

VARIACIÓN MORFOLÓGICA DEL FRUTO Y DOMESTICACIÓN DE *Stenocereus pruinosus* (Otto)Buxb. Y *S. stellatus* (Pfeiff.)Riccob. (CACTACEAE) EN LA MIXTECA BAJA, MÉXICO

FRUIT MORPHOLOGY VARIATION AND DOMESTICATION OF *Stenocereus pruinosus* (Otto)Buxb. AND *S. stellatus* (Pfeiff.) Ricobb. (CACTACEAE) IN LA MIXTECA BAJA, MÉXICO

César del Carmen Luna-Morales^{1*} y Juan Rogelio Aguirre Rivera²

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Edo. de México 56230. Tel. 01(595) 95-21500 ext.6469, Fax. 01(595) 95-21642. Correo electrónico: cesarl@taurus1.chapingo.mx. ²Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, UASLP. Altair 200, Fracc. del Llano. C.P. 78377. San Luis Potosí, SLP. Tel. 01(48) 4822-2130, Fax. 01(48) 48-222718.

* Autor responsable

RESUMEN

Aunque los frutos de más de 20 especies de cactáceas columnares (14 cultivadas, 10 de éstas de *Stenocereus*) han sido aprovechados por varias culturas Meso y Aridoamericanas, sólo una de fruto no comestible ha sido reconocida como domesticada. Para estudiar la variación morfológica del fruto y la posible domesticación de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* en la Mixteca, durante 1995-96 se realizaron observaciones, entrevistas personales y se midieron 18 atributos morfológicos en más de 300 frutos pertenecientes a 21 poblaciones entre cultivadas, toleradas, abandonadas y espontáneas. De acuerdo con el tipo de población y la especie, se encontraron diferencias estadísticas en la mayoría de los atributos, excepto en el tamaño y peso relativo de semilla y en el número de aréolas. La clasificación multivariable agrupó las poblaciones de acuerdo con su relación natural y cultural; los tres primeros componentes principales, relacionados con el tamaño, peso y calidad del fruto y el tamaño y peso de la semilla, resumieron de 62 a 67 % de la variación morfológica. Sobre todo en *S. pruinosus*, los mixtecos han seleccionado en sus huertos frutos más grandes, pesados, dulces y espinosos, además con distintos colores, sabores, formas y épocas de producción. Dada la ausencia de tal variabilidad en las poblaciones silvestres, las evidencias sobre su uso e importancia cultural prehistórica y el profundo conocimiento tradicional actual sobre su aprovechamiento, es muy probable que su cultivo y domesticación se hayan iniciado desde la época prehispánica. La selección posiblemente se ha intensificado en las últimas décadas por el estímulo del mercado.

Palabras clave: *Stenocereus pruinosus*, pitaya, xoconochtili, cactaceae, recursos fitogenéticos, análisis multivariado.

SUMMARY

Fruits of more than 20 species of columnar cacti (14 cultivated, 10 of them of *Stenocereus*) have been used by several Meso- and Arido-American cultures, but only one species with inedible fruit is considered domesticated. To study the variation in fruit morphology in relation to domestication of *Stenocereus pruinosus* and *S. stellatus* in the Mixtec region, during 1995-96 we conducted interviews with growers and made observations and measurements of 18 attributes on more than 300 fruits of the 21 cultivated, tolerated or wild populations of seed the two species. There were significant differences in the majority of attributes for each population and species, except for size and relative weight of the seed, and the number of areoles. Multivariate classification was

used to determinate the relationships of populations within a species. The first three principal components explained 62-67 % of the morphological variation evaluated and were related to fruit size, weight and quality, and seed size and weight. The Mixtec people have selected individuals with large, heavy, sweet and spiny fruits, as well as for variation in color, taste, shape and harvest season. Given the lack of variability of these traits in wild populations, the evidence for their prehistoric consumption and cultural importance, and the current knowledge about its use, it is conclude that cultivation and domestication of these species are probably prehispanic. Selection pressures may have increased during the last few decades to satisfy market demands.

Index Words: *Stenocereus pruinosus*, pitaya, xoconochtili, cactaceae, plant genetic resources, multivariate analysis.

INTRODUCCIÓN

México es centro de origen y diversidad de cactáceas, varias de las cuales han sido importantes para el desarrollo de algunas culturas Meso y Aridoamericanas. En estas regiones, además del aprovechamiento de poblaciones espontáneas, se han cultivado más de 40 especies (Zeven y de Wet, 1982; Hernández X., 1993). Sin embargo, cultivar es distinto de domesticar; lo primero consiste en proporcionar las condiciones ambientales para el mejor desarrollo de la planta, y la domesticación es un proceso coevolutivo entre la planta, el hombre y el agrohábitat, que resulta en cambios morfofisiológicos de origen genético (Harlan, 1975; Hernández X., 1993).

Hernández X. (1993) y MacNeish (1992) señalan la domesticación de 17 especies de cactáceas en Mesoamérica, pero de las columnares (tribu Pachycereeae) sólo mencionan a *Pachycereus marginatus*, domesticada para cerco vivo. Sin embargo, México es centro de diversificación de más de 45 especies de Pachycereeae y de ellas, alrededor de 20 son de *Stenocereus* (Gibson y Horak, 1978); y ha sido escenario del aprovechamiento múltiple y milenar por diferentes grupos meso y áridoamericanos de más de 20 especies

columnares (unas 15 de *Stenocereus*) (Smith, 1967, 1988; Callen, 1967; Sánchez-Mejorada, 1982, 1984; Nabham, 1990; Felger y Moser, 1991), así como del cultivo tradicional de 14 especies columnares (10 de *Stenocereus*) (Zeven y de Wet, 1982; Sánchez-Mejorada, 1984).

De las 22 a 24 especies del género *Stenocereus*, 17 a 20 se encuentran en México, ocho son cultivadas en el centro-sur del país (Gibson y Horak, 1978; Sánchez-Mejorada, 1984). Para la Mixteca Baja se han consignado *S. pruinosus*, *S. stellatus*, *S. dumortieri* y *S. griseus* (Bravo-Hollis, 1978), pero esta última ha sido imposible localizarla, pues al parecer se le ha confundido con la primer especie. Aunque se observa el cultivo o auspicio de *S. dumortieri* en algunos centros ceremoniales prehispánicos, terrenos de cultivo y solares mixtecos, sus usos y variación morfológica son escasos. En cambio, las dos primeras especies, nativas del sur de México (Gibson y Horak, 1978), muestran mayor variación, uso múltiple (principalmente consumo de fruto y semilla, además de aprovechamiento de los tallos para cercas vivas, control de erosión y combustible), diversas presiones humanas de selección y en general muestran los indicios del proceso de domesticación. Así, existe la posibilidad de precisar cambios en el conocimiento tradicional, en el agrohábitat y en el fenotipo y genotipo de la planta, tal como los cambios fenéticos reconocidos en *Stenocereus stellatus* (Casas *et al.*, 1997; Casas *et al.*, 1999) y de *S. queretaroensis* (Benz *et al.*, 1997).

La Mixteca Baja, ubicada entre 1000 y 1900 msnm, hacia los límites de Oaxaca y Puebla y Guerrero, comprende serranías, lomeríos, cañadas y pequeños valles subhúmedos a semiáridos de la cuenca superior del río Balsas. En estos ambientes, al menos 12 especies de cactáceas columnares (tres de *Stenocereus*) forman parte de matorrales xerófilos y bosques tropicales caducifolios, la mayoría muy perturbados por el aprovechamiento milenario, al que en los últimos siglos se ha sumado la ganadería.

En el valle de Tehuacán y seguramente también en la adyacente Mixteca Baja, se han aprovechado frutos, semillas y tallos de cactáceas columnares (entre ellas *S. pruinosus* y *S. stellatus*) desde hace más de 8000 años, y pudieron haberse ya cultivado hacia el 500 d.C. (Callen, 1967; Smith, 1967; González, 1972; Winter *et al.*, 1984). Actualmente es posible observar numerosas plantaciones asociadas a ruinas prehispánicas y coloniales. A pesar de la escasa investigación arqueológica en la Mixteca Baja, es posible hablar de una lengua propia y centros urbanos hacia 500 a.C. (Hopkins, 1984; Winter, 1996). Como herencia de esta cultura, a las cactáceas columnares se les denomina "too dichi" o "tnu dichi", las cuales complementan la subsistencia y el ingreso monetario en más de 50 localidades, ocupan ambientes muy restrictivos y son

aprovechadas con base en un profundo conocimiento tradicional (Luna-M., 1999; Luna-M. y Aguirre, 2001). De las diferentes especies que se han seleccionado y cultivado, destacan las dos referidas en el presente escrito, que reciben el nombre genérico mixteco de "dichi" y el antillano "pitaya", así como el náhuatl "xoconochtili" sólo para *S. stellatus*.

El objetivo del presente estudio fue analizar la variación morfológica del fruto en diversas poblaciones de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* en la Mixteca Baja, y relacionarlo con su proceso de domesticación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante 1995-96 en ocho localidades de la Mixteca Baja y en otras dos (Coxcatlán y Chalcatzingo) ubicadas en los valles adyacentes de Tehuacán y Cuautla (Cuadro 1). En estas localidades se recolectan o cultivan las especies de interés, hubo poblamientos prehispánicos y se registra entre ellas un leve gradiente altitudinal (700 m) y climático (300 mm y 5°C), que cubre la variación ecológica regional. Estas localidades se seleccionaron mediante recorridos de campo, entrevistas personales, recolectas etnobotánicas por la región de estudio y las áreas adyacentes, y cotejo de la información documental.

En tales localidades se estudiaron siete poblaciones y 75 muestras de *S. pruinosus*, 12 y 66 de *S. stellatus* y dos y cuatro de una variante intermedia (posiblemente híbrida) entre ellas (*S. x sp.*), bajo distintas condiciones de manejo, es decir, cultivadas, toleradas (en tierras de uso agrícola actual), abandonadas (antiguos huertos coloniales o prehispánicos) y silvestres (Cuadro 1). Se identificaron muy pocas poblaciones silvestres, sin indicios de cultivo o asentamientos humanos.

Con base en el conocimiento y criterio de los productores y recolectores de pitaya, se eligieron uno o dos individuos de cada variante reconocida por ellos, y a dos de sus frutos se les midieron los 18 atributos indicados en el Cuadro 2. En total se analizaron 145 muestras y más de 300 frutos en madurez de consumo, y su semilla se separó mediante fermentación y frotación. Para los caracteres de longitud se utilizó un vernier, y un microscopio de disección en el caso de las semillas ($n=30/\text{fruto}$). Los pesos frescos se cuantificaron en una balanza electrónica; el color de la pulpa y la cáscara se determinó mediante la cascada de límite de color Munsell (Munsell, s/f).

El análisis de los datos numéricos se hizo con los promedios de los atributos para cada variante, ya sea de manera individual o agrupándolas por taxon y tipo de

Cuadro 1. Algunas características ecológicas de las localidades de origen, tipo de poblaciones¹ de *Stenocereus spp* y número de muestras estudiadas.

Localidad y acrónimo	Altitud (msnm)	Geología ²	Clima ³	<i>S. pruinosus</i>			<i>S. stellatus</i>			<i>S. x sp.</i> ⁴
				C	A	S	C	T/A	S	
Coxcatlán (COX)	1000	Ts, KM	BS ₁			6			6	
Mixquitlilco (MIX)	1150	PzE, Tige	Awo				6	2		
Chalcatzingo (CHA)	1300	Tige	Awo				4	5		
Xayacatlán (XAY)	1350	PzE, PrEG	BS ₁				16		3	
Tiangustengo (TIA)	1570	PzE	(A)Cwo	10						2
Chichihualtepec (CHI)	1600	PzE	(A)Cwo	21			9			
Camotlán (CAM)	1680	Ts, Tige	(A)Cwo				5		2	
Joluxtla (JOL)	1690	PzE	(A)Cwo	13						2
Dinicuiti (DIN)	1700	Ts, PzE	(A)Cwo	5	7		4	4		
Acaquizapan (ACA)	1740	PzE	(A)Cwo	13						

¹ cultivada(C), abandonada(A), tolerada(T), silvestre(S).² Ts: sedimentarias del terciario; KM: metamórficas dinámicas (cataclasitas); PzE: esquistos paleozoicos; Tige: ígneas extrusivas terciarias; PrEG: esquistos y gneiss precámbricos (Fuente: López R., 1970; INEGI, 1994).³ (Fuente: UNAM, 1970; García, 1988).⁴ S. x sp. = posible híbrido.Cuadro 2. Correlaciones de cada variable con los tres primeros componentes principales (CP) en *S. pruinosus* y *S. stellatus*.

Variable y unidades	Acrónimo	<i>S. pruinosus</i>			<i>S. stellatus</i>		
		CP1 (39%)	CP2 (13%)	CP3 (10%)	CP1 (39%)	CP2 (17%)	CP3 (11%)
Diámetro polar (cm)	DIAMPOLA	0.86	-0.09	-0.16	0.92	0.06	-0.05
Diámetro ecuatorial (cm)	DIAMECUA	0.94	-0.16	-0.02	0.93	0.14	-0.01
Peso total (g)	PESOTOTA	0.95	-0.15	-0.02	0.94	0.08	0.02
Peso de cáscara (g)	PESOCASC	0.73	-0.07	-0.59	0.85	-0.13	0.37
Peso comestible (g)	PESOCOME	0.94	-0.15	0.00	0.93	0.14	-0.09
Comestible/cáscara	RECOMCAS	0.53	-0.14	0.68	0.30	0.40	-0.75
Grosor de cáscara (cm)	GROSCASC	-0.11	-0.04	-0.82	0.13	-0.27	0.78
Longitud de espina (cm)	LONGESPI	0.69	-0.12	-0.06	0.59	0.06	-0.21
Número de areolas	NUMEAREO	0.24	0.30	0.15	0.09	0.03	-0.23
Sólidos solubles totales (°B)	SST	0.49	0.08	0.47	0.57	0.08	-0.36
Peso de semilla (g)	PESOSEMI	0.77	-0.22	0.10	0.83	0.03	0.09
Número de semillas	NUMESEMI	0.67	-0.44	0.00	0.75	0.45	0.12
Peso cien semillas (mg)	PESOCIE	0.36	0.44	-0.03	0.25	-0.79	-0.11
Anchura de semilla (mm)	ANCHSEMI	0.32	0.46	-0.04	0.46	-0.77	-0.23
Longitud de semilla (mm)	LONGSEMI	0.71	0.40	-0.01	0.48	-0.71	-0.08
Grosor de semilla (mm)	GROSSEMI	0.37	0.64	-0.12	0.09	-0.81	-0.14
Color de cáscara	COLOCASC	0.09	0.70	-0.02	-0.53	-0.11	-0.32
Color de pulpa	COLOPULP	0.26	0.64	0.07	-0.36	-0.27	-0.37

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

Cuadro 3. Promedios de los atributos del fruto de *S. pruinosus*, *S. stellatus* y el posible híbrido (*S. x sp.*), según el tipo de población (C, cultivada, A, abandonada; T, tolerada; S, silvestre).

Atributo y unidad	<i>S. pruinosus</i>			<i>S. stellatus</i>		<i>S. x sp.</i>	
	C	A	S	C	T/A	S	C
DIAMPOLA (cm)	8.4a	6.3b	4.8c	6.0a	4.9b	4.3c	6.6
DIAMECUA (cm)	6.4a	4.8b	3.9c	5.6a	4.7b	4.2c	5
PESOTOTA (g)	188a	69b	38b	103a	55b	44b	86
PESOCASC (g)	39a	27b	15b	23a	15b	12b	15
PESOCOME (g)	149a	42b	23b	79a	41b	31b	71
RECOMCAS	3.96a	2.04b	1.57b	3.63a	2.99b	2.37c	4.88
GROSCASC (cm)	0.2b	0.3a	0.3a	0.2a	0.2a	0.2a	0.2
LONGESPI (cm)	1.8a	1.3b	1.1b	1.3a	0.9b	0.7c	1.2
NUMEAREO	51a	50a	45a	30a	32a	27a	42
SST (°B)	12.9a	9.6b	10.0b	12.5a	11.0b	9.7c	10
PESOSEMI (g)	4.1a	2.0b	2.1b	2.0a	1.4b	0.9c	1.5
NUMESEMI	2044a	1057b	1218b	1571a	1046b	737c	951
PESOCIE (mg)	203a	187a	182a	128a	139a	125a	162
ANCHSEMI (mm)	1.8a	1.6a	1.7a	1.4a	1.4a	1.3a	1.5
LONGSEMI (mm)	2.4a	2.2b	2.1b	2.0a	1.8b	1.9ab	2.2
GROSSEMI (mm)	1.1a	1.0a	1.1a	0.9a	1.0a	0.9a	1.0
COLOCASC	32a	33a	29a	27b	36 ^a	35a	39
COLOPULP	37a	36a	37a	35a	40a	37.8a	39

Promedios seguidos por la misma letra en cada hilera y en cada taxon, son estadísticamente similares ($P \leq 0.05$).

población, mediante técnicas estadísticas univariantes y multivariantes. Con las primeras se efectuó un análisis de varianza de una vía, agrupando las poblaciones por su relación cultural, cuyos promedios se compararon mediante la prueba de Duncan (SAS.603) y con las segundas se hizo una clasificación y ordenación multivariante (NTSYS 1.7). Una clasificación aceptable (correlación coeficiente 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. 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ordenación morfológica y tendencias de selección

Como se observa en el Cuadro 2, en las dos especies estudiadas los tres primeros componentes principales (CP) resumen alrededor de dos terceras partes de la variación total, y las variables asociadas son muy parecidas. El primer CP ordena los frutos de acuerdo con sus dimensiones y peso, peso y número de semillas, longitud de espina y dulzura; en *S. pruinosus* también destacó al respecto la longitud de su semilla, y en *S. stellatus* el color de la cáscara. El segundo componente en *S. stellatus*, se relaciona con un gradiente en el tamaño y peso relativo de la semilla, y en *S. pruinosus* con el grosor de la semilla y con el color de la cáscara y la pulpa. El tercer componente se asocia básicamente con el grosor y peso de la cáscara y su relación con el peso de la parte comestible, aunque en sentidos opuestos en cada especie. Es notable que solamente el número de areolas no contribuyó de manera importante a la variación morfológica en ninguna de las dos especies.

En la Figura 1 se observan algunas tendencias en la ordenación dada por los primeros dos componentes principales, en 77 muestras de frutos de las siete poblaciones de *S. pruinosus*. Hacia la izquierda se ubican las variantes silvestres (S), junto con algunas abandonadas (A) y el posible híbrido (G), y hacia la derecha las cultivadas con frutos más grandes y pesados (C), las cuales son consideradas las más comerciales, como es el caso de las variantes "Site'e", "Inñutun", "Intsi'ia", "Burra", "Negra" y "Reina". De esta forma, puede hablarse de una primera tendencia en la selección cultural de esta especie, hacia frutos más grandes, pesados y dulces, pero a la vez con más semilla y espinas más largas. Estos caracteres también son deseables pues, a diferencia de los frutos de *Opuntia*, la

semilla de la pitaya es comestible, y la espina amortigua los daños del fruto durante el empaque y transporte, y alarga la vida postcosecha al facilitar la aireación en las cajas. Aunque se puede diferenciar otro grupo en la parte inferior de la Figura 1, con las variantes cultivadas de semilla más delgada, pulpa amarilla y cáscara verde-amarilla, casi la mitad de ellas se concentran alrededor del origen de los ejes, lo cual indica su estado intermedio en la tendencia de domesticación resumida por los dos primeros componentes. Merecen destacarse algunas otras variantes de huertos abandonados que también se relacionan con este grupo intermedio; esta ordenación, separada del resto de variantes abandonadas, podría deberse a un genoma distinto al silvestre, como resultado de una posible selección prehispánica o colonial.

En la ordenación de las variantes sobre el primero y tercer componentes principales (Figura 2), se aprecia otra posible tendencia en el proceso de selección de *S. pruinosus*, relacionada con la búsqueda de frutos con cáscara más gruesa y pesada (como las variantes cultivadas "negra" y "de burro", y algunas abandonadas). Estos caracteres reducen relativamente la parte comestible, pero son deseables porque permiten una mayor duración postcosecha del fruto, periodo que normalmente no supera los cinco días en los frutos de cáscara delgada. Sin embargo, aún es poco generalizado este móvil de selección; en efecto, la mayoría de las variantes cultivadas presentan cáscara delgada (regionalmente preferidas), pues la venta en mayor escala y fuera de la región es reciente.

De manera parecida, en la Figura 3 se aprecia que las variantes silvestres y toleradas de *S. stellatus* tienden a ordenarse en los cuadrantes de izquierda; a su vez, las variantes silvestres con cáscara más gruesa se ordenan hacia la parte superior del tercer componente, y las variantes toleradas con cáscara menos gruesa hacia la parte inferior del mismo. Por otro lado, las variantes cultivadas con frutos más grandes, pesados y dulces (como "Dichi n'doko" y "San Pedro") tienden a ordenarse a la derecha del primer componente; dentro de éstas, las variantes cultivadas de cáscara más delgada tienden a juntarse en el cuadrante inferior derecho. Esta tendencia concuerda con lo encontrado por Casas *et al.* (1997) y Casas *et al.* (1999) y se relaciona con el destino local y regional del xoconostle, donde los consumidores locales prefieren los frutos con cáscara delgada y no es determinante una mayor duración en postcosecha.

Clasificación de las poblaciones

Con el fin de observar con mayor claridad los grupos y tendencias descritos, en la Figura 4 se presenta el fenograma

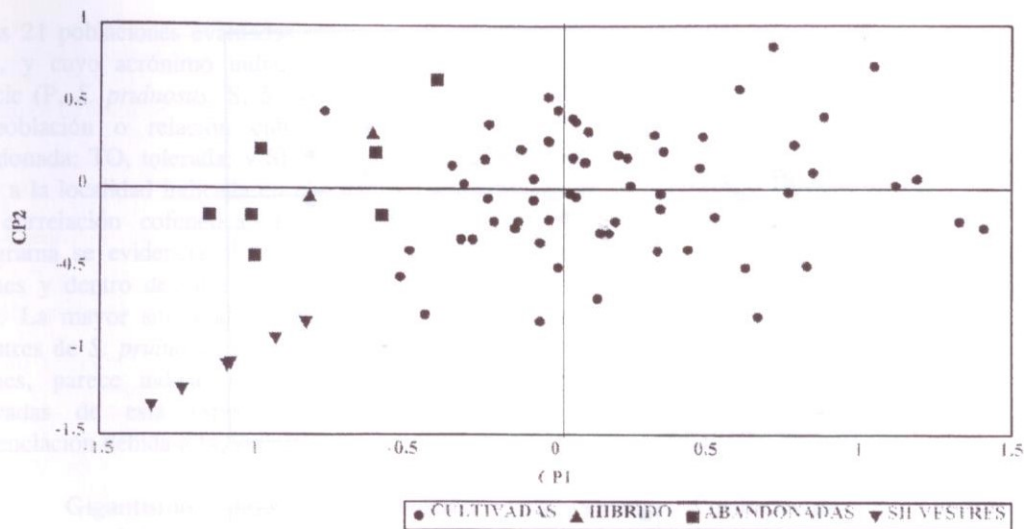


Figura 1. Ordenación de 77 variantes de *S. pruinosus* basada en 18 características de sus frutos, sobre los componentes principales primero y segundo.

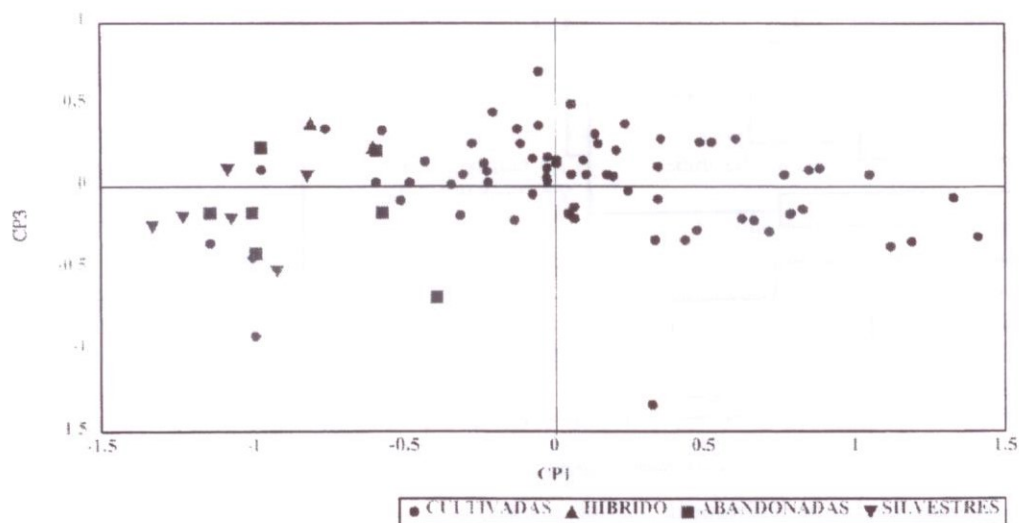


Figura 2. Ordenación de 77 variantes de *S. pruinosus* basada en 18 características de sus frutos, sobre los componentes principales primero y tercero.

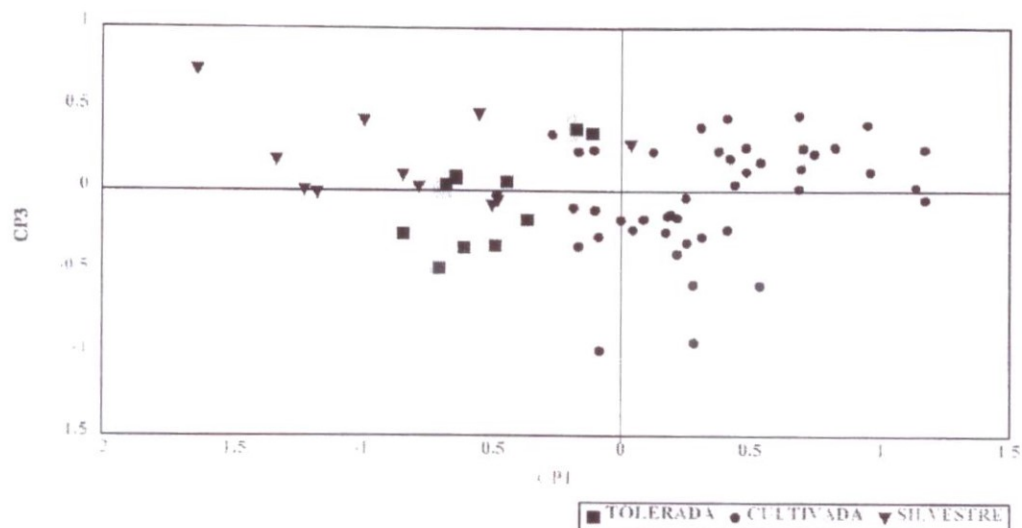


Figura 3. Ordenación de 66 variantes de *S. stellatus* basada en 18 características de sus frutos, sobre los componentes principales primero y tercero.

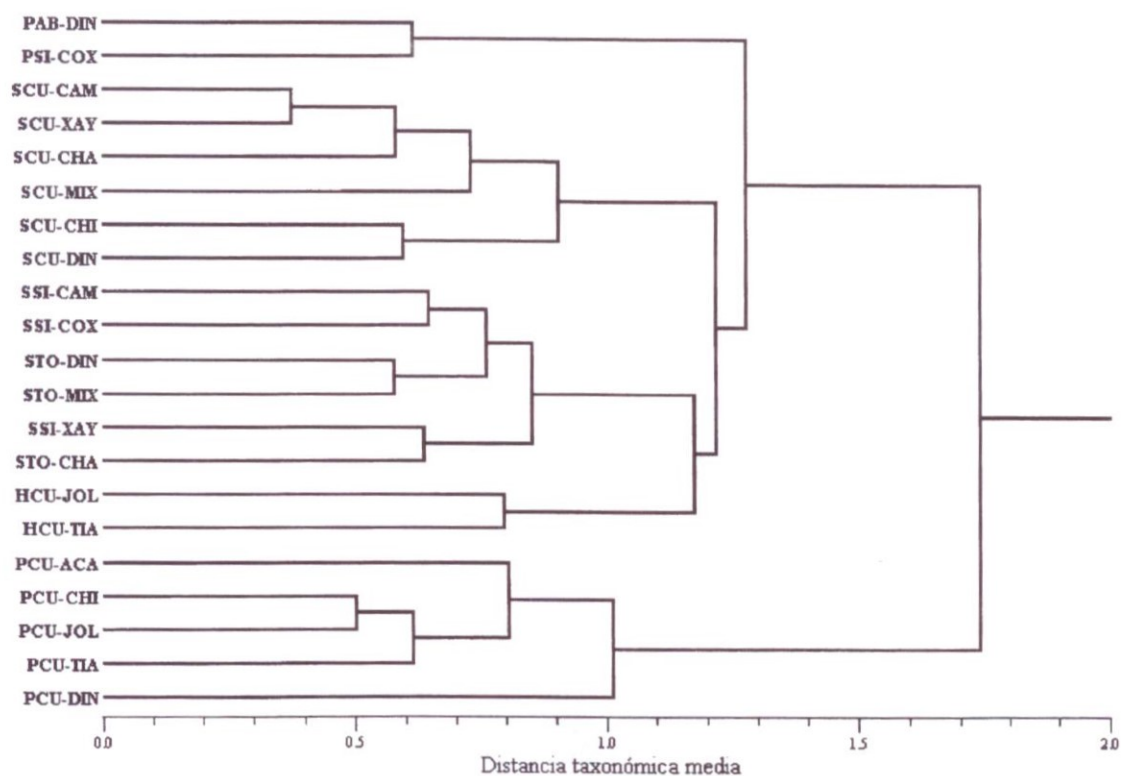


Figura 4. Clasificación de las 21 poblaciones de pitaya (*Stenocereus* spp.) con base en 18 características de sus frutos. Especie: P=*Stenocereus pruinosus*; S= *S. Stellatus*; H=probable híbrido; Tipo de población: CU=cultivada; AB=abandonada; TO=tolerada; SI=silvestre; Localidad: DIN=Dinicuiti; COX=Coxcatlán; CAM=Camotlán; XAY=Xayacatlán; CHA=Chalcatzingo; MIX=Mixquilitico; CHI=Chichihualtepec; JOL=Joluxtlá; TIA=Tianguistengo; ACA=Acaquizapán.

de las 21 poblaciones evaluadas mediante 18 caracteres del fruto, y cuyo acrónimo indica en su primera parte a la especie (P, *S. pruinosus*; S, *S. stellatus*; H, *S. sp.*), el tipo de población o relación cultural (CU, cultivada; AB, abandonada; TO, tolerada; y SI, silvestre), y en su segunda parte a la localidad indicada en el Cuadro 1. Además de su alta correlación cofenética ($r=.78$), la consistencia del fenograma se evidencia al separar inicialmente a los tres táxones y dentro de ellos a las poblaciones cultivadas del resto. La mayor similitud de las variantes abandonadas y silvestres de *S. pruinosus* con las variantes de los otros dos táxones, parece indicar que los frutos de las variantes cultivadas de esta especie han alcanzado la mayor diferenciación debida a la domesticación.

Gigantismo, calidad y domesticación de las poblaciones cultivadas

La superioridad que se observa en el Cuadro 3 para la mayoría de los atributos del fruto de las variantes cultivadas es típica del proceso de selección cultural y ha sido consignada en semillas y frutos de otras especies mesoamericanas perennes como *Persea*, *Sideroxylon*, *Cyrtocarpa* (Smith, 1966, 1968), *Opuntia* (Colunga G-M. *et al.*, 1986) y *S. stellatus* (Casas *et al.*, 1999). Sin embargo, este gigantismo es más marcado en *S. pruinosus*, especie que ha estado sujeta a mayores presiones de selección, dada su mayor demanda en el mercado regional y nacional.

En general, a mayor tamaño y peso de fruto se presenta mayor magnitud en los otros atributos; sin embargo, las dimensiones de la semilla, el peso de 100 semillas y el número de areolas fueron prácticamente similares dentro de cada especie. Dado que el color de la cáscara y de la pulpa se midieron en una escala de intervalo (con origen relativo), sus promedios resultaron ser prácticamente similares; sin embargo, cabe destacar la mayor variación registrada en el color de la pulpa de las variantes cultivadas ($29.6=0.5Y$ a $42.15=2.4R$ en *S. pruinosus*, y $22.1=5.7GY$ a $43.15=7.5RP$ en *S. stellatus*). Esto abarca más de ocho tonalidades de amarillo y siete de rojo, además de los blancos, rosados y lilas, que en *S. stellatus* se relacionan con su época de madurez.

Dado que la relación inversa entre el peso y grosor de la cáscara pareciera contradictoria, es importante aclarar que, además del mayor tamaño, se debe a una mayor densidad y dureza, así como una anatomía distinta de la cáscara de algunas variantes cultivadas. Aunque estos atributos no se evaluaron, sí se observaron, y sugieren que no sólo el grosor de la cáscara puede aumentar la duración postcosecha del fruto, sino también los otros atributos estructurales mencionados, los cuales, por supuesto, ya han sido

reconocidos por los productores mixtecos.

Cabe resaltar que algunos atributos de calidad (espina más larga, cáscara más gruesa y más semilla) no concuerdan con las tendencias de domesticación señaladas por Schwanitz (1966) y Hawkes (1983) y curiosamente se han considerado indeseables en otros frutos (semilludos, espinudos y cascarudos), pero en la pitaya son deseables, pues aumentan la duración postcosecha y la semilla es masticable y susceptible de mezclarse con maíz para elaborar tortillas. Excepto estas últimas características, los cambios morfológicos observados concuerdan con lo encontrado por Colunga *et al.* (1986) en *Opuntia* y Casas *et al.* (1999) en *S. stellatus*.

Puede decirse que los mixtecos cultivan pitayos con frutos más grandes, pesados, dulces, espinosos, con más semilla y de colores más diversos que los que se encuentran en las poblaciones toleradas y silvestres, pues en los huertos antiguos abandonados se pueden encontrar fenotipos intermedios. Parece tratarse de dos especies que han sido sometidas a una selección *in situ* mediante el proceso que Harlan (1975) denomina domesticación instantánea, ya que sólo se requiere, a través del tiempo, trasladar a un ambiente de cultivo los propágulos de los individuos con atributos deseables sobresalientes, los cuales van surgiendo en las poblaciones de recolección espontáneas o con algún manejo básico. Dada la casi autopropagación de estas cactáceas columnares, su proceso de introducción al *domo* o casa pudo haber sido distinto al sugerido por Zohary (1986) para los frutales bíblicos, pues allá se requirió de completo sedentarismo e invención de la propagación vegetativa, no tan evidente en el higo, vid, olivo y dátil. En efecto, y aunque se carece de evidencia arqueobotánica, se ha sugerido que nopal (*Opuntia sp.*), maguey (*Agave sp.*) y otros cactus pudieron haber sido los primeros cultivados en el Valle de Tehuacán, cuando los grupos humanos aún eran semisedentarios (Callen, 1967).

Aunque no se midió el rendimiento ni se incluyó la época de madurez en el análisis numérico, sí se observó que también son móviles de selección en algunas variantes. Con todo, se encontraron otras evidencias de domesticación, como la mayor variación morfológica, y el mayor tamaño, peso y calidad de los órganos útiles en las variantes cultivadas (Schwanitz, 1966; Harlan, 1975; Hawkes, 1983; León, 1987). Aunque se podría argumentar influencia ambiental en algunos de estos caracteres, para otros es inequívoco su origen genético (color, fenología, forma), lo que aunado a su uso milenario y posible cultivo prehispánico, la denominación mixteca de más de 40 variantes, y sobre todo al amplio conocimiento sobre su uso y manejo, apoya la hipótesis de que se trata de especies que han estado prolongadamente bajo presiones de

domesticación. Casas *et al.* (1999) concluyen que la selección artificial es la causa principal de la divergencia morfológica entre poblaciones silvestres, cultivadas y manejadas de *S. stellatus*, a pesar de crecer en ambientes diferentes.

Este proceso posiblemente fue iniciado en tiempos prehispánicos, desde el Preclásico (en Chalcatzingo, la estela olmeca del xoconochtli aparece junto con otras plantas cultivadas como la calabaza), o por lo menos hacia el clásico mesoamericano, cuando la cultura Nuiñe floreció en la Mixteca Baja (Winter, 1996); y es posible que dicho proceso haya persistido hasta la actualidad, o incluso se haya intensificado, por su mercado creciente en las últimas décadas. Así, estas dos especies deberían agregarse a las casi 100 plantas mesoamericanas reconocidas como domesticadas por MacNeish (1992) y por Hernández X. (1993), y reconocerse su potencial inmediato para la fruticultura mexicana. A la vez, existen suficientes elementos para desechar ideas que las desestiman y limitan su antigüedad, incluso entre los propios mixtecos.

CONCLUSIONES

La variación morfológica evaluada en los frutos de las dos especies es muy similar, pero bajo domesticación se nota la preferencia por frutos de mayor peso, tamaño y variación de color y con más semilla; en *S. pruinosus* también se han seleccionado frutos con espinas más largas y algunos con cáscara más gruesa. Es probable que el cultivo y domesticación de las pitayas mixtecas se hayan iniciado desde la época prehispánica, pero también que se hayan intensificado en las últimas décadas por el incremento de su demanda comercial.

BIBLIOGRAFIA

- Benz, B.F., F. Santana M., J. Ceballos E., E. Muñoz M., J. Rosales A., and M. Rosales A. 1997. The structure and productivity of relict stands of pitaya (*Stenocereus queretaroensis*; Cactaceae), Jalisco, Mexico. *Economic Botany* 51(2):134-143.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Volumen 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, USA. pp: 261-289.
- Casas, A., B. Pickersgill, J. Caballero, and A. Valiente-Banuet. 1997. Ethnobotany and domestication in xoconochtli, *Stenocereus stellatus* (Cactaceae), in the Tehuacan Valley and La Mixteca Baja, México. *Economic Botany* 51(3):279-292.
- Casas, A., J. Caballero, A. Valiente-Banuet, J.A. Soriano, and P. Dávila. 1999. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central México. *Amer. J. Bot.* 86(4):522-533.
- Cologna G-M., P. E. Hernández X., y A. Castillo M. 1986. Variación morfológica, manejo agrícola tradicional y grados de domesticación de *Opuntia spp.* en el Bajío guanajuatense. *Agrociencia* 65:7-49.
- 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, Arizona. USA. 438 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM. Cuarta ed. México, D.F. 246 p.
- Gibson, A.C. and K. E. Horak. 1978. Systematic, anatomy and phylogeny of Mexican columnar cacti. *Ann. Missouri Bot. Garden* 65(4): 999-1057.
- González Q., L. 1972. Las cactáceas subfósiles de Tehuacán, Pue. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 17(1):3-15.
- Harlan, J. R. 1975. *Crops and Man*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin. USA. 283 p.
- Hawkes, J.G. 1983. *The Diversity of Crop Plants*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, London, England. 184 p.
- Hernández X., E. 1993. Aspects of plant domestication in Mexico: a personal view. In: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Oxford University Press. New York, USA. pp: 733-753.
- Hopkins, N.A. 1984. Otomanguan linguistic prehistory. In: Josserand, J.K., M. Winter, and N. Hopkins (eds.). *Essays in Otomanguan Culture History*. Vanderbilt University Publications in Anthropology No. 31. Nashville, Tennessee. USA. pp: 25-64.
- INEGI. 1994. *Cartas Geológicas 1:250 000, E14-5, E14-6, E14-8, E14-9*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía. Aguascalientes, México.
- León, J. 1987. *Botánica de los Cultivos Tropicales*. Segunda edición. IICA. San José. Costa Rica. 445 p.
- López R., E. 1970. *Cartas Geológicas 1:500 000 de los Estados de Oaxaca, Guerrero, Puebla y Tlaxcala*. UNAM. Instituto de Geología: Segunda edición. México, D.F.
- Luna-M., C. del C. 1999. *Etnobotánica de la pitaya mixteca (Pachycereae)*. Tesis de Doctorado en Botánica. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 158 p.
- Luna-M., C. del C. y J.R. Aguirre 2001. *Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca*. México. *Interiencia* 26(1):28-24.
- MacNeish, R. S. 1992. *The Origins of Agriculture and Settled Life*. University of Oklahoma Press. Norman, Oklahoma. USA. 433 p.
- Munsell, s/f. *The Munsell Limit Color Cascade*. Munsell Color. Macbeth Color & Photometry Division. Baltimore, USA.
- Nabham, G. P. 1990. *Gathering the Desert*. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona. USA. 209 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, México. 48 p.
- Sánchez-Mejorada R., H. 1984. Origen, taxonomía y distribución de las pitayas en México. In: *Aprovechamiento del Pitayo*. ITAO-Oaxaca, UAM. México. pp: 6-21.
- Schwanitz, F. 1966. *The Origin of Cultivated Plants*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 175 p.
- Smith, C.E. Jr. 1966. Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany* 20(2):169-175.
- Smith, C.E. Jr. 1967. Plant remains. In: D.S. Byers (ed.). *The Prehistory of the Tehuacán Valley*, Volume one: Environment and Subsistence. University of Texas Press. Austin, Texas. USA. pp: 220-225.
- Smith, C.E. Jr. 1968. Archeological evidence for selection of chupandilla and cosahuico under cultivation in Mexico. *Economic Botany* 22(2):140-148.
- 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.
- UNAM. 1970. *Cartas Climáticas 1:500 000, 14Q-VI, 14Q-VIII*. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F.
- Winter, M., M. Gaxiola G., and G. Hernández D. 1984. Archeology of the Otomanguan Area. In: Josserand, J.K., M. Winter, and N.

- Hopkins (eds.). *Essays in Otomanguan Culture History*. Vanderbilt University Publications in Anthropology No.31. Nashville, Tennessee. USA. pp: 65-107.
- Winter, M. 1996. Cerro de las Minas, Arqueología de la Mixteca Baja. Ediciones de la Casa de Cultura de Huajuapán de León. Huajuapán, Oaxaca. México. 64 p.
- Zeven, A.C. and J.M.J. de Wet. 1982. *Dictionary of Cultivated Plants and their Regions of Diversity*. Pudoc. Wageningen. The Netherlands. 263 p.
- Zohary, D. 1986. The origin and early spread of agriculture in the old world. In: C. Barigozzi (ed.). *The Origin and Domestication of Cultivated Plants*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp: 3-20.