitud del ovario, longitud de lóbulos del estigma y longitud del tejido blanco inferior de la flor, color de cáscara y de pulpa del fruto) fueron significativamente semejantes entre la variante San Gabriel y sus posibles progenitores. Además, la distancia entre aréolas del tallo y el diámetro mínimo del tubo floral de la variante San Gabriel fueron significativamente menores a los posibles padres. En los 30 atributos restantes, el posible híbrido tuvo una situación intermedia; en nueve fue estadísticamente diferente a los posibles progenitores, en 17 atributos (12 del fruto) fue estadísticamente igual a *S. stellatus* y en cuatro del tallo lo fue a *S. pruinosus*. De esta forma, puede decirse que en 68% de las variables evaluadas el posible híbrido presenta una situación estadísticamente intermedia entre los padres putativos y en más de la mitad de estos atributos fue estadísticamente igual a *S. stellatus*.

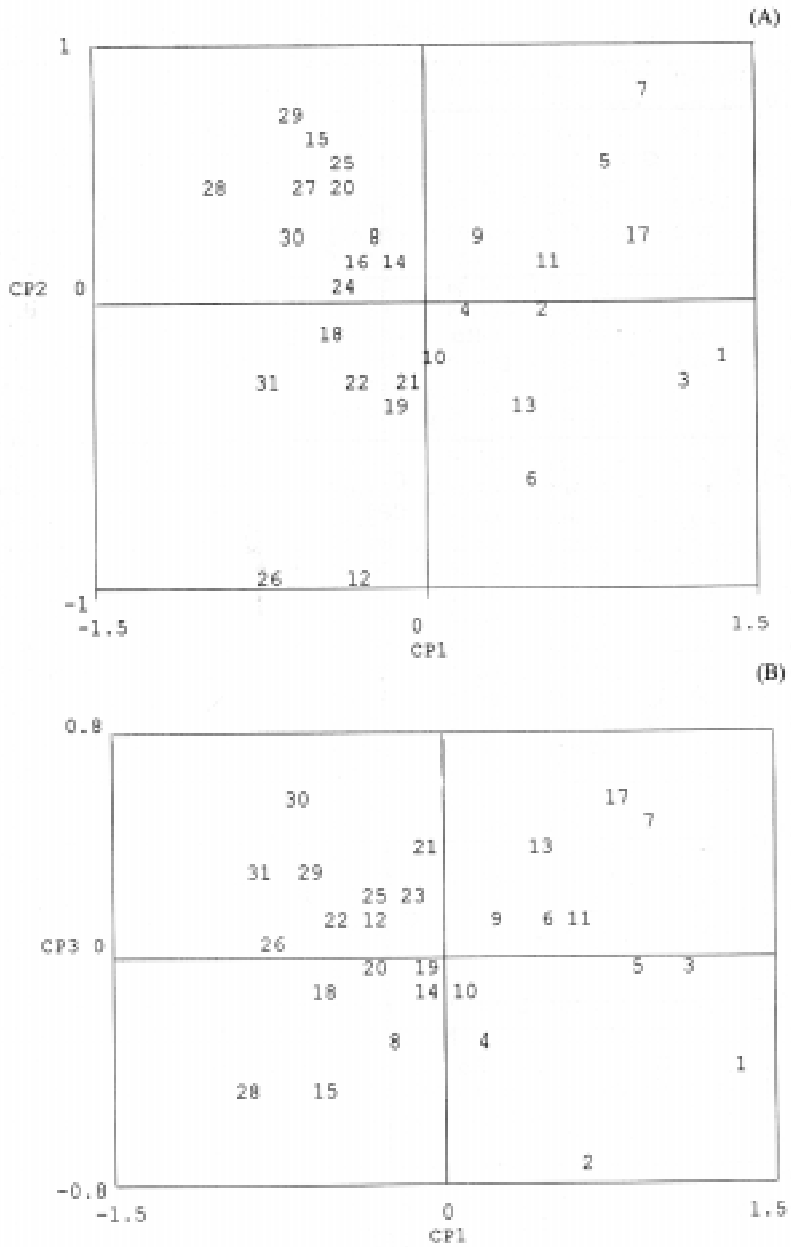


Fig. 1. Ordenación de 31 variantes de *S. pruinosus* basada en las características de sus frutos, sobre los componentes principales primero y segundo (A) y primero y tercero (B) (tres variantes sobrepuestas, números según el Cuadro 2)

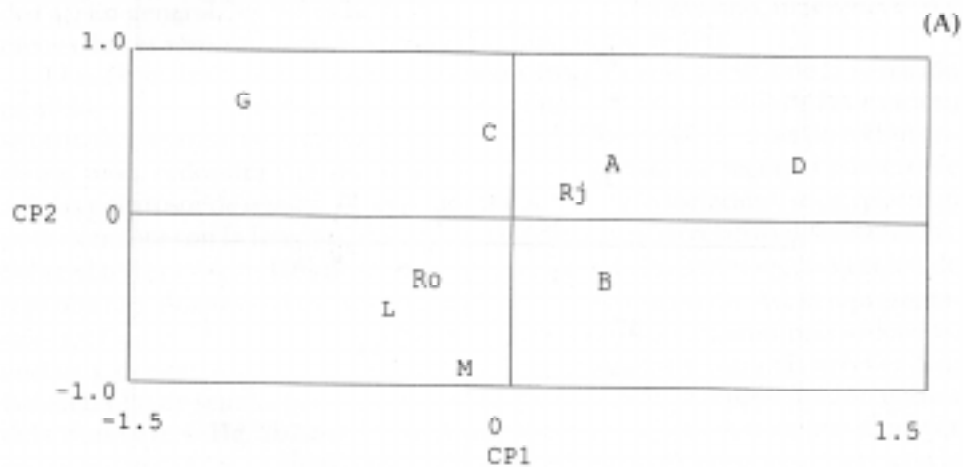


Fig. 2. Ordenación de nueve variantes de *S. stellatus* basada en las características de sus frutos, sobre los componentes principales primero y segundo (A) y primero y tercero (B) (G=San Gabriel, L=Lundita, Ro=Rosa, M=Morada, C=Cuyera, Rj=Roja, A=Amarilla, B=Blanca, D=*dichi n'doko*).

Cuadro 2. Atributos del fruto de 31 variantes de *Stenocereus pruinosus* de la Mixteca Baja

Variante	Diámetro polar	Diámetro ecuatorial (cm)	Peso total (g) (cm)	Peso de cáscara	Peso comestible (g)	Peso de semilla (g)	Redondez (g)
1. Burra	12.01+	8.12+	398.51+	65.97+	332.54+	6.61+	0.68
2. Site'e	11.51+	6.92	254.20	45.20	209.00	6.00+	0.60-
3. Iñutun	10.55+	7.73+	316.80+	69.40+	247.40+	5.37	0.73
4. Cántaro	10.11	6.48	220.53	45.05	175.47	3.40	0.64-
5. Negra	10.32	6.99	258.37	63.59	194.78	4.06	0.68
6. Blanca	9.50	7.44	257.83	64.39+	193.44	4.47	0.78
7. Lilamora	9.14	7.61+	275.50+	49.89	225.61+	4.92	0.83
8. Chicalía	9.14	5.64-	147.97	31.42	116.55	4.20	0.62-
9. Iñuya'a	8.62	6.68	199.84	43.58	156.26	5.10	0.77
10. Melón	8.62	6.68	202.43	50.43	152.21	3.72	0.77
11. Intsi'ia	8.59	6.64	205.40	38.40	167.00	9.38+	0.77
12. Licui	8.44	6.56	179.12	35.90	143.22	4.39	0.78
13. Reina	8.42	7.23	236.61	40.36	196.25	5.78	0.86
14. Sandía	8.39	6.02	164.47	34.08	130.39	3.68	0.72
15. Acateca	8.36	5.58-	147.08	32.82	142.26	1.53-	0.67
16. Solferina	8.33	6.16	165.67	35.12	130.57	3.73	0.75
17. Sinsidi	8.08	7.32	259.00	44.10	214.90	5.22	0.91+
18. Amarilla	7.87	5.97	148.26	31.09	117.17	3.10	0.76
19. Sineño	7.72	6.39	199.93	43.42	156.51	5.25	0.83
20. Tripa-Co	7.64	5.95	146.08	32.84	113.24	4.70	0.78
21. Tsíndudo	7.59	6.64	188.10	35.40	152.70	3.66	0.87
22. Ceniza	7.43	5.91	151.38	25.48	125.91	3.25	0.79
23. China	7.34	6.24	176.51	36.80	139.71	3.12	0.85
24. Indo'oyo	7.32	6.10	145.34	32.53	112.82	3.90	0.83
25. Roja	7.23	5.93	139.21	28.46	110.75	3.53	0.83
26. Iñukushi	7.20	5.85	133.80	16.80-	117.00	4.35	0.81
27. Morada	7.15	5.45-	110.08-	23.49	86.59-	4.23	0.76
28. S. Gabriel	6.64-	4.97-	85.91-	15.14-	70.77-	1.53-	0.76
29. Hormiga	6.49-	5.60-	114.58-	18.71-	95.87-	1.96-	0.86
30. Coquí	6.46-	6.16	130.50	31.00	99.50	1.80-	0.95+
31. Abrileña	6.18-	5.49-	105.60-	26.60	79.00-	3.10	0.89+
DMS	2.16	2.07	110.44	20.84	100.36	2.55	0.26

DMS: diferencia mínima significativa.

+ , -: promedios con los valores más altos y más bajos, agrupados por los dos o tres primeros y últimos rangos de la comparación de medias.

Cuadro 2a. Atributos del fruto de 31 variantes de *Stenocereus pruinosus* de la Mixteca Baja

Variante	Semillas (número)	Longitud semilla	Color de cáscara (mm)	Color de pulpa (Munse)	Grados Brix (Munse)	Longitud de espina (cm)
1. Burra	2966.0+	2.45	32.60	39.64	11.75-	1.96
2. Site'e	2898.0	2.36	40.14	40.14	12.50-	1.80
3. Iñutun	2781.0	2.55+	42.15+	40.13	14.50+	2.60
4. Cántaro	1746.0	2.37	28.81	36.88	12.84-	1.50
5. Negra	2000.0	2.54+	36.89	39.64	12.13-	2.26
6. Blanca	2466.0	2;31	23.10-	34.12-	13.00-	2.50+
7. Lilamora	1995.0	2.61+	39.15	40.14	13.25-	2.12
8. Chicalfá	2068.0	2.39	36.14	38.14	13.80	1.50
9. Iñuya'a	2244.7	2.49	31.79	37.80	11.83-	1.50
10. Melón	1731.5	2.41	22.10-	35.70	10.75-	1.81
11. Intsi'ia	3908.0+	2.58+	41.60+	38.14	12.25-	1.90
12. Licui	2809.0	2.19-	22.60-	30.10-	17.25+	1.40-
13. Reina	2807.7	2.45	26.04	34.79	13.70	2.27+
14. Sandía	2453.0	2.51	23.70-	41.70+	13.00-	2.12
15. Acateca	706.0	2.17-	41.13+	40.14	12.60-	1.60
16. Solferin	1900.5	2.27	33.14	40.64+	11.25-	2.16
17. Sinsidi	2197.0	2.51	40.14	40.14	14.00+	2.40+
18. Amarilla	1603.3	2.22-	26.43	34.84	12.39-	1.53
19. Sineño	3321.5+	2.19-	28.13	40.14	12.63-	1.50
20. Tripa-Co	2136.0	2.30	39.13	39.13	13.50	0.90-
21. Tsindudo	1958.0	2.47	31.14	34.12-	14.00+	2.00
22. Ceniza	1724.5	2.38	-25.00	35.13	12.88-	1.95
23. China	1639.5	2.33	39.62	38.14	12.75-	1.70
24. Indo'oyo	2146.7	2.27	36.81	39.14	12.75+	1.70
25. Roja	1407.0-	2.40	36.94	38.74	13.75	1.72
26. Iñukushi	2682.0	2.21-	22.14-	34.13-	13.50	2.20
27. Morada	2152.0	2.33	41.15+	42.15+	12.70-	1.60
28. S. Gabriel	951.0-	2.19-	39.14	39.14	10.00-	1.20-
29. Hormiga	891.0-	2.56+	40.10	40.13	13.20-	1.40-
30. Coqui	890.0-	2.47	36.70	36.12	13.75	1.80
31. AbriIeña	1721.0	2.30	22.90-	33.13-	12.00-	1.50
DMS	1178.4	0.35	9.37	3.52	3.88	1.07

DMS: diferencia mínima significativa.

+ , -: promedios con los valores más altos y más bajos, agrupados por los dos o tres primeros y últimos rangos de la comparación de medias.

Tonos de color aprox.: 22-24= 25-28=Y, 29-33=YR, 34-39=R, 40-44=RP

Cuadro 2b. Atributos del fruto de 31 variantes de *Stenocereus pruinosus* de la Mixteca Baja

Variante	Grosor de cáscara (mm)	Comestible/ cáscara	Grosor de semilla (mm)	Ancho de semilla (mm)	Peso de 100 semillas (gr)	Número de aréolas
1. Burra	0.25	5.05	1.10	1.79	2.23	49.0
2. Site'e	0.19	4.62	1.10	1.72	2.07	42.0-
3. Iñutun	0.32	3.56-	1.10	1.75	1.97	41.0-
4. Cántaro	0.23	4.03	1.09	1.75	1.95	53.0
5. Negra	0.27	3.04-	1.17	2.21	2.05	55.5
6. Blanca	0.22	3.00-	1.10	1.60	1.81	55.0
7. Lilamora	0.20+	4.52	1.30+	2.24	2.47	69.0+
8. Chicalía	0.22	3.75	1.10	1.72	2.03	51.0
9. Iñuya'a	0.23	3.67-	1.13	1.79	2.30	56.0
10. Melón	0.25	2.99-	1.05	1.78	2.14	38.0-
11. Intsi'ia	0.23	4.35	1.12	1.92	2.40	52.0
12. Licui	0.20	3.99	1.10	1.52	1.56	46.0
13. Reina	0.24	4.86	1.07	1.75	2.06	52.0
14. Sandía	0.14	3.83-	1.00	3.34+	1.50	55.0
15. Acateca	0.23	3.48-	1.10	1.74	2.17	44.0
16. Solferin	0.21	3.66-	1.08	1.69	1.97	47.0
17. Sinsidi	0.38	4.87	1.15	1.81	2.37	49.0
18. Amarilla	0.23	3.99	1.08	1.65	2.01	47.0
19. Sineño	0.32	3.58-	1.00	1.54	1.57	51.0
20. Tripa-Co	0.26	3.45	1.15	1.73	2.20	46.0
21. Tsindudo	0.29	4.31	1.00	1.67	1.83	50.0
22. Ceniza	0.24	5.14	1.03	1.73	1.90	50.0
23. China	0.27	3.81-	1.08	1.71	1.92	51.5
24. Indo'oyo	0.24	3.47-	1.07	1.65	1.81	53.3
25. Roja	0.21	3.91-	1.12	1.78	2.53	45.2
26. Iñukushi	0.16-	6.96+	0.90-	1.54	1.63	46.0
27. Morada	0.25	3.79-	1.05	1.71	1.96	47.0
28. San Gabriel	0.18	4.88	1.05	1.55	1.62	42.5-
29. Hormiga	0.19	5.12	1.05	1.85	2.20	55.0
30. Coqui	0.23	3.21-	1.00	1.68	2.03	54.0
31. Abrileña	0.27	2.97-	1.00	1.57	1.77	52.0
DMS	0.29	4.80	0.21	0.94	2.12	41.21

DMS: diferencia mínima significativa

+ , -: promedios con los valores más altos y más bajos, agrupados por los dos o tres primeros y últimos rangos de la comparación de medias.

Cuadro 3. Correlaciones de los tres primeros componentes principales (CP) con 19 atributos morfológicos de los frutos de 31 variantes de *S. pruinosos* y nueve de *S. stellatus*

Atributo y unidades	<i>S. pruinosos</i>			<i>S. stellatus</i>		
	CP1 (35%)	CP2 (14%)	CP3 (11%)	CP1 (36%)	CP2 (25%)	CP3 (19%)
Diámetro polar (cm)	0.85	0.16	-0.42	0.10	0.93	-0.28
Diámetro ecuatorial (cm)	0.93	0.19	0.22	0.89	0.42	-0.12
Peso total (g)	0.96	0.17	-0.01	0.79	0.52	-0.31
Peso de cáscara (g)	0.89	0.15	0.03	0.84	0.52	0.07
Peso comestible (g)	0.94	0.15	-0.04	0.74	0.30	0.33
Comestible/cáscara	-0.06	0.16	-0.09	-0.49	-0.03	-0.61
Grosor de cáscara (cm)	0.35	0.05	0.48	0.74	0.30	0.33
Longitud de espina (cm)	0.58	0.20	0.23	-0.19	0.11	0.79
Número de aréolas	0.20	-0.33	0.43	-0.71	0.38	0.33
Grados Brix	0.04	0.26	0.46	0.38	-0.46	0.18
Peso de semilla (g)	0.70	0.21	-0.05	0.30	0.59	0.59
Número de semillas	0.56	0.501	-0.10	0.51	0.21	0.58
Peso cien semillas (mg)	0.44	-0.63	0.15	-0.53	0.71	-0.01
Anchura de semilla (mm)	0.26	-0.32	-0.12	-0.59	0.69	0.18
Longitud de semilla (mm)	0.58	-0.45	0.33	-0.53	0.67	0.13
Grosor de semilla (mm)	0.60	-0.52	0.05	-0.84	0.28	0.18
Color de cáscara	0.20	-0.74	-0.09	0.03	0.55	-0.76
Color de pulpa	0.27	-0.67	-0.39	-0.24	-0.16	-0.77

Entre paréntesis se indica el porcentaje de variación explicado por cada componente principal.

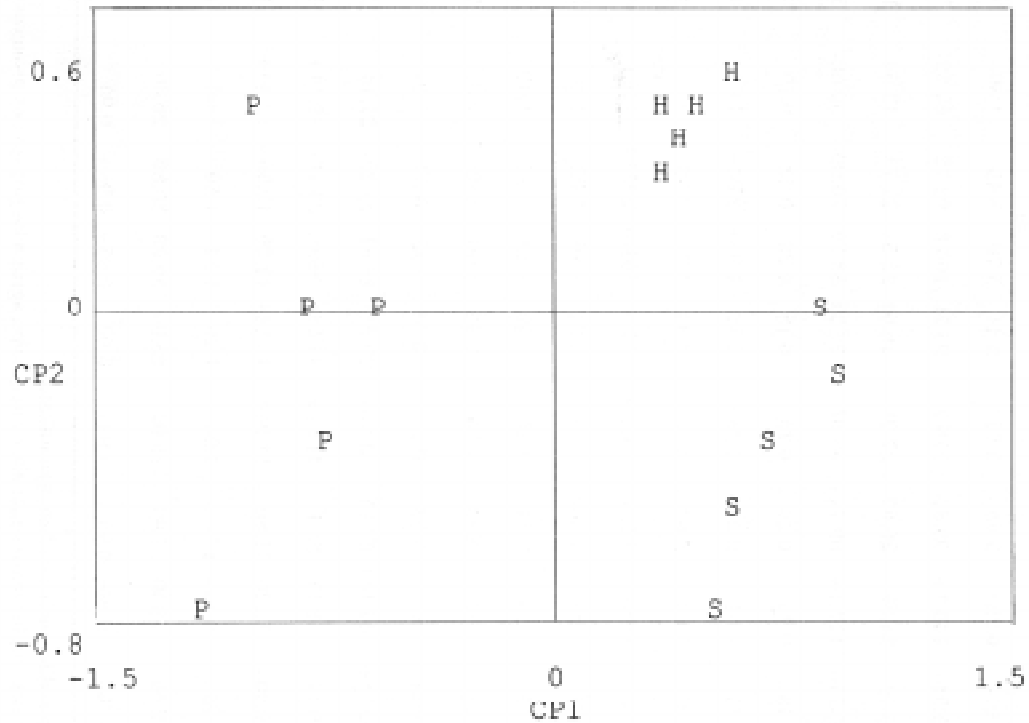


Fig. 3. Ordenación (CP1 y CP2) de 15 individuos de tres poblaciones de *Stenocereus* spp. basada en 44 atributos de su tallo, flor y fruto, sobre los dos primeros componentes principales (H=probable híbrido, S = *S. stellatus*, P=*S. pruinosus*).

Cuadro 4. Promedios de 19 atributos de fruto en nueve variantes de *S. stellatus* de la Mixteca Baja

Variable	Gabriel	Dichi ndoko	Cuyera	Amarilla	Rosa	Roja	Blanca	Lunadita	Morada
Diámetro* polar	6.64+	6.53+	6.25	6.25	6.09	6.03	5.65	5.33-	5.16-
Diámetro* ecuatorial	4.97-	6.38+	5.65	5.85	5.41	5.70	5.45	4.80-	5.11-
Peso* total	85.91-	149.2+	95.81	116.0	93.51	106.8	92.72	64.32-	73.71-
Peso de cáscara	15.14	31.80	26.07	27.91	16.60	22.54	21.73	13.64	15.80
Peso* comestible	70.77-	117.4+	69.74-	88.07	77.30	83.79	70.99-	50.68-	57.50-
Grosor de cáscara	0.18	0.25	0.26	0.25	0.18	0.22	0.22	0.19	0.22
Peso de* semilla	1.53	1.61	2.01+	2.28+	1.42	1.98+	2.04+	1.63	0.77-
Comestible/ cáscara	4.88	3.69	2.68	3.36	4.84	3.77	3.56	3.72	3.64
Número de semillas	951.0-	1288	1256	1679+	1146	1616+	2031+	1164	666-
Peso de 100 semillas	1.62+	1.25	1.60+	1.39	1.24	1.26	1.02-	1.40	1.15
Ancho de semilla	1.55	1.38	1.51	1.45	1.40	1.43	1.38	1.49	1.32
Longitud de semilla	2.18	1.97	2.23	2.06	2.05	1.96	1.93	2.01	1.97
Grosor de* semilla	1.05+	0.80-	0.93	0.93	0.93	0.96	0.89	1.01+	0.85-
Color de* cáscara	39.14+	41.14+	24.15-	29.31-	29.31-	28.81	24.22-	27.14	22.12-
Color de* pulpa	39.14	42.15+	35.15	41.54+	41.54+	39.61	23.10-	42.14+	42.14+
Grados* Brix	10.00-	12.20	11.80	13.24+	13.24+	12.29	12.56+	13.40+	11.50
Longitud de espina	1.20	0.80-	1.70+	1.26	1.26	1.34	1.50	1.00	1.20
Número de aréolas	42.50	18.00	32.00	28.00	28.00	30.00	30.80	26.00	29.00
Redondez*	0.76-	0.98+	0.90	0.94+	0.90	0.95+	0.96+	0.90	0.99-

*Atributos con diferencia estadística significativa

+, -: promedios con los valores más altos y más bajos, agrupados por los dos primeros y últimos rangos de la comparación de medias.

Cuadro 5. Promedios de 44 atributos del tallo, flor y fruto en tres poblaciones de *Stenocereus* spp.

Atributo	<i>S. stellatus</i>	Posible híbrido	<i>S. pruinosus</i>
Tallo			
Número de costillas	9.40 a	7.00 b	5.7 b
Altura de costillas	3.00 b	3.31 b	4.4 a
Distancia entre costillas	4.74 b	5.73 b	8.40 a
Núm. de espinas centrales*	1.80 a	1.00 a	1.80 a
Núm. de espinas radiales	9.00 a	7.00 b	6.54 b
Long. espinas radiales (cm)	1.32 b	1.22 b	2.06 a
Long. espinas centrales(cm)*	2.30 a	2.16 a	2.32 a
Dist. entre areolas (cm)	3.12 a	2.34 b	3.70 a
Long. de areolas (cm)	1.00 a	0.57 b	0.68 b
Ancho de areolas (cm)	0.52 b	0.64 ab	0.76 ab
Diámetro de tallo (cm)*	13.06 a	12.24 a	14.20 a
Grado de ramificación*	3.00 a	2.60 a	2.80 a
Flor			
Longitud de flor (cm)	4.09 c	6.34 b	9.02 a
Longitud tubo floral (cm)	2.69 c	4.08 b	6.76 a
Diám. máx. tubo floral (cm)	2.01 b	2.36 b	3.84 a
Diám. mín. tubo floral (cm)	1.56 a	1.16 b	1.58 a
Long. máx. filamentos (cm)	2.48 c	3.14 b	4.82 a
Longitud de anteras(cm)	0.17 b	0.17 b	0.24 a
Longitud del estilo (cm)	2.66 c	3.46 b	5.52 a
Long. lóbulos estigma (cm)	0.88 b	0.94 ab	1.28 a
Long. cámara nectarial(cm)	0.84 c	1.22 b	1.56 a
Diám. cámara nectarial (cm)*	0.76 a	0.76 a	0.68 a
Diámetro del ovario (cm)*	0.60 a	0.62 a	0.70 a
Longitud del ovario (cm)	0.52 b	1.02 ab	1.32 a
Long. pico superior (cm)	0.21 c	0.70 b	1.12 a
Long. pico inferior (cm)*	0.28 a	0.53 a	0.59 a
Fruto			
Diámetro polar (cm)	5.88 c	6.74 b	8.49 a
Diámetro ecuatorial (cm)	5.34 b	5.20 b	7.22 a
Peso total (g)	93.64 b	92.95 b	248.90 a
Peso de cáscara (g)	21.22 b	16.99 b	42.80 a
Peso comestible (g)	72.42 b	75.95 b	206.08 a
Grosor de cáscara (cm)	0.23 b	0.19 b	0.34 a
Peso de semilla (g)	1.49 b	1.54 b	6.36 a
Relación comestible/cáscara	3.44 b	4.59 a	4.83 a
Número de semillas	1053.40 b	986.20 b	2931.60 a
Peso de cien semillas (mg)	139.00 b	157.00 b	221.00 a
Ancho de semilla (mm)	1.47 b	1.55 b	1.81 a
Longitud de semilla (mm)	2.04 b	2.20 b	2.47 a
Grosor de semilla (mm)	0.93 b	1.07 a	1.11 a
Color de cáscara (Munsell)*	34.38 a	38.93 a	34.82 a
Color de pulpa (Munsell)*	36.93 a	38.94 a	38.53 a
Grados Brix	12.24 ab	10.80 b	13.00 a
Longitud de espina (cm)	0.94 b	1.19 b	1.96 a
Número de aréolas	22.40 c	43.00 b	53.00 a

* atributos estadísticamente semejantes

Cuadro 6. Correlaciones de 44 atributos de tallo, flor y fruto con los tres primeros componentes principales (CP) en tres taxa de *Stenocereus* sp.

Atributo	CP1 (51%)	CP2(15%)	CP3(7%)
Tallo			
Número de costillas	0.80	-0.38	-0.05
Altura de costillas	-0.81	-0.32	-0.03
Distancia entre costillas	-0.85	-0.18	-0.09
Núm. de espinas centrales	-0.13	-0.47	0.07
Núm. de espinas radiales	0.67	-0.08	-0.44
Long. espinas radiales (cm)	-0.07	-0.40	0.70
Long. espinas centrales(cm)	-0.71	-0.11	-0.19
Dist. entre aréolas (cm)	-0.57	-0.70	0.12
Long. de aréolas (cm)	0.38	-0.82	-0.06
Ancho de aréolas (cm)	-0.62	0.43	-0.46
Diámetro de tallo (cm)	-0.42	-0.69	0.21
Grado de ramificación	0.03	-0.32	-0.46
Flor			
Longitud de flor (cm)	-0.95	0.16	0.07
Longitud tubo floral (cm)	-0.94	0.09	0.04
Diám. máx. tubo floral (cm)	-0.95	0.06	-0.17
Diám. mín. tubo floral (cm)	-0.29	-0.66	-0.43
Long. máx. filamentos (cm)	-0.96	0.07	0.08
Longitud de anteras (cm)	-0.75	0.05	-0.36
Longitud del estilo (cm)	-0.95	0.13	-0.01
Long. lóbulos estigma (cm)	-0.69	-0.04	0.11
Long. cámara nectarial (cm)	-0.79	0.26	-0.24
Diám. cámaranectarial (cm)	0.15	-0.26	-0.59
Diámetro del ovario (cm)	-0.32	-0.24	-0.71
Longitud del ovario (cm)	-0.88	0.15	0.26
Long. pico superior (cm)	-0.43	0.40	-0.17
Long. pico inferior (cm)	-0.93	0.10	-0.11
Fruto			
Diámetro polar (cm)	-0.93	0.10	-0.11
Diámetro ecuatorial (cm)	-0.85	-0.27	0.04
Peso total (g)	-0.93	-0.17	-0.04
Peso de cáscara (g)	-0.85	-0.37	-0.11
Peso comestible (g)	-0.94	-0.13	-0.03
Grosor de cáscara (cm)	-0.63	-0.47	0.13
Peso de semilla (g)	-0.90	-0.16	-0.13
Relación comestible/cáscara	-0.58	0.50	0.09
Número de semillas	-0.85	-0.30	-0.23
Peso de cien semillas (mg)	-0.86	0.16	0.10
Ancho de semilla (mm)	-0.88	0.12	0.06
Longitud de semilla (mm)	-0.85	0.23	0.14
Grosor de semilla (mm)	-0.65	0.50	0.36
Color de cáscara (Munsell)	0.18	0.74	-0.16
Color de pulpa (Munsell)	-0.03	0.63	-0.14
Grados Brix	-0.39	-0.80	0.15
Longitud de espina (cm)	-0.83	-0.24	0.31
Número de aréolas	-0.85	0.46	0.09

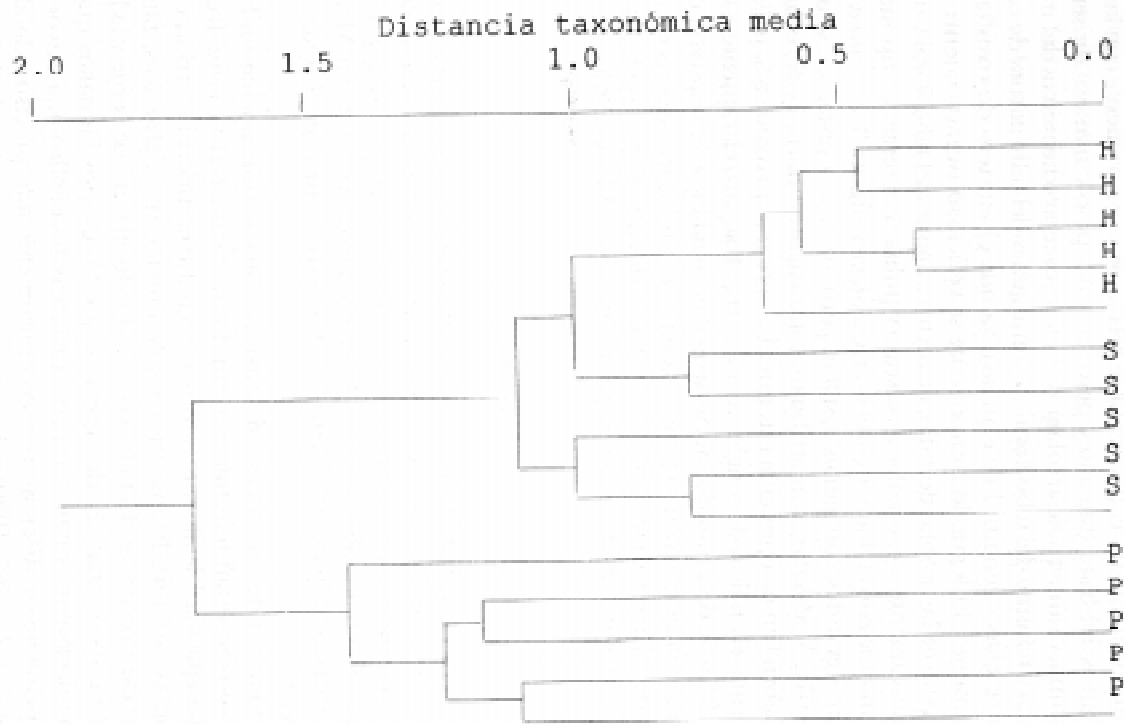


Fig. 4. Clasificación de 15 individuos de tres poblaciones de *Stenocereus* spp. con base en 44 atributos de tallo, flor y fruto (H=probable híbrido, S =*S. stellatus*, P=*S. pruinosus*).

El análisis de CP mostró que los primeros tres CP explican 73% de la variación morfológica de tallos, flores y frutos de *Stenocereus* spp., ubicó la variante San Gabriel en una región intermedia entre *S. pruinosus* y *S. stellatus*, y ordenó las unidades taxonómicas principalmente por ocho (67%) atributos del tallo, 12 (80%) de la flor y 15 (83%) del fruto (Cuadro 6). El primer CP se relacionó negativamente con la mayoría de los atributos del fruto (tamaño y peso, tamaño, peso y número de semillas, longitud de espina, y número de aréolas), de la flor (excepto diámetros del ovario y cámara nectárea y mínimo del tubo floral), y con algunas del tallo (altura de costillas y distancia entre ellas y longitud de espinas), ya que el número de costillas se le asoció positivamente. El segundo componente se relacionó negativamente con el diámetro y tamaño de las aréolas del tallo, diámetro mínimo del tubo floral y dulzura del fruto, y positivamente con el color de cáscara y pulpa. Y el tercer componente se asoció negativamente con el diámetro del ovario. Así, en la figura 3, *S. pruinosus* con flores y frutos más grandes, con menos costillas, pero más altas y distantes, se ordenó hacia la izquierda; *S. stellatus*, con atributos contrastantes, hacia la derecha, y la variante San Gabriel en una posición intermedia, pero más próxima a *S. stellatus*.

De igual forma, el análisis de conglomerados (Fig. 4) separó claramente a los tres taxa. En el nivel 1.0 de disimilitud se agruparon dos individuos de *S. stellatus* con los cinco del híbrido, antes que con su propio taxon y todos los individuos de ambos taxa en el nivel de 1.12; esto reafirma el mayor parecido entre sí que con *S. pruinosus*, hecho que ya había sido notado en la comparación univariable de medias.

Discusión

La clasificación tradicional de *S. stellatus* resultó menos compleja que la de *S. pruinosus* (Cuadro 1). Con base en el conocimiento tradicional, puede decirse que se detectó una variación infraespecífica en cultivo menor de *S. stellatus* respecto a *S. pruinosus*. En contraste, en las poblaciones silvestres y toleradas no ocurre así (Luna-Morales y Aguirre, 2001c), ya que, al parecer, el centro de diversidad natural de *S. pruinosus* no está en la Mixteca.

Aunque la mayoría de los criterios de clasificación y denominación en las dos especies de *Stenocereus* están relacionados con distintas características del fruto, es sorprendente la capacidad de algunos informantes para reconocer las variantes, aun cuando las plantas estén sin frutos; pues, especialmente en *S. pruinosus*, también utilizan algunas características del tallo, como su brillo, el tono de verde y la longitud y densidad de las espinas. Es de esperarse que los grupos humanos que han mantenido una relación más intensa con estas cactáceas desarrollen una mayor capacidad de percepción de sus diferencias y un conocimiento más preciso y detallado. Al respecto, Casas *et al.* (1997, 1999) señalaron la importancia limitada de los caracteres vegetativos en *S. stellatus*, lo cual puede comprenderse, ya que parece que la relación de los mixtecos con *S. pruinosus* ha sido más intensa; además, los citados

autores no incluyeron en sus evaluaciones las localidades de la Mixteca Baja donde actualmente la relación hombre-xoconochtli parece ser más fuerte (Luna M., 1999).

El cuadro 1 evidencia una mayor variación morfológica de *S. pruinosus* bajo cultivo en concordancia con el mayor interés que han tenido los mixtecos en esta especie. En efecto, dada su mayor demanda en el mercado, se ha visto sujeta a una mayor presión selectiva y muchas de sus variantes responden a esta situación. Así y dado que la clasificación tradicional (Cuadro 1, Fig. 1) refleja los intereses de los productores, puede decirse que los principales móviles de selección en *S. pruinosus* se relacionan con: a) el color, el tamaño y la forma del fruto, que atraen la atención del consumidor; b) el tamaño, la densidad y el color de espina, pues las espinas disminuyen el golpeo entre los frutos y aumentan su duración postcosecha al facilitar la aireación entre ellos, duración que también depende del grosor de la cáscara; c) la época de maduración, que posibilita su consumo en distintas temporadas y por más tiempo, así como su venta a mejores precios, y d) sabor, dulzura y cantidad de semillas, caracteres más relacionados propiamente con la calidad del fruto. Lo anterior coincide con los móviles de selección del fruto de *Stenocereus pruinosus* señalados por Luna-Morales y Aguirre (2001c).

Las características asociadas a la vida postcosecha del fruto (peso y grosor de la cáscara y longitud de las espinas) fueron similares entre las variantes de *S. stellatus* (Cuadro 2) en contraste con *S. pruinosus* (Cuadro 3). Esto podría estar relacionado con el hecho de que las variantes de *S. stellatus* producidas en esta región son casi exclusivamente para consumo local y ahí los consumidores prefieren frutos con cáscara delgada y espina corta (Luna-Morales y Aguirre, 2001c). Por otro lado, la variabilidad de colores de la pulpa (Cuadro 4) ha sido una de las características de mayor interés, por su asociación con la época de maduración de los frutos. Al respecto, Casas *et al.* (1997, 1999a) y Luna-Morales y Aguirre (2001c) proponen que en *S. stellatus* se han seleccionado frutos con colores más diversos, distintos al rojo, de mayor tamaño y peso, más dulces, con cáscara delgada y con menor tamaño y densidad de espinas.

La selección por rendimiento de planta no destacó como criterio de clasificación, aunque se identificaron algunas variantes reconocidas por su mayor rendimiento, como San Gabriel y roja china, lo cual sugiere que esta característica también ha sido de interés para los productores. Parece que, principalmente en *S. pruinosus*, el rendimiento por superficie no ha sido una presión selectiva muy importante, pues por un lado, la cantidad de frutos por planta es varias veces menor que en otras especies de *Stenocereus* (Pimienta-Barríos y Nobel, 1994; Luna M., 1999); y por otro, tanto la técnica de cultivo (Luna-Morales y Aguirre, 2001a) como los móviles de selección de esta especie son básicamente mesoamericanos, por lo que, igual que en diversos cultivados mesoamericanos, el individuo y la calidad de los frutos son más importantes que el rendimiento en masa o por superficie (Rojas R., 1985; Luna M., 1993 y 1999). Esta hipótesis, que parcialmente se constata con los datos de componentes del rendimiento que Casas *et al.* (1997) presentan para *S. stellatus*, merece

confrontarse con mayor rigor, controlando lo más posible la validez externa (representatividad) e interna (comparabilidad) del diseño metodológico.

Los atributos de los frutos de cinco variantes de *S. pruinosus* evaluadas en el presente estudio son similares a los consignados por Martínez O. (1993) con una muestra mayor en dos localidades de la Mixteca y en cinco variantes coincidentes, lo que sugiere la estabilidad fenotípica de las variantes de *S. pruinosus*, es decir, que las variantes locales de esta especie parecen tener características fenotípicas estables y reconocidas por la población. En cambio, las dimensiones, el peso y la dulzura del fruto de las variantes roja, blanca y amarilla de *S. stellatus*, estudiadas por Cruz H. (1985) en localidades distintas, son relativamente diferentes a los valores aquí consignados, lo cual conduce a pensar en una mayor variación de esta especie entre localidades y un menor reconocimiento de las variantes por parte de la gente de las diferentes localidades.

Los resultados mostraron que la variante San Gabriel es atípica, y que comparte ciertas características con *S. pruinosus* y *S. stellatus*; una de las características más sobresalientes de esta variante es su fructificación marcada en dos períodos anuales, coincidentes con los de *S. pruinosus* y *S. stellatus*. Lo anterior puede entenderse, al menos parcialmente, si la variante San Gabriel fuera un híbrido interespecífico. Para asegurarse de que una población es híbrida, además del posible fenotipo y genotipo intermedio entre los padres putativos, es conveniente mostrar su fertilidad reducida, su segregación en F₂, su distribución diferencial y su síntesis artificial (Stace, 1984). En el presente trabajo sólo se presentan evidencias fenotípicas del estado intermedio del tallo, la flor y el fruto del híbrido probable entre *S. pruinosus* y *S. stellatus*; por otro lado, se observó su distribución diferencial entre ambientes de cultivo y silvestres, y entre algunas localidades de la Mixteca baja (resultados no mostrados). Puede decirse que en el 68% de los caracteres evaluados el híbrido probable presentó una situación estadísticamente intermedia entre los padres putativos, aunque en más de la mitad de esos atributos fue estadísticamente igual a *S. stellatus*, lo que podría estar ligado al predominio de genes de *S. stellatus* en el taxon híbrido. Cabe señalar que el cruzamiento entre los padres putativos es probable, pues además de presentar autoincompatibilidad y algunos polinizadores comunes (murciélagos, abejas, avispas y colibríes, entre otros) (Casas *et al.*, 1998; 1999b), existe traslapo entre los períodos de floración de las dos especies, durante abril y mayo. Además, el probable híbrido presenta dos picos de fructificación: el de mayo, que coincide con el de *S. pruinosus*, cuando según los informantes, el sabor del fruto es semejante al del otro probable progenitor, y el pico de fructificación de agosto-septiembre, que coincide con el de *S. stellatus*, pero con sabor más parecido al de *S. pruinosus*. Esta información coincide con la consignada por Casas *et al.* (1997).

Conclusiones

Hay una relación entre la clasificación infraespecífica tradicional de variantes cultivadas de *S. pruinosus* y *S. stellatus* y las presiones selectivas culturales, que al ser mayores en *S. pruinosus*, han dado lugar a más de 30 cultivares tradicionales (10 de los cuales son los más comerciales). Éstos se clasifican y caracterizan principalmente por el color, tamaño y forma del fruto, tamaño y color de la espina, tamaño y cantidad de semilla, dulzura, sabor y época de maduración, atributos que en su mayoría se confirman estadísticamente. En cambio, la variación infraespecífica en *S. stellatus* abarca un poco más de 10 variantes o cultivares tradicionales que se caracterizan y clasifican principalmente por su color, época de madurez, tamaño y dulzura, y otros menos evidentes, como el tamaño y cantidad de semillas.

El posible híbrido entre las dos especies de *Stenocereus* muestra una morfología claramente intermedia, aunque es más parecido a *S. stellatus*

Literatura citada

- BRAVO-HOLLIS, H. 1978. *Las cactáceas de México, vol. I*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 p.
- CALLEN, E.O. 1967. Analysis of the Tehuacan coprolites. In: D.S. Byers (ed.) *The prehistory of the Tehuacan valley*. University of Texas Press. Austin, Texas. pp.261-289.
- CASAS, A.; B. PICKERSGILL; J. CABALLERO Y A. VALIENTE-BANUET 1997. Ethnobotany and domestication in xoconochtili, *Stenocereus stellatus* (Cactaceae), in the Tehuacan Valley and La Mixteca Baja, México. *Economic Botany* 51(3):279-292.
- CASAS, A., A. VALIENTE-BANUET Y J. CABALLERO. 1998. La domesticación de *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62:129-140.
- CASAS, A., J. CABALLERO; A. VALIENTE-BANUET; J.A. SORIANO Y P. DÁVILA. 1999a. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central Mexico. *American Journal of Botany* 86 (4):522-533.
- CASAS, A., A. VALIENTE-BANUET; A. ROJAS-MARTÍNEZ Y P. DÁVILA. 1999b. Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in Central Mexico. *American Journal of Botany* 86(4):534-542.
- CASAS, A., J. CABALLERO Y A. VALIENTE-BANUET. 1999c. Use, management and domestication of columnar cacti in south-central Mexico: a historic perspective. *Journal of Ethnobiology* 19(1):71-95.
- CRUZ H., J. P. 1985. *Caracterización del fruto en cuatro tipos de pitaya (Stenocereus stellatus Riccobono)*. Tesis maestría Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México. 89 p.
- FELGER, R. S. Y M. B. MOSER. 1991. *People of the desert and the sea, ethnobotany of the Seri Indians*. The University of Arizona Press, Tucson. 438 p.
- GIBSON, A.C. Y E. HORAK. 1978. Systematics, anatomy and phylogeny of Mexican columnar cacti. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 65(4): 999-1057.
- GIBSON, A.C. 1991. The systematics and evolution of subtribe Stenocereinae. 10. The species group of *Stenocereus griseus*. *Cactus and Succulent Journal* 63 (2):92-99.

- GONZÁLEZ Q., L. 1972. Las cactáceas subfósiles de Tehuacán, Pue. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 17(1):3-15.
- HERNÁNDEZ X., E. 1993. Aspects of plant domestication in Mexico: a personal view. In: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.) *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press, New York, pp. 733- 753.
- HERNÁNDEZ X., E. 1985a. *Agricultura tradicional y desarrollo*. Xolocotzia I. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Estado de México, pp. 419-422.
- HERNÁNDEZ X., E. 1985b. *Exploración etnobotánica y su metodología*. Xolocotzia I. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, pp. 163-188.
- HOPKINS, N.A. 1984. Otomanguean linguistic prehistory. In: J. K. Josserand, M Winter y N. Hopkins (eds.) *Essays in Otomanguean culture history*. Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, pp. 25-64 (Publications in Anthropology 31).
- LUNA M., C. DEL C. 1993. *Cambios en el aprovechamiento de los recursos naturales de la antigua ciénega de Tlaxcala*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 190 p. (Cuadernos Universitarios, serie Agronomía 24).
- LUNA M., C. DEL C. 1999. *Etnobotánica de la pitaya mixteca (Pachycerae)*. Tesis doctorado, Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 158 p.
- LUNA-MORALES, C. DEL C. Y R. AGUIRRE. 2001a. Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *Interciencia* 26 (1): 18-24.
- LUNA-MORALES, C. DEL C. Y R. AGUIRRE. 2001 b. Aspectos estructurales de las comunidades vegetales con pitayos (*Stenocereus* spp.) en la Mixteca Baja y el Valle de Tehuacán. *Revista Geográfica* 30, en prensa.
- LUNA-MORALES, C. DEL C. Y R. AGUIRRE. 2001c. Variación morfológica del fruto y domesticación de *Stenocereus pruinosus* (Otto)Buxb. y *S. stellatus* (Pfeiff.)Riccob. (Cactaceae) en la Mixteca Baja, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, en prensa.
- MARTÍNEZ G., J.C. 1993. *Caracterización de tipos de pitaya Stenocereus griseus Haworth en la Mixteca*. Tesis Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, 125 p.
- MUNSELL. s/f. *The Munsell limit color cascade. Munsell color, Macbeth Color & Photometry Division, Baltimore, Maryland*.
- NABHAM, G. P. 1990. *Gathering the desert*. The University of Arizona Press. Tucson, 209 p.
- PIMIENTA-BARRIOS, E. Y P.S. NOBEL. 1994. Pitaya (*Stenocereus* spp, Cactaceae): an ancient and modern fruit crop of Mexico. *Economic Botany* 48(1):76-83.
- ROHLF, F.J. 1992. *Numerical taxonomy and multivariate analysis system version 1.70*. State University of New York, Stony Brook, New York.
- ROJAS R., T. 1985. *La agricultura indígena en el siglo XVI*. Tesis doctorado, Universidad Iberoamericana, México, D.F. 314 p.
- SÁNCHEZ-MEJORADA R., H. 1982. *Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México*. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Gobierno del Estado de México, Toluca. 48 p.
- SÁNCHEZ-MEJORADA R., H. 1984. Origen, taxonomía y distribución de las pitayas en México. In: *Aprovechamiento del pitayo*. ITAO-Oaxaca, UAM, México, D.F. pp.6-21.
- SAS. 1988. *SAS/STAT user's guide*, release 6.03 edition. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- SMITH, C.E. JR. 1967. Plant remains, In: D.S. Byers (ed.) *The prehistory of the Tehuacan valley, vol.1: Environment and subsistence*. University of Texas Press, Austin, pp. 220-225.

- SMITH, C.E. JR. 1988. Evidencias arqueológicas sobre los inicios de la agricultura en Mesoamérica. In: L. Manzanilla (ed.) *Coloquio V. Gordon Childe*. UNAM, México, D.F., pp.91-112.
- STACE, C.A. 1984. *Plant taxonomy and biosystematics*. Arnold, Baltimore, Maryland. 279p.
- WINTER, M., M. GAXIOLA G. Y G. HERNÁNDEZ D. 1984. Archeology of the Otomanguan Area. In: J. K. Josserand, M. Winter y N. Hopkins (eds.) *Essays in Otomanguan culture history*. Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, pp. 65-107 (Publications in Anthropology 31).
- WINTER, M. 1996. *Cerro de las Minas, arqueología de la Mixteca Baja*. Ediciones de la Casa de la Cultura de Huajuapán, Oaxaca, Oaxaca, 64 p.
- ZEVEN, A.C. Y J.M.J. DE WET. 1982. *Dictionary of cultivated plants and their regions of diversity*. Pudoc, Wageningen. 263 p.

Recibido: 29.I.2001

Aceptado: 3.X.2001

Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae)

SALVADOR ARIAS*
TERESA TERRAZAS**

Resumen. Se estudiaron 17 muestras de *Pachycereus pecten-aboriginum* procedentes del occidente de México con el objetivo de describir la madera y evaluar su variación con relación a la latitud, altitud y altura del individuo. Se encontró que la madera de *P. pecten-aboriginum* corresponde a una madera fibrosa mesomórfica típica de la subfamilia Cactoideae. La longitud de la fibra, el número y diámetro de los vasos tuvieron una asociación significativa con la latitud, mientras que la altura de los radios se correlacionó con la altura del individuo significativamente. La altura del individuo no mostró correlación con los elementos traqueales (fibras y elementos de vaso). La variación anatómica de algunos caracteres de la madera de *P. pecten-aboriginum* evaluados confirman el comportamiento registrado para otras especies de amplia distribución geográfica.

Palabras clave: madera, variación latitudinal, *Pachycereus*, Cactaceae.

Abstract. Seventeen samples of *Pachycereus pecten-aboriginum* wood from western Mexico were studied with the main purpose to describe its wood and to evaluate its variation in relation to latitude, altitude and tree height. We found that *P. pecten-aboriginum* has the typical fibrous and mesomorphic wood of Cactoideae subfamily. Fiber length, vessel number and diameter correlated significantly to latitude, whereas ray height showed a significant correlation with altitude. However, tree height did not show any correlation with tracheary elements (fibers and vessel elements). Moreover, some of the anatomical characters of *P. pecten-aboriginum* wood variation are similar to those found in other species with a wide geographical distribution.

Key words: wood, latitudinal variation, *Pachycereus*, Cactaceae.

*Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal 70-614, 04510 México, D.F.

**Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco, Km.35.5, 56230 Montecillo, Estado de México.

Introducción

La variación en los caracteres anatómicos de la madera es uno de los aspectos mejor estudiados en especies de importancia económica que tienen amplia distribución geográfica (Panshin y de Zeeuw, 1980). Sin embargo, solamente se ha estudiado dicha variación en cerca de 15 familias, reportándose correlación entre latitud, altitud y gradientes climáticos y algunos caracteres del xilema secundario (Chalk, 1983; Noshiro y Baas, 2000). A nivel de especie, la variación en estructuras de la madera ha sido estudiada principalmente en gradientes de latitud y altitud, con respuestas diferentes, desde ausencia de correlación (van der Graaff y Baas, 1974) hasta casos de correlación estadísticamente significativa entre algunos caracteres de la madera y la latitud o altitud. Por ejemplo, Noshiro *et al.* (1994) encuentran que en *Alnus nepalensis* (Betulaceae) hay una correlación entre seis caracteres de la madera con la altitud y el diámetro de los tallos. Baas (1973) reporta que las especies de *Ilex* (Aquifoliaceae) con distribución en altas latitudes presentan madera con mayor número de vasos pero menor diámetro, longitud y número de barras por placa de perforación para los elementos de vaso. Por su parte, van den Oever *et al.* (1981) encuentran para el género *Symplocos* (Symplocaceae) correlación negativa entre el diámetro de vasos, longitud de elementos de vaso, grosor de la pared de la fibra y altura de radios con la latitud. Noshiro y Baas (1998) reportan que en los géneros *Cornus*, *Alangium* y *Garrya* (Cornales) también existe una correlación negativa entre latitud y la longitud de los elementos de vaso y fibras, mientras que la correlación es positiva con el número de vasos.

La madera de la familia Cactaceae se ha caracterizado en por lo menos nueve líneas independientes de evolución donde se sugiere que las maderas fibrosas son las menos derivadas (Mauseth y Plemons-Rodríguez, 1998). La succulencia de los tallos se ha interpretado como factor que amortigua la pérdida de agua y por ello la madera es poco variable y con características mesomórficas (Gibson, 1973). Para la subfamilia Cactoideae, Gibson (1973) indica que dentro de cada tribu y género, las especies más altas y erectas tienden a presentar elementos de vaso más largos y anchos, mientras que en especies de talla corta los elementos de vasos tienden a ser más cortos y angostos.

Entre los taxa más altos y erectos se encuentra el género *Pachycereus*, el cual comprende doce especies arbóreas o arbustivas (Hunt, 1999), que habitan en lugares secos y semihúmedos del noroeste, centro y sur de México, principalmente en los bosques tropicales caducifolios, bosques espinosos y matorrales xerófilos. *Pachycereus pecten-aboriginum* (Engelmann) Britton et Rose tiene la más amplia distribución geográfica abarcando un gradiente latitudinal desde Sonora y Chihuahua (28° N) hasta Chiapas (15° N), por toda la vertiente occidental de México, con diferencias en altitud, precipitación y temperaturas. Además la especie se caracteriza por ser una de las más altas y masivas.

Los estudios sobre madera en *Pachycereus* son escasos (Gibson 1973, Terrazas y Loza-Cornejo, 2001) y los patrones de variación para especies de amplia distribución

de este género se desconocen. Tal es el caso de *Pachycereus pecten-aboriginum*, por lo que la presente contribución describe las características anatómicas de la madera de esta especie y evalúa la variación de sus caracteres cuantitativos de la madera en relación con latitud, altitud y altura de la planta.

Material y métodos

Se colectaron muestras de madera de 17 individuos de *P. pecten-aboriginum* en varios estados del occidente de México: Sonora, Sinaloa, Baja California Sur, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, abarcando una amplitud de aproximadamente 12° de latitud y una diferencia altitudinal de 1410 m (Cuadro 1). Los parámetros latitud, longitud y altitud se obtuvieron con un GPS. Las muestras se obtuvieron del tronco, aproximadamente a 40 cm del suelo, en plantas que habían alcanzado su etapa reproductiva (presencia de ramas fértiles modificadas). La muestra se removió con ayuda de serrote, martillo y cincel, separando la región de la peridermis, córtex, floema y xilema secundario de 3 a 5 cm de ancho. Todos los tejidos se fijaron en el campo en formaldehído-ácido acético-alcohol (Johansen, 1940). Una vez en el laboratorio las porciones correspondientes a la madera se almacenaron en alcohol-glicerina-agua (1:1:1). Se obtuvieron cortes 20 mm de grosor en los planos transversal, tangencial y radial de la madera con un micrótopo de deslizamiento, se tiñeron con safranina y montaron con resina sintética. Para la obtención de material disociado se

Cuadro 1. Datos de procedencia de las muestras estudiadas

Procedencia y número de colecta	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura del individuo (m)
Sonora, Guaymas, <i>Terrazas 415</i>	27°53'29"	110°34'40"	0	5
Sonora, Alamos, <i>Terrazas 419</i>	27°05'34"	108°57'44"	350	5
Sinaloa, Huatabampo, <i>Arias 1321</i>	26°50'15"	109°22'46"	115	2
Sinaloa, El Fuerte, <i>Arias 1322</i>	26°23'33"	108°42'42"	115	8
Sinaloa, Culiacán, <i>Terrazas 322</i>	24°48'15"	107°24'35"	69	4
Baja California Sur, Los Cabos, <i>Terrazas 477</i>	23°02'57"	110°05'36"	30	3
Zacatecas, Juchipila, <i>Terrazas 457</i>	21°21'19"	104°10'37"	1332	5
Zacatecas, Juchipila, <i>Terrazas 456</i>	21°21'18"	104°10'39"	1332	4
Jalisco, Zacoalco, <i>Arias 1394</i>	20°08'16"	103°32'27"	1410	7
Jalisco, Cuautitlán, <i>Arias 1397</i>	19°18'48"	104°37'53"	250	10
Michoacán, Buenavista, <i>Terrazas 466</i>	19°15'33"	102°34'32"	633	3
Jalisco, Cihuatlán, <i>Arias 1396</i>	19°13'36"	104°42'52"	20	5
Guerrero, Tierra Colorada, <i>Terrazas 538</i>	17°10'20"	99°32'12"	700	7
Guerrero, Presa La Venta, <i>Terrazas 540</i>	17°11'15"	99°33'11"	270	8
Guerrero, Presa La Venta, <i>Terrazas 541</i>	17°11'16"	99°32'12"	270	8
Oaxaca, Tehuantepec, <i>Arias 1353</i>	16°21'53"	95°19'37"	80	6
Oaxaca, Sn P. Pochutla, <i>Arias 1351</i>	15°43'47"	96°21'08"	204	5

colocaron pequeñas astillas de madera de la región adyacente al cámbium vascular en frascos con solución Jeffrey en una estufa a 50° C hasta lograr la separación de los elementos traqueales (Johansen, 1940). Se describe la madera de la especie siguiendo las recomendaciones de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA Committee, 1989). Para cada muestra se realizaron 50 mediciones de los caracteres: longitud de elemento de vaso, diámetro tangencial de vaso sin incluir la pared celular, longitud de fibra, diámetro del lumen de la fibra, grosor de la pared de la fibra, altura de radio y anchura de radio en número de células. También se contaron todos los vasos presentes en 50 campos de un mm² siguiendo las recomendaciones de Wheeler (1986). Las mediciones se realizaron usando un analizador de imágenes (Media Cybernetics, 1997) conectado a un microscopio Olympus BX50 y para la longitud de fibras y altura de radios se empleó un microscopio estereoscópico Olympus CO11.

Se obtuvieron los parámetros de la estadística descriptiva (media, error estándar y valores mínimo y máximo) y se presentan en la descripción de la madera. Todas las variables se ajustan a la normal y por ello no se transformaron para realizar los siguientes análisis estadísticos. La posible asociación entre las variables dependientes caracteres anatómicos y las variables ambientales latitud y altitud, así como altura de la planta se detectó a través de un análisis de correlación de Pearson. También se practicaron análisis de regresión lineal múltiple por pasos (stepwise) para examinar la relación entre cuatro caracteres de la madera y las variables independientes al ser incluidas en el modelo con fines de predicción. Todos los análisis se ejecutaron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1989).

Resultados

Descripción de la madera

Anillos de crecimiento inconspicuos (Fig. 1A). Porosidad difusa con 17 a 24 vasos/mm²; vasos solitarios en más del 50% y el resto en hileras radiales de 2 ó 3 vasos o en grupos cortos; los vasos generalmente de forma circular; el diámetro tangencial de 63 a 102 μm con una media de $80 \pm 14 \mu\text{m}$; longitud de los elementos de vaso de 250 a 546 μm con una media de $396 \pm 73 \mu\text{m}$; placa de perforación simple, punteaduras intervasculares escalariformes y pseudoescalariformes (Fig. 1D), punteaduras radiovaso similares a las intervasculares. Fibras del tipo libriforme, septadas y con abundantes punteaduras simples en vista radial (Fig. 1E); longitud de las fibras de 697 a 1302 μm con una media de $1016 \pm 179 \mu\text{m}$, diámetro medio de $29 \pm 3 \mu\text{m}$ y $5.8 \pm 0.80 \mu\text{m}$ de grosor de pared. Parénquima axial paratraqueal escaso con dos células por serie parenquimatosa. Radios heterogéneos, sin radios uniseriados (Fig. 1B); los multiseriados de 5 a 10 células de anchura y altura de 3 a 9 mm con una media de

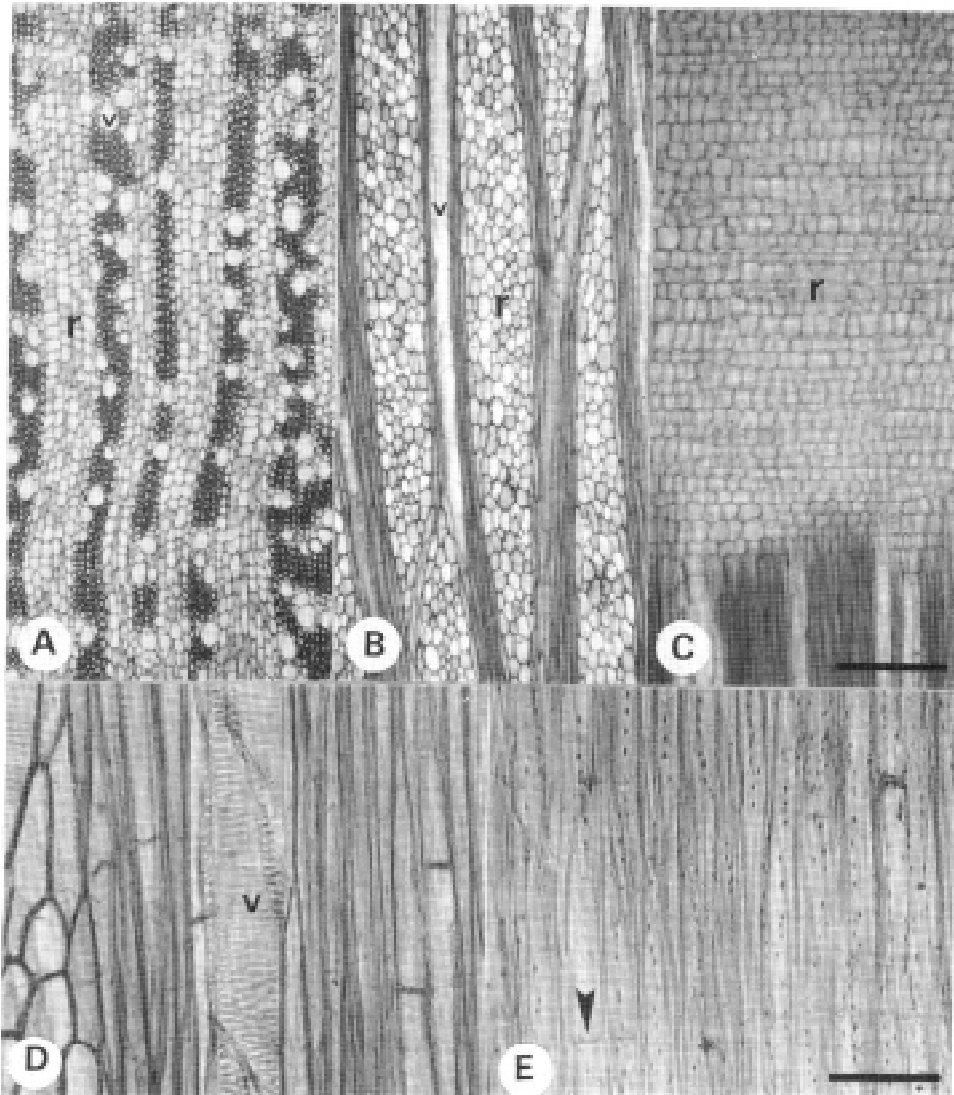


Fig. 1. Madera de *Pachycereus pecten-aboriginum*. A. Porosidad difusa, vasos solitarios y radios abundantes. Corte transversal. B. Radios multiseriados. Corte tangencial. C. Células erectas cortas y cuadradas en radio. Corte radial. D. Elemento de vaso con punteaduras intervasculares escalariformes y fibras septadas. Corte tangencial. E. Fibras septadas con abundantes punteaduras simples. Corte radial. Escala: A, B, C = 500 μm , D, E = 100 μm

5.33 ± 1.37 mm. Radios formados por células erectas cortas y cuadradas (Fig. 1C), ocasionalmente con células perforadas de los radios. Sin inclusiones celulares.

Análisis estadístico

El análisis de correlación entre latitud, longitud, altitud, altura del individuo y los ocho caracteres de la madera analizados mostró que solamente tres se correlacionan significativamente con la latitud, dos con la longitud, uno con la altitud y tres con el tamaño del individuo (Cuadro 2). La longitud del elemento de vaso no se asoció significativamente con ninguno de los tres parámetros estudiados (latitud -0.39, $P > > 0.10$; altitud 0.27 $P > > 0.30$; tamaño -0.39 $P > > 0.13$), ni el diámetro del lumen de la fibra (latitud -0.19, $P > > 0.45$; altitud 0.18, $P > > 0.47$; tamaño 0.11 $P > > 0.66$) ni el grosor de la pared de la fibra (latitud -0.11, $P > > 0.68$; altitud 0.31, $P > > 0.22$; tamaño -0.001 $P > > 0.99$).

Cuadro 2. Coeficiente de asociación entre latitud, altitud y altura del individuo y tres caracteres anatómicos

Carácter anatómico	Latitud	Longitud	Altitud	Altura de la planta
Longitud de fibras	-0.71**	-0.66**	-0.08	0.59*
Vasos/mm ²	0.74***	0.67**	0.15	-0.61**
Diámetro de vasos	-0.48*	-0.43	-0.07	0.43
Altura de radios	-0.20	-0.15	0.41	0.57*
Anchura de radio (células)	-0.18	-0.05	0.60**	-0.20

$P < 0.0006 = ***$, $P < 0.001 = **$, $P < 0.01 = *$

Los análisis de regresión múltiple revelaron que la latitud es la variable que más contribuye a la predicción de la longitud de la fibra y el diámetro y número de vasos en *Pachycereus pecten-aboriginum* como indican los valores de la correlación semiparcial (Cuadro 3). Para las dos primeras variables el tamaño del individuo también se incluye en el modelo, sin embargo su contribución es baja y no significativa (Cuadro 3). El tamaño del individuo es la variable que mejor explica la altura de los radios en esta especie seguida de la altitud (Cuadro 3).

El diámetro y el número de vasos muestran un comportamiento inverso. A medida que disminuye el diámetro con la latitud, el número de los vasos se incrementa en la mayoría de las poblaciones (Fig. 2A, B). Sin embargo, la población de Zacoalco, Jal. que se ubica a la mayor altitud (1410 m) y a los 20° 08' presenta el mayor diámetro de vaso ($102 \pm 3 \mu\text{m}$), pero no el menor número de vasos (9 ± 0.37 vasos/mm²) y la población de Buenavista, Mich. (633 m, 19° 15') que tiene abundantes vasos (11 ± 0.43 vasos/mm²) de diámetro amplio ($91 \pm 3 \mu\text{m}$), no siguen el comportamiento señalado.

Cuadro 3. Regresión múltiple por pasos (stepwise) de las variables latitud, altitud y altura del individuo sobre cuatro caracteres anatómicos de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum*

Variables	B	sr ²	r ²	intercepto
Longitud fibra			0.56	1.389
Latitud	-0.02	0.51**		
Tamaño	0.03	0.06		
Vasos/mm²			0.64	5.15
Latitud	0.24	0.55***		
Tamaño	-0.21	0.05		
Altitud	0.005	0.02		
Diámetro de vaso			0.27	114.7
Latitud	-1.20	0.23*		
Altura de radio			0.57	0.145
Tamaño	0.55	0.32*		
Altitud	0.001	0.21*		
Latitud	0.09	0.04		

B = coeficiente de regresión no estandarizado, sr² = correlación semiparcial. P < 0.0001 = ***, P < 0.001 = **, P < 0.01 = *.

Al comparar el valor promedio y una desviación estándar para diámetro y número de vasos de *P. pecten-aboriginum* entre poblaciones, únicamente dos, Pochutla, Oax. y La Venta, Gro., tienen un menor número de vasos, mientras que Juchipila₁, Zac. es la población con el mayor número de vasos para la especie. Con relación al diámetro de los vasos las poblaciones de la Venta₁, Gro. y Zacoalco, Jal. tienen los más anchos (100 y 102 μm , respectivamente) y los vasos más angostos Juchipila₁ (64 μm).

La longitud de la fibra disminuye conforme se incrementa la latitud (Fig. 3) y la longitud, independientemente de la altura del individuo (Cuadro 3). Por ejemplo, los individuos de Tehuantepec y Pochutla, Oax. con 6 y 5 m de altura, respectivamente (Cuadro 1) tienen fibras mayores a 1.15 mm, mientras que individuos de la misma talla de Sonora (Guaymas) y Sinaloa (Huatabampo, Cuadro 1) presentan fibras menores al milímetro (Fig. 3).

En la madera de *P. pecten-aboriginum* fueron pocos los caracteres anatómicos correlacionados entre sí significativamente. Los coeficientes de correlación más altos se encontraron entre longitud de fibra y longitud de elemento de vaso (0.74, P < <0.0006), seguida del diámetro del lumen y el grosor de la pared de la fibra (-0.67, P < 0.003). Además la longitud de la fibra y el diámetro de los vasos muestran

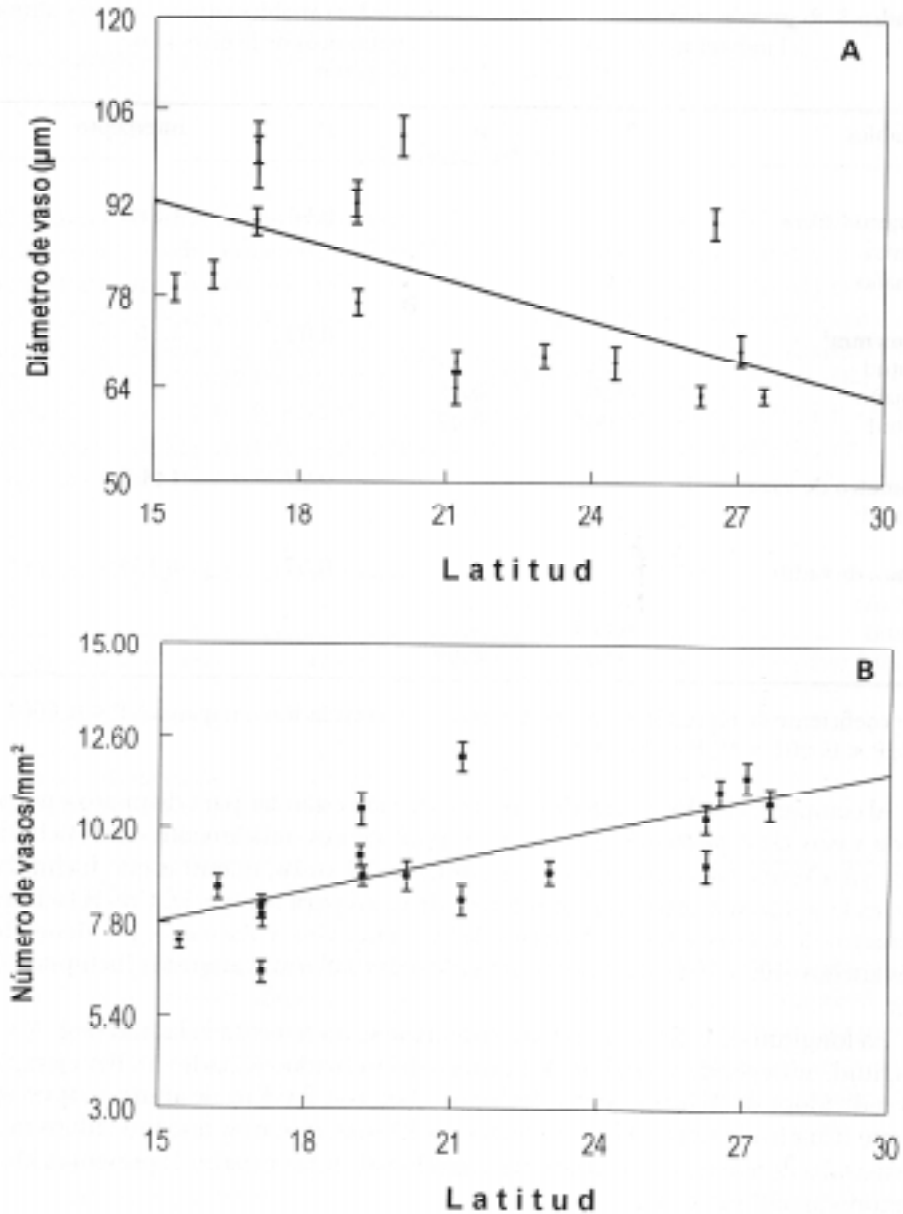


Fig. 2. Tendencia latitudinal en los vasos de *Pachycereus pecten-aboriginum*. A. Diámetro de los vasos $y = 122.3 - 1.996x$, $r^2 = 0.34$, $P < 0.04$. B. Número de vasos/ mm^2 $y = 3.87 + 0.26x$, $r = 0.49$, $P < 0.0006$. Los círculos representan la media de 50 mediciones por individuo y la barra el error estándar.

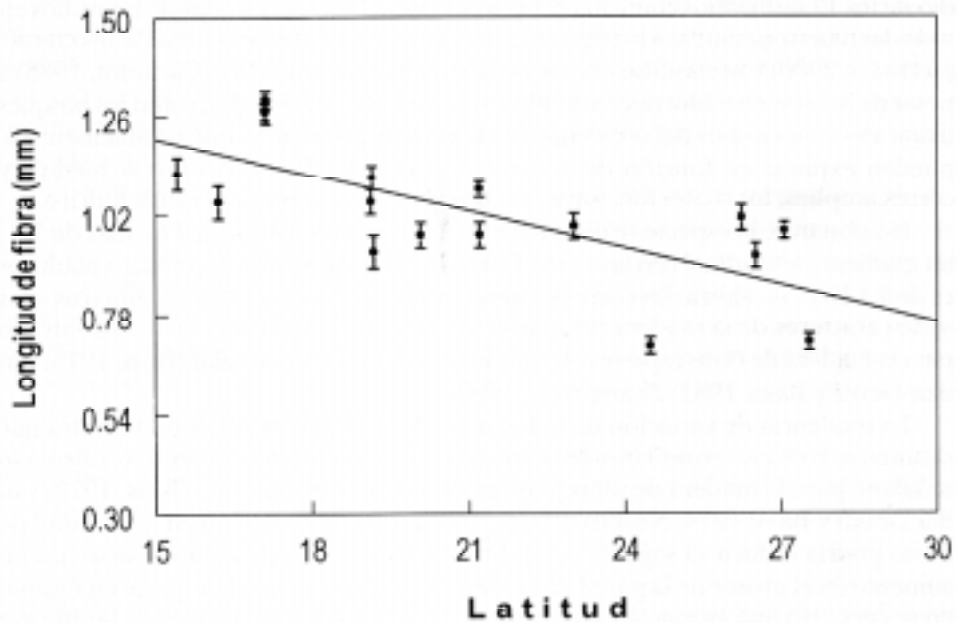


Fig. 3. Tendencia latitudinal en la longitud de la fibra de *Pachycereus pecten-aboriginum*, $y = 1.647 - 0.029x$, $r^2 = 0.51$, $P < 0.001$. Los círculos representan la media de 50 mediciones por individuo y la barra el error estándar.

una correlación moderada pero significativa (0.54, $P < 0.02$). La asociación negativa entre diámetro de los vasos y el número de éstos (-0.38, $P > 0.13$) no es significativa.

Discusión

Los resultados obtenidos se basan en una muestra de 17 individuos procedentes de igual número de localidades, que representan el área total de distribución de *Pachycereus pecten-aboriginum*, excepto en los estados de Chiapas, Colima y Nayarit, y muestran una madera fibrosa típica de especies de Cactoideae con hábito arbóreo, sin extractivos, ni anillos de crecimiento evidentes (Mauseth y Plemons-Rodríguez, 1998). El estudio de los 17 individuos confirma la presencia de células perforadas de los radios en todas las muestras, similar a lo registrado para otros miembros de la tribu Pachycereeae, (Terrazas, 2000) y su clasificación como una madera mesomórfica (Carlquist, 1988) a pesar de habitar en matorrales xerófilos o claramente estacionales, como los bosques tropicales caducifolios del occidente de México, características que posiblemente se pueden explicar en función de la succulencia de los tallos al conservar médula y córtex amplios, los cuales funcionarían como amortiguadores del estrés hídrico.

No obstante, la especie se distribuye en un gradiente latitudinal de más de 12°, un gradiente altitudinal cercano a los 1400 m y el tamaño de los individuos maduros es de 2 a 10 m de altura; las correlaciones significativas entre estos parámetros y los ocho caracteres de la madera resultaron ser escasas, a diferencia de lo encontrado para la madera de otras especies con gradientes de variación similar (Baas, 1973; van den Oever y Baas, 1981; Zhang *et al.*, 1992).

La tendencia de variación de la longitud de la fibra con la latitud muestra que disminuye hacia mayores latitudes y longitudes. Este comportamiento confirma lo señalado para la madera de otras plantas leñosas a nivel genérico (Baas, 1973; van der Graaff y Baas, 1974, Noshiro y Baas, 1998). Una disminución en la longitud de fibras podría reducir el soporte del individuo, lo que debería compensarse con un aumento en el grosor de la pared de la fibra, sin embargo, para la especie en estudio no se encontró una asociación significativa entre el grosor de la pared de las fibras y la latitud ni entre esta variable anatómica y la longitud de la fibra. Posiblemente hay otros factores físicos y bióticos que contribuyen a la variación del grosor de la pared de la fibra en *P. pecten-aboriginum*.

Al igual que para otras especies de amplia distribución geográfica, como tres especies de *Cornus* (Noshiro y Baas, 2000) y *Buddleja cordata* (Aguilar-Rodríguez, en preparación), la longitud del elemento de vaso en *P. pecten-aboriginum* no se asocia significativamente con la latitud, contrario a lo reportado para la madera de *Acacia melanoxydon* (Wilkins y Papassatiropoulos, 1989). Sin embargo, el diámetro de los vasos y su número sí responden significativamente al gradiente latitudinal. Las muestras de madera procedentes del norte del país (Sonora, Sinaloa) tienen vasos angostos más numerosos, mientras que las de Guerrero y Oaxaca presentan vasos más anchos pero

menos numerosos. Este comportamiento es similar a lo que se ha registrado para otras especies y géneros con tallos no suculentos (Baas, 1973; Baas *et al.*, 1988; van den Oever *et al.*, 1981; van der Graaff y Baas, 1974; Zhang *et al.*, 1992). Sin embargo, en las muestras para *P. pecten-aboriginum* hay excepciones a esta asociación, como las de Zacoalco, Jalisco y Buenavista, Michoacán, en las que posiblemente otros factores ambientales estén influyendo en el comportamiento de vasos.

De acuerdo con Gibson (1973) y Gibson y Nobel (1986), en la subfamilia Cactoideae hay una relación alométrica entre el tamaño de los elementos traqueales y la altura del individuo; por ello, las especies más altas presentan elementos de vaso más largos y anchos, mientras que en especies de talla corta los elementos de vaso tienden a ser más cortos y angostos. Sin embargo, para *P. pecten-aboriginum* no se encontró esta tendencia ya que no existe una asociación significativa entre longitud de elemento de vaso y diámetro de vaso con la altura de los individuos de esta especie. Únicamente se encontró asociación de tres caracteres anatómicos con la altura del individuo: número de vasos/mm², altura de radio y longitud de fibra; no obstante, las regresiones múltiples revelaron que sólo el tamaño del individuo explica de manera significativa la altura de los radios.

Una de las características anatómicas de un gran número de cactáceas, incluido *Pachycereus pecten-aboriginum*, es la presencia de parénquima radial como tejido de almacenamiento. Los radios son muy conspicuos y de grandes dimensiones entre las especies columnares, favoreciendo un mayor movimiento radial del agua, al parecer como sucede con *P. pecten-aboriginum*, en la que los radios incrementan la altura conforme se incrementa la del individuo y la altitud, por lo que es probable que esta tendencia sea una respuesta a incrementar el movimiento del agua en lugares donde la presión atmosférica es mayor.

A pesar de que la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* es muy homogénea, el muestreo realizado reveló que tres caracteres cuantitativos (longitud de fibra, diámetro y número de vasos) sí presentan variación latitudinal significativa. No se encontró la relación esperada entre el tamaño de los individuos y los elementos de vaso registrada para diversas especies de Cactoideae. Es posible, que esta correlación sólo sea significativa en aquellos casos donde se comparan especies con diferentes formas de crecimiento. Aunque la especie se distribuye en un gradiente altitudinal amplio, en su mayoría los caracteres anatómicos de la madera no se asocian significativamente con ésta. Los resultados de este trabajo sugieren que otras especies de cactáceas columnares con distribución geográfica más restringida deberán tener una menor variación en los caracteres cuantitativos de su madera.

Agradecimientos. Esta investigación se realizó con el apoyo económico de CONABIO (L074/97) y CONACYT (33064-V). Agradecemos la ayuda en el trabajo de campo a Hilda Arreola-Nava, Susana Gama y Cesario Catalán; en el cuarto oscuro a Héctor Hernández, así como los comentarios de James Mauseth y de un revisor anónimo.

Literatura citada

- BAAS, P. 1973. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. *Blumea* 21: 193-258.
- BAAS, P., P.M. ESSER, M.E.T. VAN DER WESTEN Y M. ZANDEE. 1988. Wood anatomy of Oleaceae. *International Association of Wood Anatomist Bulletin, new series* 9: 103-182.
- CARLQUIST, S. 1988. *Comparative wood anatomy*. Springer-Verlag, Berlin.
- CHALK, K. 1983. The effects of ecological conditions on wood anatomy. In: C.R. Metcalfe y L. Chalk (eds.) *Anatomy of the dicotyledons*, vol. 2. Oxford University Press, Oxford.
- GIBSON, A.C. 1973. Comparative anatomy of secondary xylem in Cactoideae (Cactaceae). *Biotropica* 5: 29-65.
- GIBSON, A.C. Y P.S. NOBEL. 1986. *The Cactus primer*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- HUNT, D. 1999. *Cites Cactaceae checklist*, second edition, Royal Botanic Gardens, Kew & IOS, Milborne Port.
- IAWA COMMITTEE. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *International Association of Wood Anatomist Bulletin new series* 10: 219-332.
- JOHANSEN, D.A. 1940. *Plant microtechnique*. McGraw-Hill, New York.
- MAUSETH, J.D. Y B.J. PLEMONS-RODRIGUEZ. 1998. Evolution of extreme xeromorphic characters in wood: a study of nine evolutionary lines in Cactaceae. *American Journal of Botany* 85: 209-218.
- MEDIA CYBERNETICS. 1997. *Image-Pro Plus, version 3.0 for Windows*, Silver Spring, Maryland.
- NOSHIRO, S. Y P. BAAS. 1998. Systematic wood anatomy of Cornales and allies. *International Association of Wood Anatomist Journal* 19: 43-97.
- NOSHIRO, S. Y P. BAAS. 2000. Latitudinal trends in wood anatomy within species and genera: case study in *Cornus* s.l. (Cornaceae). *American Journal of Botany* 87: 1495-1506.
- NOSHIRO, S., L. JOSHI Y M. SUZUKI. 1994. Ecological wood anatomy of *Alnus nepalensis* (Betulaceae) in East Nepal. *Journal of Plant Research* 107: 399-408.
- PANSHIN, A.J. Y C. DE ZEEUW. 1980. *Textbook of wood technology*, Fourth edition. McGraw-Hill, New York.
- SAS INSTITUTE. 1989. *SAS user's guide statistics*. Cary, North Carolina.
- TERRAZAS, T. 2000. Occurrence of perforated ray cells in genera of Pachycereae (Cactaceae). *International Association of Wood Anatomist Journal* 21: 457-462.
- TERRAZAS, T. Y S. LOZA-CORNEJO. 2001. Phylogenetic relationships of Pachycereae: a cladistic analysis based on anatomical-morphological data. In: T.H. Fleming y A. Valiente-Banuet (eds.) *Evolution, ecology and conservation of columnar cacti and their mutualist*. Arizona University Press (en prensa).
- VAN DEN OEVER, L., P. BAAS Y M. ZANDEE. 1981. Comparative wood anatomy of *Symplocos* and latitude and altitude of provenance. *International Association of Wood Anatomist Bulletin new series* 2: 3-24.
- VAN DER GRAAFF, N.A. Y P. BAAS. 1974. Wood anatomical variation in relation to latitude and altitude. *Blumea* 22: 101-121.
- WHEELER, E.A. 1986. Vessels per square millimetre or vessel groups square millimetre. *International Association of Wood Anatomist Bulletin new series* 7: 73-74.

- WILKINS, A.P. Y S. PAPASSOTRIOU. 1989. Wood anatomical variation of *Acacia melanoxydon* in relation to latitude. *International Association of Wood Anatomist Bulletin new series 10*: 201-207.
- ZHANG, S.-Y., P. BAAS Y M. ZANDEE. 1992. Wood structure of the Rosaceae in relation to ecology, habitat and phenology. *International Association of Wood Anatomist Bulletin new series 13*: 307-349.

Recibido: 2.v.2001

Aceptado: 1.IX.2001

Comparación de la gravedad específica y características anatómicas de la madera de dos comunidades vegetales en México

SILVIA AGUILAR-RODRÍGUEZ*
LEONOR ABUNDIZ-BONILLA*
JOSEFINA BARAJAS-MORALES**

Resumen. Se obtuvo la gravedad específica básica y las siguientes características anatómicas: longitud de los elementos de vaso y fibras, diámetro tangencial y frecuencia de vasos, grosor de pared de fibras y frecuencia de radios de la madera de 29 especies de un bosque mesófilo de montaña del Estado de México y de 26 especies de un matorral xerófilo de Puebla. Las características de ambas comunidades se compararon mediante una prueba t de student, que mostró diferencias significativas en la gravedad específica, longitud de elementos de vaso y de fibras y en el grosor de pared de fibra. También se aplicó un análisis de correlación de Pearson entre la gravedad específica básica y el grosor de pared de fibras en las especies de cada región y se encontró una alta correlación positiva entre ellas. Se hizo evidente que las especies con fibras de paredes gruesas y gravedad específica alta predominan en los ambientes secos, mientras que especies con gravedad específica mediana o baja y fibras con paredes delgadas, dominan en ambientes con mayor humedad. La hipótesis de que la presencia de especies con madera de estructura mesomórfica en ambientes secos es posible gracias a que otros órganos de las plantas, como raíces, cortezas y hojas, actúan amortiguando la influencia del clima sobre la estructura de la madera no se pudo demostrar en las especies estudiadas.

Palabras clave: gravedad específica, madera, bosque mesófilo, matorral xerófilo

Abstract. Basic specific gravity and some microscopic wood characteristics such as length of vessel elements and fibres, tangential diameter of vessels, vessel frequency, ray frequency and fibre wall thickness of 29 species from a cloud forest from the state of Mexico as well as 26 species from a xerophytic region from the state of Puebla were obtained. The characteristics of the woods from

*Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. de los Barrios s/n, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México.

** Instituto de Biología, UNAM, Apartado Postal 70-233, Coyoacán, 04510 México D.F.

the trees of both communities were compared by a student-t test whose results show significant differences in specific gravity, length of vessel elements, fibre length, and fibre wall thickness. A Pearson correlation analysis for the species of each region, was performed, between specific gravity and fibre wall thickness, showing that there is a positive relationship between specific gravity and fibre wall thickness. It is clear that species with thick-walled fibres and high density were predominant in the dry forest, whereas species with medium or low specific gravity and thin-walled fibres were found in places with high humidity. The hypothesis that mesomorphic wood in dry environment is possible due to other structures of the plants, such as roots, barks and specialized leaves that can act like a buffer, softening the climatic influence over the wood structure, could not be demonstrated on the studied species.

Key words: specific gravity, wood, cloud forest, dry forest

Introducción

La gravedad específica básica (GE) o densidad de la madera es una característica que está asociada con el peso y la dureza de la misma. Ha sido definida como la relación entre la masa y la unidad de volumen (Panshin y De Zeeuw, 1970). La gravedad específica depende de la cantidad y tipo de elementos celulares que constituyen a cada especie, pero también se ve influenciada por el grosor de la pared celular de dichos elementos (Kollman y Coté, 1968). Por otra parte la mayoría de las propiedades físicas y mecánicas de la madera como dureza, peso y resistencia al impacto y a la abrasión están directamente relacionadas con la GE; a su vez esta característica se asocia con las condiciones climáticas que prevalecen en la región donde los individuos crecen (Barajas-Morales, 1987).

A pesar de la importancia que tiene la densidad de las especies maderables como indicador de sus características físicas, mecánicas y anatómicas, los trabajos que estudian la relación anatomía-densidad para especies mexicanas son pocos. En 1970 Echenique-Manrique en sus descripciones de 25 maderas tropicales introduce datos de gravedad específica para cada especie estudiada. En 1987 Barajas-Morales compara las tendencias y datos promedio de la GE de dos selvas tropicales de México, encontrando diferencias notables. Algunos trabajos relacionan las características anatómicas de la madera de diferentes comunidades vegetales con el clima (Baas y Carlquist, 1985; Barajas-Morales, 1985; Carlquist y Hoekman, 1985; Fahn *et al.*, 1986; Aguilar-Rodríguez, 1996; Abundiz-Bonilla, 1999), observando que en ambientes secos los elementos de vaso y fibras tienden a ser más cortos que en los ambientes con mayor humedad. Otros trabajos relacionan la GE con diversos ambientes (Williamson, 1984; Barajas-Morales, 1987; Wiemann y Williamson, 1988; 1989); en éstos se ha encontrado que las maderas de ambientes más secos frecuentemente son más pesadas que las de ambientes con mayor humedad. Diferentes estudios asocian las caracterís-

ticas anatómicas de la madera con su GE. Fujiwara (1992) informa que la densidad básica está relacionada tanto con la pared de fibras como con los contenidos de la pared de fibras y de radios. Denne y Hale (1999) observaron que en árboles juveniles el incremento de la densidad está asociado a un incremento simultáneo en el porcentaje de pared de fibras y en el lumen de vasos; mientras que en árboles maduros la densidad decrece como consecuencia de cambios en el porcentaje de la pared de fibras y del lumen de los vasos.

Con el propósito de dar a conocer la GE de las especies arbóreas del área de estudio y sus correlaciones con las características anatómicas de la madera, además de hacer algunas asociaciones con el clima, se compararon dos comunidades vegetales, las cuales contrastan tanto en posición geográfica como en condiciones climáticas (Cuadro 1). Se analizaron tanto la GE como algunos caracteres anatómicos de la madera de las especies de un bosque mesófilo de montaña (Ocuilán, Estado de México) y un matorral xerófilo (Tehuacán, Puebla) en México.

Cuadro 1. Información geográfica y climática de Ocuilán, Edo. de México y Tehuacán, Puebla

	Ocuilán	Tehuacán
Posición geográfica	Latitud N 19° 02' Latitud N 17° 48'	Longitud O 99° 20' Longitud O 97° 03'
Altitud	2200-2300 m	650-1500 m
Temperatura media anual	17.5 °C	18-22 °C
Precipitación media anual	1200-1700 mm	301-478 mm
Clima	Templado subhúmedo Cwbg	Semiárido BSo y BS1

Materiales y métodos

Se estudiaron 29 especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña y 26 del matorral xerófilo. Se obtuvo la altura de los individuos, así como el diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) del tronco principal (Cuadros 2 y 3), tomándose de dicho tronco una rodaja de madera, de 5 cm de longitud. De ésta se obtuvieron cubos de madera de 2 cm de lado que fueron secados a 105 °C por 24 horas; una vez en condición anhidra se pesaron y se determinó su volumen por desplazamiento de agua. La GE (Cuadro 2) se consideró de acuerdo con lo propuesto por la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA, 1989) de la siguiente manera: baja < de 0.40, mediana de 0.40 – 0.75 y alta de 0.76 en adelante.

A partir de muestras cúbicas obtenidas del tronco de cada especie y utilizando un micrótopo de deslizamiento, se obtuvieron cortes de 20-30 mm de grosor con los que se elaboraron laminillas fijas de acuerdo a la microtecnia convencional (Johansen, 1940). También se elaboró material disociado de la madera, en el que se efectuaron

Cuadro 2. Altura (A), diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) y gravedad específica (GE) de las especies del bosque mesófilo de montaña

Especies	A (m)	d.a.p. (cm)	GE
ARALIACEAE			
<i>Oreopanax peltatus</i> Linden ex Regel	26	23	0.82
<i>Oreopanax xalapensis</i> (H.B.K.) Decne. et Planchon	11	24	0.66
BETULACEAE			
<i>Alnus acuminata</i> H.B.K. subsp. <i>arguta</i> (Schlechtendal) Furlow	12	32	0.40
<i>Carpinus caroliniana</i> Walt.	12	32	0.74
CELASTRACEAE			
<i>Perrottetia longistylis</i> Rose	30	30	0.44
<i>Zinowiewia concinna</i> Lundell	20	42	0.63
CLETHRACEAE			
<i>Clethra mexicana</i> DC.	6	25	0.56
CORNACEAE			
<i>Cornus disciflora</i> DC.	15	20	0.68
DILLENACEAE			
<i>Saurauia reticulata</i> Rose	15	20	0.50
ERICACEAE			
<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	10	21	0.75
<i>Arctostaphylos discolor</i> (Hook.) DC.	5	15	0.83
FLACOURTIACEAE			
<i>Xylosma flexuosum</i> (H.B.K.) Hemsl.	4	12	0.73
GARRYACEAE			
<i>Garrya laurifolia</i> Hartw.	10	31	0.79
LOGANIACEAE			
<i>Buddleia americana</i> L.	10	21	0.75
<i>Buddleia parviflora</i> H.B.K.	5	14	0.72
MYRSINACEAE			
<i>Ardisia compressa</i> H.B.K.	9	28	.65
<i>Rapanea juergensenii</i> Mez	14	27	0.76
OLEACEAE			
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig) Lingelsh.	20	27	0.67

Cuadro 2, continuación

Especies	A (m)	d.a.p. GE (cm)	
ONAGRACEAE			
<i>Fuchsia arborescens</i> Sims	10	11	0.56
ROSACEAE			
<i>Crataegus pubescens</i> (H.B.K.) Steud.	9	16	0.64
<i>Prunus brachybotrya</i> Zucc.	15	23	0.79
SABIACEAE			
<i>Meliosma dentata</i> (Liebm.) Urban	22	45	0.57
SALICACEAE			
<i>Salix bonplandiana</i> H.B.K.	12	31	0.56
<i>Salix paradoxa</i> H.B.K.	8	19	0.59
STYRACACEAE			
<i>Styrax argenteus</i> C. Presl var. <i>ramirezii</i> (Greenm.) Gonsoulin	6	15	0.53
SYMPLOCACEAE			
<i>Symplocos citrea</i> Lex.	12	70	0.50
THEACEAE			
<i>Cleyera integrifolia</i> (Benth.) Choisy	9	22	0.64
<i>Ternstroemia pringlei</i> (Rose) Standley	12	20	0.63
TILIACEAE			
<i>Tilia houghii</i> Rose	17	24	0.40

Cuadro 3. Altura (A) y diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) de las especies del matorral xerófilo

Especies	A (m)	d.a.p. (cm)
ANACARDIACEAE		
<i>Cyrtocarpa procera</i> Kunth	6	26
<i>Pistacia mexicana</i> Kunth	5	18
BOMBACACEAE		
<i>Ceiba parviflora</i> Rose	5	14
BORAGINACEAE		
<i>Ehretia latifolia</i> DC.	5	27
BURSERACEAE		
<i>Bursera copallifera</i> (Sessé et Moc.) Bullock	5	14
<i>Bursera morelensis</i> Ramírez	7	36
COMPOSITAE		
<i>Gochnatia purpusii</i> Brandegee	2	5
ERYTHROXYLACEAE		
<i>Erythroxylum compactum</i> Rose	3	6
EUPHORBIACEAE		
<i>Euphorbia schlechtendalii</i> Boiss.	4	10
FOUQUIERIACEAE		
<i>Fouquieria formosa</i> Kunth	6	21
GARRYACEAE		
<i>Garrya ovata</i> Benth.	3.5	8
KRAMERIACEAE		
<i>Krameria cytisoides</i> Cav.	2	3
LEGUMINOSAE		
<i>Acacia bilimekii</i> Macbr.	7	26
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz et Pav.) Harms	6	24
<i>Conzattia multiflora</i> (Robinson) Standl.	7	21
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	6	10
<i>Havardia acatlensis</i> (Benth.) Britton et Rose	3	10
<i>Leucaena esculenta</i> (Mociño et Sessé ex DC.) Benth.	6	12
<i>Lonchocarpus oaxacensis</i> Pittier	6	16
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. et Bonpl. ex Willd.)	5	27
<i>Senna galeottiana</i> (Martens) Irwin et Barneby	2	11

Cuadro 3, continuación

Especies	A (m)	d.a.p. (cm)
MELIACEAE		
<i>Cedrela salvadorensis</i> Standl.	8	25
ROSACEAE		
<i>Cercocarpus fothergilloides</i> Kunth	6	4.5
RUBIACEAE		
<i>Coutaportla ghiesbreghtiana</i> (Baillo) Urban	5	7
RUTACEAE		
<i>Ptelea trifoliata</i> L.	3	6
SAPOTACEAE		
<i>Bumelia salicifolia</i> (L.) Sw.	5	6.5

25 mediciones de longitud de fibras y elementos de vaso obteniéndose los datos promedio para cada tipo celular; sus longitudes se calificaron como cortos, medianos y largos de acuerdo a IAWA (1937). En las preparaciones fijas se efectuaron las mediciones de diámetro de elementos de vaso, poros/mm², ancho y número de radios por mm, clasificándolos de acuerdo con la terminología y nomenclatura propuesta por IAWA (1989). El porcentaje de grosor de pared de fibra se obtuvo de acuerdo con la siguiente relación:

$$\text{porcentaje grosor de pared} = \frac{(\text{grosor de pared} \times 2) (100 \text{ porcentaje})}{\text{diámetro total de fibra}}$$

Todos los valores obtenidos se sometieron a una prueba de t student para observar y confirmar las diferencias significativas entre ambas comunidades; mediante una prueba de correlación de Pearson se relacionaron los diferentes elementos celulares con la GE.

Resultados

Se analizaron estadísticamente la GE, la longitud de elementos de vasos, el diámetro tangencial de vasos, poros por mm², longitud de fibras, porcentaje de grosor de pared de fibras y número de radios/mm para ambas comunidades.

Las especies del bosque mesófilo presentaron una amplia gama de densidades, pero se observó una mayor tendencia a presentar maderas con GE mediana (76 % de las especies), mientras que en los árboles del matorral xerófilo se formaron dos grupos bien definidos, el que tuvo GE mediana (48 %) y el que la presentó alta (52 %), siendo evidente la ausencia de especies con GE baja (Fig. 1). Los resultados de la prueba de t student mostraron diferencias significativas del 95 % ($P = 0.023$) entre los valores promedio de gravedad específica de las especies de ambas comunidades.

Al realizarse la comparación de la longitud de los elementos de vaso y de fibras, se observó que ambos tipos celulares son más cortos en las especies del matorral xerófilo que en las del bosque mesófilo; lo que se pudo constatar en la prueba de t student, con 97 % de significancia ($P < 0.001$) para estos dos caracteres (Figs. 2 y 3).

En el matorral xerófilo el promedio de diámetro de vaso fluctuó entre 44 y 269 μm , mientras que en el bosque mesófilo varió entre 51 y 143 μm ; sin embargo, las diferencias en el diámetro de los vasos de las especies de ambas comunidades no fueron estadísticamente significativas.

Las especies del matorral xerófilo tendieron a presentar la pared de fibra más gruesa que las del bosque mesófilo con un 97 % de confianza ($P < 0.001$) (Fig. 4).

El análisis de correlación fue significativo exclusivamente en el caso de la GE con el porcentaje de grosor de pared de fibras, observándose una correlación positiva en ambas comunidades, siendo para el bosque mesófilo de 0.377 ($P = 0.050$) (Fig. 5) y para el matorral xerófilo de 0.828 ($P = 1 \times 10^{-6}$) (Fig. 6).

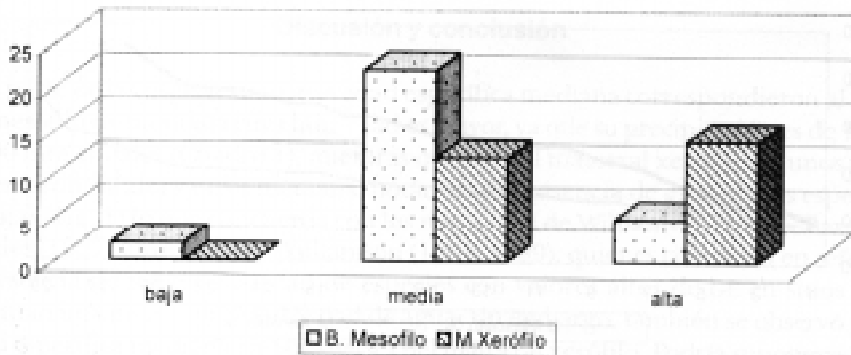


Fig. 1. Distribución de la gravedad específica de las especies de bosque mesófilo y matorral xerófilo. Las especies del matorral xerófilo muestran gravedad específica más alta.

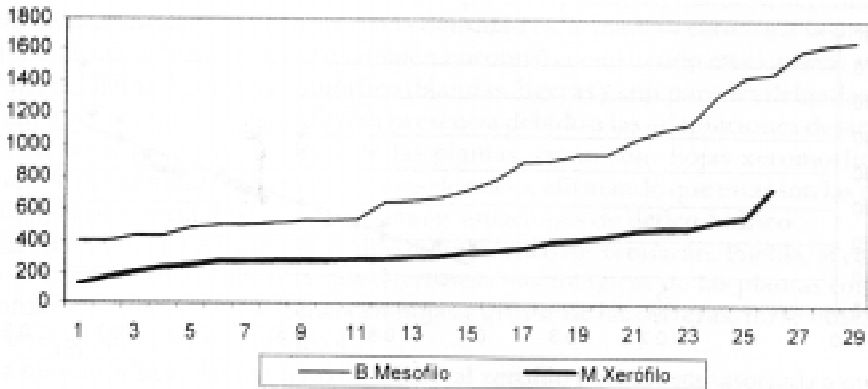


Fig. 2. Distribución de la longitud de elementos de vaso de las especies de bosque mesófilo y matorral xerófilo. Las especies del bosque mesófilo presentan los elementos más largos.

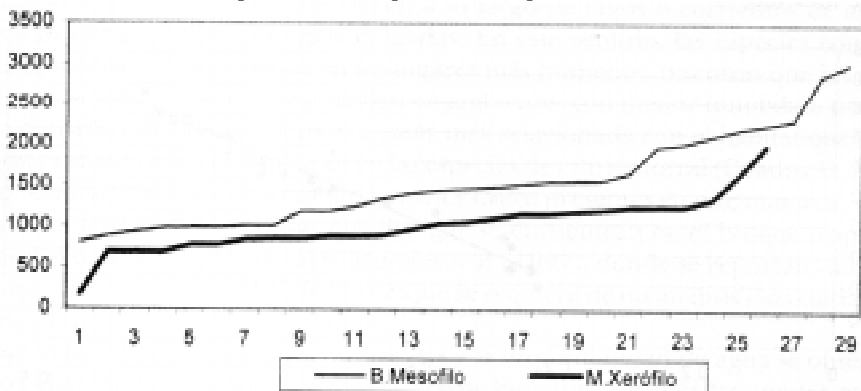


Fig. 3. Distribución de longitud de fibras de las especies de bosque mesófilo y matorral xerófilo. Las especies del bosque mesófilo presentan fibras más largas.

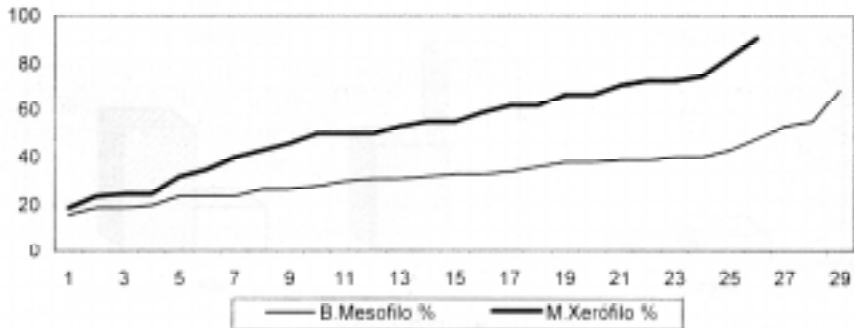


Fig. 4. Distribución del grosor de pared de fibras de las especies de bosque mesófilo y matorral xerófilo. Las especies del matorral xerófilo presentan fibras con paredes más gruesas.

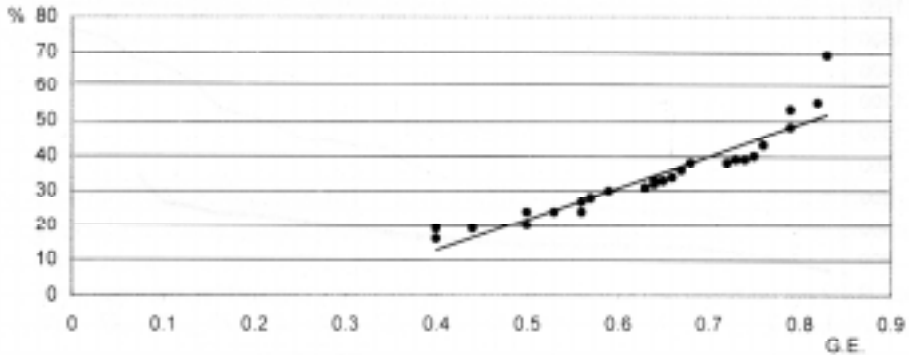


Fig. 5. Correlación entre gravedad específica y grosor de pared de fibras en las especies del bosque mesófilo.

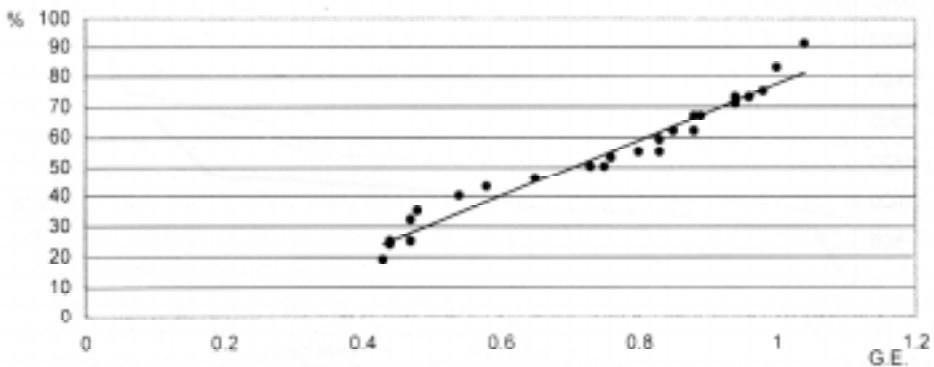


Fig. 6. Correlación entre gravedad específica y grosor de pared de fibras en las especies del matorral xerófilo.

Discusión y conclusión

Gran parte de las especies con gravedad específica mediana correspondieron al bosque mesófilo de montaña cuya humedad es mayor, ya que su precipitación es de 1200 a 1700 mm anuales (Cuadro 1), mientras que para el matorral xerófilo algunos taxa presentaron GE alta y otros mediana, notándose la ausencia de gravedades específicas bajas (Fig. 1) lo que concuerda con los resultados de Williamson (1984), Barajas-Morales (1987) y Wiemann y Williamson (1988, 1989), quienes coinciden en señalar la presencia de mayor cantidad de especies con valores altos de GE en sitios que presentan una menor disponibilidad de agua; sin embargo, también se observó gravedad específica mediana en 10 especies del matorral xerófilo. Podría suponerse que en esta zona de menor humedad, en donde la precipitación es de 400 mm anuales, la tendencia fuera únicamente hacia la presencia de especies con gravedad específica alta. A este respecto Lindorf (1994) encontró que las especies del matorral xerófilo de Venezuela presentaban un aumento en la densidad de la madera conforme la disponibilidad de agua disminuía, pero también encontró coexistiendo en el mismo sitio maderas del llamado tipo mesomórfico (blandas, ligeras y con paredes delgadas en los elementos traqueales) y justificó su presencia debido a las adaptaciones desarrolladas en otras partes del cuerpo de las plantas, como son: hojas xeromórficas, succulencia, deciduidad o diversos sistemas de raíces, afirmando que estas son las que permiten la presencia de dichas especies en situaciones de déficit hídrico.

Sin embargo, en las especies de tipo mesomórfico de Tehuacán, Puebla, al comparar la GE de la madera con las características morfológicas de las plantas como: microfilia, cantidad de pubescencia en hojas y grosor de las cortezas, no se observó alguna relación evidente (Cuadro 4).

La mesomorfia en las maderas de matorral xerófilo podría estar asociada a otros factores como lo afirman Fahn *et al.* (1986) quienes encuentran que en zonas áridas existe un alto porcentaje de especies con paredes de fibras gruesas pero en estos mismos sitios los individuos que crecen a lo largo de lagos o corrientes de agua presentan fibras con paredes más delgadas. En este sentido, las especies con GE mediana fueron más frecuentes en los lugares más húmedos, mientras que las que presentaron valores altos se desarrollan en ambientes con menor humedad, por lo que la densidad de la madera parece estar más relacionada con el hábitat que con cualquier característica morfológica en las especies de este matorral (Cuadro 4). Esto se hace evidente en los individuos de *Bursera* y *Ceiba*, presentes en este matorral, que mostraron densidades más altas que los que se encuentran en el bosque tropical perennifolio (Kribs, 1968; Barajas-Morales *et al.*, 1997), donde se reportan valores de GE que fluctúan entre 0.18 y 0.35, aunque se requiere de un análisis más cuidadoso al respecto.

Con relación a los elementos traqueales y la disponibilidad de agua se observó que los elementos de vaso y fibras con mayor longitud son más frecuentes en el bosque mesófilo de montaña cuya humedad es elevada, mientras que elementos más cortos se presentaron en el matorral xerófilo donde hay menor humedad. Es un

hecho actualmente aceptado que el tamaño de los elementos de vaso y fibras se ve influenciado por la disponibilidad de agua. Baas *et al.* (1983), Carlquist y Hoekman (1985) y Fahn *et al.* (1986) afirman que existe una relación positiva entre el tamaño de los elementos traqueales y la humedad. Dichas tendencias son evidentes en las especies de las dos comunidades estudiadas.

Respecto a la relación entre grosor de pared de fibras y los diferentes ambientes, se observaron paredes más gruesas en el matorral xerófilo que en el bosque mesófilo. En este sentido Fritts (1976) afirma que uno de los efectos más notables en los elementos celulares de la madera, cuando hay déficit de agua, es el incremento en el grosor de la pared de los mismos, lo cual también coincide con las observaciones de Barajas-Morales (1985) y Fahn *et al.* (1986). Al respecto, Carlquist (1975) menciona que la pared gruesa de los elementos imperforados puede explicar la resistencia mecánica de la madera en algunas especies y otros autores como Barajas-Morales (1987), Fujiwara (1992) y Denne y Hale (1999), agregan que dicho grosor debe manifestarse en la densidad, pues generalmente las paredes gruesas de las fibras se asocian con ambientes secos, mientras que las paredes delgadas son más comunes en zonas de mayor humedad. Tal información concuerda con los datos obtenidos en este trabajo, ya que el grosor de la pared de las fibras en ambas comunidades mostró diferencias significativas, presentándose las paredes más gruesas en el sitio más seco.

Los resultados de esta investigación entre la relación de GE y el grosor de la pared de fibras, coinciden con los obtenidos por Fujiwara (1992) y Denne y Hale (1999), también se observaron semejanzas entre los resultados que obtuvieron Williamson (1984), Barajas-Morales (1987) y Wiemann y Williamson (1988, 1989) respecto a la expresión de la GE en las diferentes condiciones de humedad.

Tanto en el matorral xerófilo como en el bosque mesófilo de montaña, la GE está asociada con el grosor de la pared de las fibras. GE altas se correlacionaron positivamente con elementos celulares de paredes gruesas y tienden a presentarse en un mayor número de especies de ambientes secos, como se observó en este matorral xerófilo; mientras que GE medianas o bajas se relacionaron con elementos celulares de paredes delgadas que son más frecuentes en ambientes húmedos, característicos de los bosques mesófilos de montaña.

En conclusión, este trabajo apoya las ideas de los diversos autores que han dado a conocer de manera detallada la gran correlación que existe entre la GE, el clima y la estructura de la madera y muy especialmente en lo referente a la alta correlación que se presenta entre la densidad o gravedad específica de la madera y la humedad disponible en el medio ambiente.

Cuadro 4. Comparación de las características morfológicas de las especies con gravedad específica mediana y alta en el matorral xerófilo

	G E	Hojas		Corteza	Humedad	
		Tipo	Pubescencia			Tamaño (mm)
G E mediana						
<i>Cyrtocarpa procerca</i>	0.48	Compuestas	presente	3.3	Gruesa	+
<i>Ceiba parvifolia</i>	0.54	Compuestas	presente	4.0	Mediana	+
<i>Bursera copalifera</i>	0.47	Compuestas	presente	1.7	Delgada	+
<i>Bursera morelensis</i>	0.43	Compuestas	ausente	0.9	Gruesa	+
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	0.44	Simples	ausente	3.5	Delgada	+
<i>Fouquieria formosa</i>	0.44	Simples	ausente	1.5	Gruesa	+
<i>Acacia bilimekii</i>	0.73	Compuestas	ausente	0.5	Mediana	+
<i>Cercidium praecox</i>	0.75	Compuestas	presente	0.5	Delgada	+
<i>Conzattia multiflora</i>	0.47	Compuestas	presente	1.5	Delgada	+
<i>Leucaena esculenta</i>	0.75	Compuestas	ausente	0.7	Delgada	-
<i>Prosopis laevigata</i>	0.65	Compuestas	ausente	1.7	Gruesa	-
<i>Cedrela salvadorensis</i>	0.58	Simples	presente	2.6	Gruesa	+
G E alta						
<i>Pistacia mexicana</i>	0.83	compuestas	presente	1.2	Mediana	-
<i>Ehretia latifolia</i>	0.76	Simples	presente	7.1	Mediana	-
<i>Gochnatia purpusii</i>	1.04	Simples	presente	4.4	Mediana	-
<i>Erythroxylum compactum</i>	1.0	Simples	ausente	0.9	delgada	-
<i>Garya ovata</i>	0.96	Simples	presente	5.0	delgada	-
<i>Krameria cytisoides</i>	0.88	Compuestas	presente	0.8	delgada	-
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	0.80	Compuestas	presente	0.7	delgada	-
<i>Havardia acatlensis</i>	0.98	Compuestas	presente	0.8	delgada	-
<i>Lonchocarpus oaxacensis</i>	0.94	Compuestas	presente	4.2	mediana	+
<i>Senna galeottiana</i>	0.83	Compuestas	presente	0.8	delgada	-
<i>Cercocarpus fothergilloides</i>	0.88	Simple	presente	6.5	mediana	-
<i>Coutaportia ghiesbreghtiana</i>	0.94	Simple	ausente	2.6	delgada	-
<i>Ptelea trifoliata</i>	0.85	Compuestas	presente	3.2	delgada	-
<i>Bumelia salicifolia</i>	0.89	Simple	presente	7.7	delgada	-

Literatura citada

- ABUNDIZ-BONILLA, L. A. M. 1999. *Anatomía de la madera en árboles y arbustos del matorral xerófilo de Tehuacán, Puebla*. Tesis de maestría, Biología Vegetal. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. 143 p.
- AGUILAR-RODRÍGUEZ, S. 1996. *Descripción de la madera y anatomía ecológica de las especies arbóreas de un bosque mesófilo de México*. Tesis de maestría, Biología Vegetal. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 163 p.
- BAAS, P., E. WERKER Y A. FAHN. 1983. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Bulletin n. s. 4*: 141-159.
- BAAS, P. Y S. CARLQUIST. 1985. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of Southern California and Israel. *IAWA Bulletin n.s. 6(4)*: 349-353.
- BARAJAS-MORALES, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin n.s. 6(4)*: 355-364.
- BARAJAS-MORALES, J. 1987. Wood specific gravity in species from two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin n. s. 8(2)*: 143-148.
- BARAJAS-MORALES, J., A. G. ÁNGELES Y P. SOLÍS S. 1997. *Anatomía de maderas de México: especies de una selva alta perennifolia I*. Publicaciones Especiales Instituto de Biología, UNAM, México, D.F. 126 p.
- CARLQUIST, S. 1975. *Ecological strategies of xylem evolution*. University of California Press, Los Angeles. 259 p.
- CARLQUIST, S. Y D. HOEKMAN. 1985. Ecological wood anatomy of the woody Southern California flora. *IAWA Bulletin n.s. 6(4)*: 319-347.
- DENNE, M. P. Y M. D. HALE. 1999. Cell wall and lumen percentages in relation to wood density of *Nothofagus nervosa*. *IAWA Journal 20 (1)*: 23-36.
- ECHENIQUE-MANRIQUE, R. 1970. Descripción, características y usos de 25 maderas tropicales mexicanas. Biblioteca del Constructor 5. Camara Nacional de la Industria de la Construcción. 237 p. (Serie Maderas de México)
- FAHN, A., E. WERKER Y P. BAAS. 1986. *Wood anatomy and identification of trees and shrubs from Israel and adjacent regions*. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem. 212 p.
- FRITTS, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, New York. 567 p.
- FUJIWARA, S. 1992. Anatomy and properties of Japanese hardwoods II. Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. *IAWA Bulletin n. s. 13(4)*: 397-402.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. E. A. Wheeler, P. Baas y P.E. Gasson (eds.) *IAWA Bulletin n.s. 10(3)*: 219-332.
- IAWA. 1937. Committee on the standardization of terms of cell size. Standard terms of length of vessel members and wood fiber. *Tropical Woods 51*:21.
- JOHANSEN, D.A. 1940. *Plant microtechnique*. McGraw Hill, New York. 523 p.
- KOLLMANN, F. P. F. Y A. W. COTÉ. 1968. *Principles of wood science and technology*. Springer Verlag, Berlin. 592 p.
- KRIBS, D. A. 1968. *Commercial foreign woods on the American market*. Dover, New York. 241 p.
- LINDORF, H. 1994. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. *IAWA Journal 15(4)*: 361-376.
- PANSHIN, A. J. Y C. DE ZEEUW. 1980. *Textbook of wood technology. I. Structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada*, fourth edition. McGraw-Hill, New York. 722 p.

- WIEMANN, M. C. y G. B. WILLIAMSON. 1988. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. *Wood and Fiber Science* 20(3): 344-349.
- WIEMANN, M. C. y G. B. WILLIAMSON 1989. Wood specific gravity gradients in tropical dry and montane rain forest trees. *American Journal of Botany* 76(6): 924-928.
- WILLIAMSON, G. B. 1984. Gradients of wood specific gravity of trees. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 111(1): 51-55.

Recibido: 14.iii.2001

Aceptado: 31.x.2001

Inspección para aflatoxinas en el maíz almacenado o transportado en el estado de Sonora, 1998: Informe técnico

GENOVEVA GARCÍA AGUIRRE *
REBECA MARTÍNEZ FLORES*
JOSÉ MELGAREJO HERNÁNDEZ**

Resumen. Se analizaron 133 muestras representativas del maíz almacenado y distribuido en el estado de Sonora en 1998 para determinar presencia de aflatoxinas. Todas las muestras fueron de maíz blanco nacional, obtenidas de diferentes almacenamientos o transportes. La mayor parte de las muestras pertenecían a la cosecha 97/98, pero hubo algunas de las cosechas 96/97 y 98/98. En una tercera parte de las muestras se determinaron aflatoxinas; sin embargo, los niveles de contaminación estuvieron muy por abajo de los aceptados para la comercialización del grano.

Palabras clave: maíz, contaminación, aflatoxinas, almacenamientos, transportes, Sonora.

Abstract. One hundred thirty-three corn samples representative of the corn stored, distributed or transported through Sonora were analyzed for aflatoxins. All of the corn was white national corn and the samples were taken from different storage or transportation facilities. Most of the samples were from the 97/98 harvest; however, some of them were from the 96/97 and 98/98 harvests. Aflatoxins were detected in one third of the samples as well as in a similar percentage considering the total volume; however, the contamination levels were lower than those allowed for the grain marketing chain.

Key words: corn, contamination, aflatoxins, storage facilities, transportation, Sonora.

* Departamento de Botánica, Instituto de Biología, UNAM, Apartado Postal 70-233, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F.

** Almacenadora Mercader, S.A. Calle Colón 209, 5º piso, 044100 Guadalajara, Jalisco.

Introducción

La presencia de aflatoxinas es inevitable en algunos lotes de maíz, dadas las condiciones en las que las micotoxinas se forman, tanto en la planta en pie, en el campo, como durante estados posteriores, cosecha, transporte, almacenamiento y utilización. Además, la presencia de aflatoxinas en este cereal no está limitada a una región climática o geográfica y no se encuentran en todo el maíz que se produce o se almacena. Por tanto, diversas agencias gubernamentales de muchos países, importadores o exportadores de maíz, involucradas en la sanidad de los alimentos, hayan establecido restricciones para algunas micotoxinas en la cadena alimentaria.

A pesar de que en México todavía no existe una Norma Oficial Mexicana (NOM) para limitar los niveles máximos de aflatoxinas en maíz para consumo humano, tanto las agencias gubernamentales como las privadas involucradas en la comercialización y utilización del grano han adoptado las normas establecidas en otros países, principalmente las de United States Food and Drug Administration (USFDA, 1988), que coinciden en muchos aspectos con las de un gran número de países de Europa (Schuller y van Egmond, 1983), por lo que se acepta, hasta ahora, un límite máximo de 20 mg/kg de aflatoxinas totales en el grano de maíz para consumo humano.

La ahora extinta Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO), en sus programas de compras, verificaba diversos parámetros para garantizar en el abasto para consumo humano nacional, los estándares de calidad y uniformidad establecidos en su legislación. Uno de los elementos en estos análisis era la determinación de aflatoxinas.

El objetivo principal de este trabajo fue conocer los niveles de aflatoxinas en los diferentes lotes de maíz almacenados para CONASUPO, mediante una inspección amplia, en diferentes locales y por diferentes agencias, y compararlos entre sí para advertir la calidad, con respecto a contaminación con aflatoxinas, del maíz que se consumió o que distribuyó CONASUPO en 1998 en el estado de Sonora. Los resultados de este trabajo, aunados a otros similares en el futuro, permitirán localizar fuentes de origen de lotes contaminados con regularidad, lo que servirá para enfrentar el problema en estos mismos puntos de origen, sean éstos zonas de producción o de distribución.

Materiales y métodos

Grano. El grano analizado fue maíz blanco nacional, que CONASUPO tenía almacenado o en tránsito en 1998 en la entidad: 126 muestras (94.7% del total), representativas de 2 472 353 ton de la cosecha 97/98, cinco (3.8% del total), representativas de 158 ton de la cosecha 96/97 y dos (1.5% del total), representativas de 63 780 ton de la cosecha 98/98.

Muestreo. El muestreo y el equipo de muestreo usados fueron los que establece para grano la misma CONASUPO, dependiendo del tipo de almacén o medio de transporte (CONASUPO, 1999), así como por la Norma Oficial Mexicana para muestreo para inspección por atributos, NOM-Z-12/1-1987 (*Diario Oficial*, 1987; USDA, 1995). Los tamaños de las muestras dependieron del volumen por analizar, tomando en cuenta lo sugerido por la AOAC International (1995) para estos propósitos.

Se planearon periodos de muestreo semanales, cada viernes, durante todo el año; sin embargo, los muestreos se iniciaron a principios de marzo y terminaron a mediados de octubre (semanas 11 a 42). Además, algunos de los muestreos no fueron realizados puntualmente, por lo que solamente se obtuvieron muestras en 31 de las 52 semanas de ese año.

De bodegas se obtuvieron 94 muestras, 70.7% del total, que representan 802 651 ton; cinco muestras, 3.8% del total y 5.32% de las obtenidas de bodegas, fueron de la cosecha 96/97; 89 muestras, 67.24% del total y 94.68% de las obtenidas de bodegas, fueron de la cosecha 97/98, y dos muestras, 1.5% del total y 2.13% de las obtenidas de bodegas, fueron de la cosecha 98/98.

De la cosecha 97/98, 19 muestras, 18 232 ton, 14% del total, se obtuvieron de silos; una muestra, 86 ton, 0.8%, se obtuvo de intersilos; cuatro muestras, 8 300 ton, 3.0%, de lotes, y ocho muestras, 13 459 ton, 6.0%, de pilas. Además, una muestra, también de la cosecha 97/98, 136 300 ton, 0.8% del total, fue obtenida de la mezcla del maíz de dos furgones de ferrocarril, uno con dirección a Morelia, Michoacán y otro con dirección a Acajoneta, Nayarit. Una muestra, representativa de 35 421 ton, fue obtenida de un buque mercante en tránsito de Topolobampo, Sinaloa a Lázaro Cárdenas, Michoacán y otra, representativa de 28 359 ton, de un buque que iba de Mazatlán, Sinaloa a Veracruz, Veracruz. Además, se analizaron cuatro muestras, 62 700 ton, 3% del total, sin datos sobre la ubicación de donde fueron obtenidas. (Cuadros 1 y 2).

Análisis. Debido al volumen de las muestras por analizar se determinaron aflatoxinas totales siguiendo el método 991.31 de inmunoensayo, de AOAC International (1995) que es el método oficial para esta institución y también para Federal Grain Inspection Service (USDA, 1999).

Resultados

En los cuadros 1 y 2 se presentan los datos de número y porcentaje de las muestras, época de las cosechas y ubicación donde fueron obtenidas, así como el total de las que resultaron positivas y su ubicación. En 33.1% del total de las muestras fueron detectadas aflatoxinas; en 32.3% de éstas en concentraciones arriba de 1 µg/kg, cuantificables según los estándares establecidos en este trabajo. En una sola muestra, 0.8%, obtenida de una bodega de Guaymas, los niveles de contaminación determinados fueron inferiores de este límite y los consideramos como trazas. Los niveles

Cuadro 1. Muestras de maíz almacenado o transportado en Sonora, 1998
Porcentaje respecto a número de muestras

Número de muestras	Cosecha	% Total muestras	% Total/ ubicación	Total/ cont.	Total/ cont. / ubicación	Sonora
133		100.00				MBN total
5	96/97	3.76				MBN
126	97/98	94.74				MBN
2	98/98	1.50				MBN
ubicación						
94		70.68	100.00			Bodegas total
5	96/97	3.76	5.32			Bodegas 96/97
89	97/98	66.92	94.68			Bodegas 97/98
19	97/98	14.00	100.00			Silos
1	97/98	0.75	100.00			Intersilos
4	97/98	3.00	100.00			Lotes
8	97/98	6.00	100.00			Pilas
1	97/98	0.75	100.00			Transportes, FFRR
2	98/98	1.50	100.00			Transportes, B/M
4	97/98	3.00	100.00			S/D
muestras						
cont.						
44		33.08	100.00	100.00		Muestras cont., total
1	96/97	0.75	20.00	2.27		Muestras cont., 96/97
41	97/98	30.83	32.53	93.18		Muestras cont., 97/98
2	98/98	1.50	100.00	4.55		Muestras cont., 98/98
1	97/98	0.75	100.00	100.00		Muestras cont., tz.
cont./						
ubicación						
31		23.31	32.97	70.45	100.00	Bodegas cont., total
1	96/97	0.75	20.00	2.27	3.22	Bodegas cont., 96/97
30	97/98	22.56	33.71	68.18	96.77	Bodegas cont., 97/98
4	97/98	3.01	21.05	9.09	100.00	Silos cont.
1	97/98	0.75	100.00	2.27	100.00	Intersilos cont.
1	97/98	0.75	25.00	2.27	100.00	Lotes cont.
3	97/98	2.26	37.50	6.82	100.00	Pilas cont.
2	98/98	1.50	100.00	4.55	100.00	Transportes, B/M cont.
2	97/98	1.50	50.00	4.55	100.00	S/D cont.

cont. = contaminadas

MBN = maíz blanco nacional

FFRR = ferrocarril

B/M = buque granelero

S/D = sin datos

tz. = trazas (no cuantificable)

Cuadro 2. Muestras de maíz almacenado o transportado en Sonora, 1998
Porcentaje por volumen

Volumen	Cosecha	% Total	% Total/ ubicación	% Total/ cont.	Total/ cont. / ubicación	Sonora
2 536 291		100.00				MBN total
158	96/97	0.01				MBN
2 472 353	97/98	97.48				MBN
63 780	98/98	2.51				MBN
ubicación						
80 2651		31.65	100.00			Bodegas total
158	96/97	0.006	0.02			Bodegas 96/97
802 493	97/98	31.64	99.98			Bodegas 97/98
18 232	97/98	0.72	100.00			Silos
86	97/98	0.003	100.00			Intersilos
8 300	97/98	0.33	100.00			Lotes
13 459	97/98	0.53	100.00			Pilas
136 300	97/98	5.37	100.00			Transportes, FFRR
63 780	98/98	2.51	100.00			Transportes, B/M
162 600	97/98	6.48	100.00			S/D
muestras						
cont.						
879 464		34.68	100.00	100.00		Muestras cont., total
25	96/97	0.001	15.82	0.00		Muestras cont., 96/97
815 659	97/98	32.16	32.99	92.74		Muestras cont., 97/98
63 780	98/98	2.51	100.00	7.25		Muestras cont., 98/98
2 200	97/98	0.09	100.00	0.0001		Muestras cont., tz.
cont./						
ubicación						
717 628		28.29	89.41	81.58	89.41	Bodegas cont., total
25	96/97	0.00	15.82	0.003	15.82	Bodegas cont., 96/97
717 603	97/98	28.29	89.42	81.60	89.42	Bodegas cont., 97/98
3 253	97/98	0.13	17.84	0.37	100.00	Silos cont.
86	97/98	0.003	100.00	0.01	100.00	Intersilos cont.
2 075	97/98	0.81	25.00	0.24	100.00	Lotes cont.
6 972	97/98	0.28	51.80	0.79	100.00	Pilas cont.
63 780	98/98	2.51	100.00	7.25	100.00	Transportes, B/M cont.
85 670	97/98	3.38	52.68	9.34	100.00	S/D cont.

cont. = contaminadas

MBN = maíz blanco nacional

FFRR = ferrocarril

B/M = buque granelero

S/D = sin datos

tz. = trazas (no cuantificable)

cuantificables determinados variaron de 1 a 18 $\mu\text{g}/\text{kg}$, es decir, que están por debajo de los límites máximos aceptados para la comercialización del grano en este país. El nivel más alto de aflatoxinas, 18 $\mu\text{g}/\text{kg}$, fue de una muestra que representa 86 ton, remanente de un buque mercante almacenada en un intersilo de una bodega en Guaymas en la semana 12 (15 a 21 de marzo). Se determinaron niveles de 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en una muestra representativa de 1 178 ton almacenada en una bodega en Guaymas y obtenida en la semana 17 (abril 19 a 25) y otra, en la semana 20 (mayo 10 a 16) de una bodega de Cajeme, que representa 10 144 ton.

Respecto a las épocas de cosecha, 20% del maíz de la cosecha 96/97 estuvo contaminado, 46% de la cosecha 97/98 y 100% de la cosecha 98/98, puesto que en las dos muestras obtenidas fueron detectadas aflatoxinas (Cuadros 1 y 2).

Respecto a la ubicación, en todos los tipos de almacenamiento se detectaron muestras contaminadas con aflatoxinas, mientras que entre los diferentes transportes sólo en aquellas obtenidas de buques mercantes (Cuadros 1 y 2).

Del total de las muestras contaminadas con aflatoxinas, 70.5% provenían de bodegas, lo que representa 33% del total de las muestras almacenadas en bodegas. Asociando muestras almacenadas en bodegas con cosechas, de la cosecha 96/97 en 2.3% del total se determinaron aflatoxinas, pero si estos datos se comparan con el total de las muestras de la misma cosecha almacenadas en bodegas, entonces, el número de muestras contaminadas representa 20%. Las muestras de la cosecha 97/98 contaminadas con aflatoxinas representan 68.2% del total y 23.7% de las almacenadas en bodegas (Cuadro 1).

De las 19 muestras obtenidas de silos, en cuatro fueron determinadas aflatoxinas, esto es, 9.1% del total de las muestras contaminadas y 21.1% de todas las muestras almacenadas en silos; con relación al total de las muestras analizadas, esto es 3%. La única muestra obtenida de intersilos estaba contaminada; esto es 9.1% del total de las muestras contaminadas. Con respecto a los lotes, 0.8% del total de las muestras se encontró contaminado, lo que representa 2.3% del total de las muestras contaminadas y 25% del total de las almacenadas como lotes. De las ocho muestras obtenidas de pilas, tres se encontraron contaminadas, lo que representa 2.3% del total, 6.8% del total de contaminadas y 37.5% de las almacenadas en pilas (Cuadro 1).

Las dos muestras de la cosecha 98/98 se obtuvieron de buques mercantes y en ambas fueron determinadas aflatoxinas; esto es, 1.5% del total de las muestras, y 4.5 del total de las contaminadas (Cuadro 1).

De las cuatro muestras sin datos de ubicación, en dos fueron determinadas aflatoxinas, 1.5% del total de las muestras, 4.5% del total de las muestras contaminadas y 50% de las muestras sin datos de ubicación (Cuadro 1).

Conclusiones

A pesar de que los niveles de aflatoxinas determinados en el maíz almacenado o en tránsito durante 1998 en el estado de Sonora, independientemente de su fecha de cosecha, estaban por debajo de las normas de calidad aceptados por CONASUPO, 33.1% del total estuvo contaminado y esta contaminación se encontró en todos los tipos de almacenamientos analizados. Con relación a los transportes, en las dos muestras obtenidas de buques se detectaron aflatoxinas.

Es importante poner atención a los almacenamientos y a los transportes para evitar que niveles peligrosos de aflatoxinas lleguen a la población. También es importante destacar que las aflatoxinas tienen efecto acumulativo en los animales, tanto experimentales como de granja que han sido estudiados, por lo que no se debe despreciar la presencia de aflatoxinas aun en niveles por debajo de los establecidos en las normas.

Este tipo de estudios deben realizarse continuamente en nuestro país para saber si los resultados presentados en este trabajo son fortuitos o se presentan regularmente; y en este caso, las autoridades sanitarias deberían ser más rigurosas con relación al destino de los lotes contaminados, tomando en cuenta los niveles de aflatoxinas así como su frecuencia.

Literatura citada

- AOAC INTERNATIONAL. 1995. AOAC Official Method 991.31. Aflatoxins in corn, raw peanuts, and peanut butter. Immunoaffinity column (aflatest) method. First action 1991. AOAC-IUPAC Method. In: AOAC International (ed.) *Official method of analysis. Natural toxins*, chapter 49, pp.20-21.
- CONASUPO. 1999. *Manual de procedimientos para el análisis y certificación de productos agropecuarios*. México. 109 p.
- DIARIO OFICIAL. 1987. Muestreo para inspección por atributos. Parte 1. Información general y aplicaciones. Parte 2. Métodos de muestreo, tablas y gráficas. Norma Oficial Mexicana. (NOM-Z-12/1-1987).
- SCHULLER, P.I. & VAN EGMOND, H.P 1983. Limits and regulations on mycotoxins. *Proceedings International Symposium on Mycotoxins*, pp. 111-129.
- USDA (US DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1995. *Grain inspection hand book, Book I*. Federal Grain Inspection Service. Packers and Stockyards Administration. 63 p.
- USDA (US DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1999. *Grain fungal diseases and mycotoxin reference*. Federal Grain Inspection Service. Packers and Stockyards Administration. 54 p.
- USFDA (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION). 1988. Action levels for added poisonous or deleterious substances in food. Notice. *Federal Register* 53: 5043-5044.

Recibido: 10.XI.2000

Aceptado: 4.VIII.2001