Rev. Fitotec. Mex. 12:183—196. 1989

VARIACION EN COMPONENTES DEL FRUTO MADURO ENTRE FORMAS DE NOPAL (Opuntia spp) TUNERO

Eulogio Pimienta Barrios[1] y Ricardo Mauricio Leguízamo[2]

RESUMEN

Este trabajo forma parte de un proyecto orientado a evaluar la variación en formas de nopal tunero en poblaciones silvestres y cultivadas en el Altiplano Potosino Zacatecano y estados circunvecinos. Los resultados revelaron una amplia variación en el peso del fruto y en la proporción de sus componentes (cáscara, pulpa y semilla). En los frutos colectados en nopaleras cultivadas se registró el peso más alto del fruto (239.5 g) y de la porción comestible (pulpa, 152.1 g); en contraste, en los frutos colectados de nopaleras silvestres se registró el peso menor de fruto (35.7 g) y de porción comestible (11.7 g). En los frutos colectados en nopaleras de solar, los valores fueron intermedios. Con respecto a la variación en formas, ésta fue más abundante en nopaleras de solar que en las cultivadas y silvestres. Los resultados de esta evaluación permiten sugerir que las formas presentes en las nopaleras cultivadas se han obtenido mediante un proceso de selección empírica llevada a cabo por los habitantes de las zonas áridas, utilizando la variación existente en nopaleras de solar. Se discuten algunos aspectos relacionados con la estrategia futura de mejoramiento genético en esta especie.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zonas áridas; Cactácea; Selección.

SUMMARY

This study is part of a research project oriented to the evaluation of prickly pear forms in wild and cultivated populations, in the Plateau Potosino-Zacatecano and surrounding states. The results revealed a large variation in fruit weight and in the proportion of their components (peel, pulp and seeds). The highest weight of the fruit (239.5 g) and edible part (pulp, 152.1 g) was observed in cultivated prickly pear populations, while in the wild populations the smallest fruit (35.7 g) and edible part weights (11.7 g) were registered. Intermediate values in both fruit and edible part weights were observed in populations of "nopaleras de solar" (located in back yards of rural homes). Regarding to the variation in prickly pear forms, these were more abundant in nopaleras de solar than in the cultivated and wild populations. These results allow us to suggest that the prickly pear forms utilized in the cultivated plantations were obtained through a process of empiric selection, carried out by the people of the arid zones, using the variation existing in the back yards of their homes. Some aspects related with the future breeding strategy in prickly pear are also discussed.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Arid zones; Cactus; Selection.

INTRODUCCION

Se considera que México es el país que alberga la mayor cantidad de especies de nopal tunero en el mundo (Gibson y Nobel, 1986), distribuídas en las planicies áridas del centro y norte del país que se sitúan en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango, Aguascalientes y Jalisco. La variación más abundante en especies y formas de nopal tunero se localiza en el Altiplano Potosino—Zacatecano y estados circunvecinos

[1] Investigador del INIFAP-San Luis Potosí. Actualmente Investigador del Departamento de Investigación Científica y Superación Académica de la Universidad de Guadalajara. Avenida Juárez y Enrique Díaz de León, Guadalajara, Jalisco, México.

[2] Ex-becario. Centro Regional para Estudios de Zonas Aridas del Colegio de Postgraduados. Iturbide 73. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México.

(Pimienta *et al.*, 1987), y se encuentra en tres tipos de nopaleras: silvestres, de solar y cultivadas (Peralta, 1983; Delgado, 1985; Mauricio, 1985; Castillo, 1987).

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación orientado a evaluar la variación existente en formas de nopal tunero, en el Altiplano Potosino-Zacatecano y estados circunvecinos. En este artículo se describe la variación registrada en el peso del fruto y sus componentes (cáscara, pulpa y semilla), en nopaleras silvestres, de solar y cultivadas, con objeto de identificar formas sobresalientes de nopal tunero, en las que exista potencial para llevar a cabo selección de fenotipos superiores para el consumo fresco.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo de 1984 a 1986 en 47 localidades de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. En estas localidades se colectaron frutos en 15 nopaleras cultivadas, 26 de solar y 6 silvestres.

Descripción del Area

El área de estudio está comprendida entre las coordenadas 100° y 103° longitud oeste y 21° y 24° latitud norte, y a una altitud que oscila entre 1800 a 2300 msnm. Su clima es templado seco (BS), con temperaturas medias que fluctúan entre 12 y 18°C, registrándose las más altas en los meses de mayo y agosto y las más bajas en los meses de diciembre y enero. Las lluvias se presentan en el verano (de mayo a octubre), aunque hay algunas lluvias en invierno (Aguirre *et al.*, 1982).

Los suelos del área se originaron de rocas ígneas y depósitos sedimentarios (calizas y aluviones). Los suelos derivados de rocas ígneas son someros y pedregosos, aunque en cuencas de relleno son profundos; de textura arenosa, reacción ácida a neutra o ligeramente alcalina (pH 5.0 a 7.5), con contenido de carbonato de calcio escaso o nulo (0 a 1.5%). Cuando provienen de rocas calizas, las arenas y arcillas son las texturas más importantes; el pH oscila entre 7.0 a 9.0. En suelos que se derivan de aluviones, es característico encontrar debajo del horizonte superior, otro de induración calcárea, de color blanquecino, comúnmente denominado "caliche" (Marroquín *et al.*, 1964; Miranda y Hernández, 1964; Rzedowski, 1957, 1965).

Selección de Localidades, Nopaleras, Plantas y Frutos

En la selección de localidades se utilizó la cartografía del CETENAL, la experiencia personal adquirida a través de entrevistas en el área de estudio, y la información bibliográfica donde se ubica la existencia de nopaleras silvestres, de solar y cultivadas.

La selección de nopaleras silvestres se apoyó en los siguientes criterios: abundancia de plantas, antecedentes de haber sido sometidas a explotación por los poblados circunvecinos, accesibilidad a la localidad y facilidad para el registro de datos y toma de muestras. En el caso de nopaleras de solar, fueron seleccionadas aquellas que tenían variación de formas representativas de la localidad y del área de estudio, y cuyos propietarios mostraran disposición para proporcionar información relacionada con el aprovechamiento de este tipo de nopaleras. Para la selección de nopaleras cultivadas se consideró la accesibilidad a la localidad, la disponibilidad de los propietarios, así como la importancia de la producción que se obtenía.

En cada nopalera seleccionada se identificaron de 3 a 5 plantas representativas de la población, con frutos en estadío de

"madurez de consumo", en las que se colectaron 10 frutos que se utilizaron para evaluar los componentes del mismo.

Toma de Datos

Además de tomar nota del tipo de nopalera y del origen del material vegetativo, en los frutos colectados se registró el color, así como el peso del fruto y sus componentes (cáscara, lóculo y semillas). El peso de la porción comestible (pulpa) se estimó por diferencia entre el peso del lóculo y las semillas. También se cuantificó el número de semillas normales y abortivas.

Con los datos obtenidos se procedió a estimar la media aritmética, desviación estándard, coeficiente de variación y las correlaciones simples entre características del fruto, usando los métodos descritos por Little y Hills (1975).

Se determinaron algunos parámetros agroclimáticos de las principales localidades en que se colectaron frutos, para lo cual se utilizó cartografía de DETENAL, como: carta de climas (escala 1: 50,000), carta de isoyetas (escala 1: 50,000) y carta de isotermas (escala 1: 50,000). Esto se complementó con información climatológica obtenida de las estaciones meteorológicas localizadas en el área de estudio. También se colectaron muestras de suelos de las principales zonas productoras de nopal tunero; en éstas se llevaron a cabo determinaciones físicas y químicas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presenta una relación de características agroclimáticas de las localidades más importantes en que se llevó a cabo este trabajo. Estas regiones tienen una precipitación media anual que oscila entre 350 y 500 mm, con una temperatura media anual de 16 a 18°C y altitudes que varían de 1800 a 2225 msnm. Los suelos más comunes son los planosol y xerosol, típicos de las zonas semiáridas. La textura es media (franca, migajón-arenosa o arcillosa); el contenido de materia orgánica es bajo y varía de 0.8 a 1.8%. Los valores de pH oscilan entre 4.8 y 6.3. La mayoría de las nopaleras en que se colectaron frutos se encuentran en terrenos con pendientes menores al 5%, en las que comúnmente se desarrolla una vegetación primaria de pastizal.

De acuerdo con los datos agroclimáticos, se puede concluir que la variación ambiental es relativamente reducida, ya que en la mayoría de las localidades en que se colectaron frutos existe poca variación en altitud, precipitación, temperatura, tipo de suelo y en las propiedades físicas y químicas de éste.

Por otro lado, la evaluación practicada en este trabajo releva una amplia variación en el peso del fruto y sus componentes (cáscara, pulpa, semilla), así como en el número de semillas. Los mayores pesos de fruto se registraron en frutos colectados en nopaleras cultivadas y los menores en las silvestres (Cuadros 2, 3 y 4). Además, tanto en las nopaleras cultivadas como de solar, el mayor peso del fruto se registró en formas que producen frutos con pulpa de color verde-claro; el peso más alto (239.5 g) fue obtenido en la forma Blanca L-4 y el menor (35.7 g) en la Cardona II (Cuadro 2 y 4). Similarmente, en las nopaleras cultivadas se registró el peso más alto de la porción comestible y de las porciones no-comestibles (cáscara y semilla) del fruto. Las diferencias en el peso de la pulpa se hacen evidentes al comparar el peso promedio de cada uno de los tres tipos de nopaleras. En el caso de las nopaleras cultivadas el peso promedio de la pulpa fue de 80 g, superior al que se encontró en las nopaleras de solar (53.7 g) y silvestres

Cuadro 1. Características agroclimáticas de las principales zonas productoras de nopal tunero en el Altiplano Potosino—Zacatecano y estados circunvecinos.

Localidad	Altitud (msnm)	Precipitación pluvial anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Tipo de suelo	Textura	Materia orgánica (%)	pH
La Palma Pinos, Zac.	2130	400-500	16-18	Planosol háplico	Franco	1.8	4.8
Los Gatos Pinos, Zac.	2200	400-500	16-18	Planosol	Migajón-arcilloso	1.7	5.8
Los Alpes Pinos, Zac.	2225	400-500	16-18	Xerosol	Migajón-arcilloso	1.3	6.3
El Sitio Pinos, Zac.	2130	400-500	16-18	Planosol háplico	Franco	1.1	5.1
Ojuelo, Jalisco	2220	390-450	16-18	Xerosol	Migajón-arcilloso	1.3	6.3
Villa de Arriaga, S.L.P.	2100	400-450	16-18	Feozem	Franco	0.9	5.1
Saladillo Pánfilo Natera, Zac.	2040	400-500	16-18	Xerosol-háplico	Migajón-arcilloso	1.6	6.3
Soledad Díez Gutiérrez, S.L.P.	1840	350-400	16-18	Xerosol	Franco	0.80	5.4

Cuadro 2. Variación en el peso promedio del fruto, pulpa, cáscara y semillas, en formas cultivadas de nopal tunero.

Nombre Forma	Color pulpa	Peso fruto (g)	Peso pulpa (g)	Peso cáscara (g)	Peso semilla (g)	Número de semillas		
						Total	Normales	Abortivas
Blanca L-4	Verde-claro	239.5	152.1	79.3	8.1	431.5	374.3	57.2
Burrona	Verde-claro	205.3	126.7	70.9	7.6	299.3	274.3	25.0
Pepinillo	Verde-claro	190.6	106.8	77.1	6.6	321.5	299.8	21.7
Fafayuco	Verde-claro	170.1	85.2	79.6	5.3	241.0	239.7	1.3
Amarilla-I	Amarillo-café	166.5	99.5	61.2	4.8	288.5	271.9	16.0
Blanca L-1	Verde-claro	148.6	81.0	63.3	4.3	278.4	127.4	51.0
Blanca de Castilla	Verde-claro	147.5	75.1	67.5	4.9	337.5	243.4	82.3
Blanca V	Verde-claro	136.5	64.1	67.7	4.6	256.7	219.5	37.2
Papantón	Verde-claro	129.8	70.0	55.3	4.5	250.7	224.5	26.2
Amarillo (A-2)	Amarillo-café	124.9	69.9	50.8	4.2	250.2	224.7	25.5
Blanca L-3	Verde-claro	121.5	73.7	43.1	4.7	277.1	245.5	31.6
Naranjona	Amarillo-café	113.9	58.5	51.8	3.5	178.3	155.4	22.9
Chapeada I	Verde-claro	95.6	45.4	47.1	3.2	190.9	148.1	42.8
Amarilla VII	Amarillo-café	94.6	55.8	34.9	3.9	218.6	211.8	6.8
Charola III	Rojo-tinto	79.5	36.7	40.3	2.5	178.3	155.4	22.9
	$\bar{X}$	144.3	80.0	59.3	4.8	266.6	227.7	31.4
	$\sigma_{\bar{X}}$	44.1	30.6	14.5	1.5	66.5	64.8	20.5
	CV (%)	30.6	38.3	24.5	31.3	24.9	28.5	65.3

Cuadro 3. Variación en el peso promedio del fruto, pulpa, cáscara y semillas, en formas de nopal tunero de solar.

Nombre Forma	Color pulpa	Peso fruto (g)	Peso pulpa (g)	Peso cáscara (g)	Peso semilla (g)	Número de semillas		
						Total	Normales	Abortivas
Fafayuco-III	Verde-claro	150.6	77.5	68.2	4.4	212.5	210.8	1.7
Virginia	Verde-claro	148.5	75.7	64.5	4.6	299.0	187.0	112.0
Blanca corriente	Verde-claro	140.9	77.8	56.9	4.2	313.6	272.2	41.4
Amarilla-III	Amarillo-café	140.5	82.1	52.3	5.0	265.6	235.6	30.0
Amarilla-V	Amarillo-café	137.6	61.3	72.8	7.6	254.7	172.0	82.7
Chapeada-III	Verde-claro	119.4	67.2	48.0	4.1	260.3	211.1	49.2
Chapeada-IV	Verde-claro	119.3	61.5	54.7	3.1	219.2	179.8	39.4
Chapeada-V	Verde-claro	116.5	50.4	62.9	4.8	187.9	156.0	41.9
Camuesa-I	Rojo-guinda	117.1	50.4	58.4	2.8	229.2	167.7	60.5
Rojo dulce	Rojo-guinda	109.5	58.4	47.1	3.9	262.2	234.0	28.2
Fafayuco-II	Verde-claro	104.1	60.6	40.2	3.3	210.3	204.9	5.4
Charola-I	Rojo-tinto	100.9	49.9	48.9	3.0	183.1	175.8	7.4
Bola de Masa-II	Verde-claro	100.7	54.9	40.3	2.6	192.4	169.8	22.6
Pelón-Liso-I	Rojo	100.6	53.1	44.2	3.3	190.6	165.1	25.5
Bola de Masa-I	Verde-claro	95.5	50.2	42.4	2.8	192.5	155.5	37.0
Zarca	Rosa-blanco	94.9	53.1	39.9	1.9	221.0	190.6	30.5
Chapeada-II	Verde-claro	93.8	43.8	46.7	3.2	210.5	165.8	53.7

Continúa.....

Cuadro 3. Continuación.....

Nombre Forma	Color pulpa	Peso fruto (g)	Peso pulpa (g)	Peso cáscara (g)	Peso semilla (g)	Número de semillas		
						Total	Normales	Abortivas
San José	Rojo	89.7	46.4	40.1	3.1	229.6	215.1	14.5
Charola-IV	Rojo-tinto	89.5	42.4	44.6	2.7	184.7	172.6	12.1
Bola de Masa-III	Verde-claro	88.5	45.5	40.9	2.0	257.6	195.6	62.0
Jarilla	Naranjona-café	84.6	43.7	37.9	2.8	231.3	230.8	0.5
Pelón Liso-II	Rojo	84.4	49.9	34.9	2.5	158.1	132.9	25.2
Blanca-IV	Verde-claro	79.3	44.4	35.1	3.1	248.2	218.0	30.8
Charola-II	Rojo-tinto	68.6	33.6	32.7	2.3	161.7	150.8	10.9
Pachona	Guinda-rosa	65.8	29.1	34.6	2.1	184.1	182.5	1.6
Amarilla-IV	Amarillo-café	64.4	34.7	27.8	1.9	137.5	136.3	1.2
	$\bar{X}$	100.2	53.7	46.8	3.4	219.1	188.0	31.8
	$\sigma_{\bar{X}}$	25.4	13.8	11.6	1.2	42.8	33.5	26.9
	CV (%)	25.3	25.7	24.8	35.3	19.5	17.8	84.6

Cuadro 4. Variación en el peso promedio del fruto, pulpa, cáscara y semillas, en formas silvestres de nopal tunero.

Nombre Forma	Color pulpa	Peso fruto (g)	Peso pulpa (g)	Peso cáscara (g)	Peso semilla (g)	Número de semillas		
						Total	Normales	Abortivas
Tapón-2	Morado	76.2	29.5	39.7	7.0	489	398	49
Cascarón	Rojo-púrpura	59.1	18.3	38.0	2.1	162	156	6
Duraznillo-acardonado	Roja	58.5	21.2	34.6	2.2	200	191	9
Tapón-1	Morado	58.1	21.7	33.2	3.1	162	156	6
Cardona I	Rojo-tinto	48.2	16.5	29.8	1.8	150	147	3
Cardona II	Rojo-tinto	35.7	11.7	22.8	1.1	96	95	1
	$\bar{X}$	56.0	19.8	33.2	2.9	209.8	190.5	12.3
	$\sigma_{\bar{X}}$	13.4	6.0	6.2	2.1	140.8	106.3	18.2
	CV (%)	24.0	30.2	18.8	73.0	67.1	55.8	147.7

(19.8 g). También en la porción no—comestible el peso promedio fue mayor en las formas provenientes de las nopaleras cultivadas (Cuadros 2, 3 y 4).

Las formas con mayor peso de fruto (Blanco L-4, Pepinillo y Burrona) se caracterizan por presentar pencas más vigorosas en comparación con las formas en que se registraron los frutos con peso menor, en los tres tipos de nopaleras. Estas diferencias en vigor vegetativo y reproductivo, se pueden atribuir a los diferentes niveles de ploidía entre las formas evaluadas. Al respecto, en estudios citogenéticos llevados a cabo en diferentes especies de nopal tunero, se han registrado niveles de 2n,4n, 6n y 8n, correspondiendo el nivel más alto a formas silvestres (Sosa, 1964; Brutsch, 1984).

La gran variabilidad detectada en el peso del fruto y en sus componentes no puede ser atribuida exclusivamente a diferencias ambientales, las cuales fueron relativamente pequeñas de acuerdo a los datos agroclimáticos presentados; ni tampoco a efectos de manejo, pues en la mayoría de las plantaciones cultivadas no se realizan prácticas de manejo (e.g. poda, fertilización). Gibson y Nobel (1986) mencionan que la variación que existe en nopal tunero se atribuye principalmente a la hibridación entre especies distintas y a la duplicación de cromosomas, que da origen a especies nuevas poliploides. En este sentido, las evidencias que fundamentan la ocurrencia de hibridación entre distintas especies de *Opuntia* se basan en la coincidencia de los períodos de floración (Rodríguez, 1981), al hecho de que algunas formas silvestres de nopal tunero comparten insectos polinizadores (Grant y Grant, 1979; García, 1984), al grado de similitud morfológica y a la existencia de variación gradual entre especies simpátricas (Gibson y Nobel, 1986). Esto último se interpreta en el sentido de que en las especies involucradas ha ocurrido introgresión recíproca, sin considerar la posibilidad de que las semejanzas morfológicas y la variabilidad fenotípica puedan deberse a que especies relacionadas, por poseer complejos génicos similares, sufran evolución convergente originándose información semejante a la que se esperaría por efecto de introgresión (Kato, 1986).

La posibilidad de introgresión interespecífica, como una de las principales fuentes de variación en nopal tunero, se debilita con los reportes recientes de que el fenómeno de cleistogamia preantesis observada en formas silvestres y cultivadas, es frecuente (Rosas y Pimienta, 1986; Trujillo, 1986); además, la autopolinización ocurre inmediatamente después de la apertura de la flor, de modo que los insectos polinizadores, por lo general, depositan el polen en estigmas que ya han sido autopolinizados (Rosas, 1984). Así mismo, se ha encontrado que la receptividad del estigma empieza antes de la apertura de la flor, por lo que se espera que los granos de polen derivados de la autopolinización, antes de la apertura floral (cleistogamia) o al momento de la misma, germinan primero que los que provienen de otras flores de la misma o diferente especie (Rosas y Pimienta, 1986).

De lo anterior no se pretende concluir que la hibridación no sea una causa importante de variación en nopal tunero; sólo se desea destacar que las evidencias disponibles carecen de argumentos sólidos que fundamenten la participación del flujo genético (hibridación) entre especies distintas de nopal tunero como fuente de variación. Por otro lado, existen fundamentos para suponer que los cambios en nivel de ploidía contribuyen a la expresión de variación en *Opuntia* y en otras cactáceas. Esta suposición se avala por el hecho de que la distribución de poliploidía es frecuente en especies vegetales como el nopal, que son perennes y se propagan

asexualmente (Brewbaker, 1967), lo cual se ha constatado por estudios citogenéticos (Sosa, 1964; Brutsch, 1984).

Aparentemente, la variabilidad en niveles de ploidía que permite la expresión fenotípica de diferencias visibles en vigor vegetativo (e.g. tamaño de pencas) y reproductivo (e.g. tamaño de frutos), facilitó el proceso de selección empírica llevada a cabo por los habitantes de las zonas semiáridas del Altiplano Potosino-Zacatecano y estados circunvecinos, y permitió identificar formas de nopal tunero con características deseables para su cultivo. Esta estrategia, que se apoya en la identificación de fenotipos superiores en poblaciones naturales, ha sido el primer paso en el mejoramiento genético en las especies frutales más importantes que se cultivan en diferentes países.

Como las nopaleras de solar son más antiguas que las cultivadas, puede suponerse que los primeros fenotipos seleccionados fueron acopiados en nopaleras de solar para satisfacer necesidades de autoconsumo y estéticas. Posteriormente, en estas poblaciones se debió llevar a cabo una segunda selección de fenotipos que se utilizaron para el establecimiento de las actuales nopaleras cultivadas. Esta segunda selección tuvo que haber sido más rigurosa debido a que necesariamente se tuvieron que tomar en cuenta aspectos relacionados con la adaptación a factores adversos que limitan la actividad agrícola en las zonas áridas (e.g. sequía, heladas, daños por fauna silvestre) y aspectos relacionados con el proceso de comercialización (como forma, tamaño y calidad del fruto, resistencia del fruto al manejo durante la cosecha, embalaje y transporte). Este proceso de selección empírica es relativamente reciente, ya que el desarrollo de las nopaleras cultivadas empezó en los años 50's.

Las nopaleras de solar constituyen un centro de acopio de formas de nopal tunero donde, además de la variación en el peso del fruto y en sus componentes, se ha generado una amplia variación en atributos fenológicos (períodos de floración y maduración de frutos), composición química de la pulpa, longevidad de frutos maduros en la planta y en el almacenamiento, en la resistencia natural al transporte, etc. (Delgado, 1985; Mauricio, 1985; Pimienta *et al.*, 1987). Se sugiere continuar el proceso de selección de formas de nopal tunero en este tipo de nopaleras.

Respecto al número de semillas por fruto (Cuadros 2, 3 y 4), en las nopaleras cultivadas también se obtuvieron los promedios más altos. Las cinco formas cultivadas (Cuadro 2) con más semillas fueron: Blanca L-4 (431.5); Blanca de Castilla (337.5); Pepinillo (321.5) y Burrona (299.3). En las formas de solar (Cuadro 3) el mayor número de semillas se encontró en los frutos de Blanca Corriente (313.6) y Virginia (299.0). En las nopaleras silvestres (Cuadro 4) el número más alto se encontró en la forma Tapón-2 (489.0). Se encontró también variación en la cantidad de semillas abortivas entre los tres tipos de nopaleras. El número promedio de semillas abortivas por fruto en las nopaleras cultivadas varió de 1.3 a 82.3; en las de solar de 1.2 a 112.0 y en las silvestres de 1 a 49. Estos valores tendieron a ser mayores en frutos con pulpa verde-claro (e.g. Virginia, Blanca de Castilla), y menores en frutos de color rojo o morado en nopaleras silvestres (Cuadros 2, 3 y 4).

Es importante mencionar que de 15 formas registradas en el grupo de nopaleras cultivadas, 10 corresponden a formas que producen frutos con pulpa de color verde-claro; en contraste, en las de solar se encontró una variación de formas con diferentes

colores de pulpa. En las nopaleras silvestres es raro encontrar frutos con pulpa de color verde-claro (una excepción es el Cardón Blanco) y amarillo-café. La mayoría de las formas colectadas en este tipo de nopalera producen frutos con pulpa de color morado y rojo.

El análisis de correlación en nopaleras cultivadas reveló que los componentes del fruto que presentaron las correlaciones positivas más altas con el peso del fruto fueron: peso de pulpa (r = 1.00***), peso de semilla (r = 0.96***), peso de cáscara (r = 0.88***), número de semillas totales (r = 0.87***); y número de semillas normales (r = 0.82***); en cambio, la correlación con el número de semillas abortivas no fue significativa (Cuadro 5).

En las nopaleras de solar, la variable que presentó correlación positiva más alta con el peso del fruto fue también el peso de pulpa (r = 0.93***), al igual que en las cultivadas; pero en este caso el segundo coeficiente de correlación corresponde al peso de la cáscara (r = 0.77***), el tercero a peso de semilla (r = 0.66***) y el cuarto al número total de semillas (r = 0.66**). En contraste con las formas cultivadas, en las formas de solar se registró correlación positiva y significativa entre peso del fruto y el número de semillas abortivas (r = 0.53**).

En el caso de las nopaleras silvestres, el peso del fruto también presentó correlación positiva con todos los componentes del fruto estudiados, siendo la más alta con el peso de la pulpa (r = 0.970**) y la más baja con el número de semillas abortivas (r = 0.82*).

Es de hacerse notar que en las tres formas de nopal hubo una correlación positiva entre el peso de la pulpa y el peso de las semillas. En las nopaleras cultivadas, el peso de la cascara correlacionó positivamente con el peso de las semillas (r = 0.69**) y con el número de semillas totales (r = 0.66**); en las de solar, con peso de semilla (r = 0.81***), con el número de semillas totales (r = 51**) y con el de abortivas (r = 0.582**); en contraste, en las silvestres ninguna correlación entre el peso de la cáscara con el resto de componentes del peso del fruto resultó positiva.

El número total de semillas presentó correlación estadística con el número de semillas normales y abortivas en las nopaleras de solar y silvestres, pero en las cultivadas únicamente con las semillas normales.

De las correlaciones mencionadas, la más notable son entre el peso del fruto y el de la pulpa, y el peso de la pulpa con el peso y número de semillas. La correlación registrada entre la pulpa y las semillas es lógica, ya que estudios anatómicos recientes revelaron que la porción comestible se origina de la envoltura funicular y el funículo de la semilla (Pimienta y Engleman, 1985). Es probable que el desarrollo de la pulpa se deba a estímulos fisiológicos generados en la semilla, como se informa que ocurre en otros tipos de frutos (Leopold y Kriedemann, 1975).

En cuanto al empleo de la tuna para el consumo fresco, uno de los factores que lo limitan es el tamaño y número de semillas en el fruto. En Chile se ha intentado reducir esta limitante mediante la aplicación de ácido giberélico para inducir la partenocarpia. Se menciona haber logrado la formación de frutos partenocárpicos, en los que se diferenciaron "semillas falsas chicas" (Gil y Espinosa, 1980). Esta aseveración es contradictoria si se considera que por definición un fruto partenocárpico se desarrolla sin el estímulo de la fecundación; es decir, sin semillas. El que estos frutos hayan formado "semillas falsas chicas", es una evidencia de que ocurrió

Cuadro 5. Coeficiente de correlación simple entre el peso del fruto y sus componentes, en formas cultivadas (1), de solar (2) y silvestre (3) de nopal tunero.

Variables		Peso pulpa	Peso cáscara	Peso semilla	No. total semillas	No. semillas normales	No. semillas abortivas
Peso fruto	(1)	1.00***	0.88***	0.96***	0.87***	0.82***	0.19
	(2)	0.93***	0.77***	0.66***	0.66***	0.41*	0.53***
	(3)	0.97**	0.93**	0.87*	0.86*	0.88*	0.82*
Peso pulpa			0.74***	0.93***	0.87***	0.84***	0.15
			0.69***	0.64***	0.67***	0.54**	0.32
			0.50	0.93**	0.90**	0.92**	0.87*
Peso cáscara				0.69**	0.66**	0.46	0.28
				0.81***	0.51**	0.19	0.58**
				0.66	0.66	0.69	0.53
Peso semilla					0.84***	0.86***	—0.39
					0.51**	0.27	0.49**
					0.66	0.69	0.61
No. total de semillas						0.83***	0.51
						0.78***	0.60***
						0.97**	0.97**
No. de semillas normales							0.61
							—0.02
							0.99***

*, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

fecundación, y que lo más probable es que el ácido giberélico haya afectado el desarrollo de las semillas, dando origen a tales semillas pequeñas. Una opción que parece más viable para minimizar este problema, es seleccionar formas de nopal tunero cuyos frutos diferencien semillas abortivas. En este trabajo se detectaron formas con un número relativamente alto de semillas abortivas (e.g. Virginia, Blanca de Castilla), en nopaleras cultivadas y de solar. Recientemente se encontró una forma de nopal del tipo Amarillo, en que a pesar de que la mayoría de las semillas eran normales, éstas eran lo suficientemente blandas para masticarse; esto puede ser otra opción interesante en torno a la limitante asociada con la presencia de semillas para el consumo fresco.

CONCLUSIONES

Los pesos más altos de fruto y de porción comestible se encontraron en nopaleras cultivadas y los menores en silvestres. La variación en el número de formas, es más abundante en nopaleras de solar, que en cultivadas y silvestres.

Las nopaleras de solar constituyen un centro de acopio de una gran diversidad de formas de nopal tunero, con características deseables para el consumo fresco, en la que existe potencial para seleccionar fenotipos sobresalientes para su uso en plantaciones cultivadas.

Se supone que las formas de nopal tunero que se utilizan en las poblaciones cultivadas, se han obtenido a través de un proceso de selección empírica practicada por los habitantes del área de estudio, utilizando la variación existente en nopaleras de solar.

La variación existente en formas de nopal tunero en el Altiplano Potosino-Zacatecano y estados circunvecinos no puede ser atribuida únicamente a gradientes ambientales o prácticas de manejo. Las evidencias morfológicas y fenológicas registradas en este trabajo sugieren que la variación en nopal tunero se debe al efecto combinado de la hibridación natural y a cambios en el nivel de ploidía.

BIBLIOGRAFIA

Aguirre R., J. R., E. García M. y B. Figueroa S. 1982. Los sistemas agrícolas del Altiplano Potosino-Zacatecano. Documento de Trabajo del CREZAS-CP. No. 5. 26 p.

Brewbaker, L. J. 1967. Genética Agrícola. Manuales UTEHA No. 303. 261 p.

Brutsch, O. M. 1984. Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) cultivation in Southern Africa. *In*: Symposium on Agricultural Use of Cactaceae, Prospects and Problems. 18th Congress of the International Organization for Succulent Plant Study. Frankfurt, W. Germany. Manuscrito Inédito.

Castillo C., M. 1987. Caracterización de la producción y comercialización de nopal (*Opuntia* spp) tunero en el Altiplano Potosino-Zacatecano y estados circunvecinos. Tesis Profesional. Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 138 p.

Delgado A., A. 1985. Caracterización de la variación en algunos componentes químicos del fruto (tuna) de nopal (*Opuntia* spp) tunero en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. 141 p.

García S., R. 1984. Patrones de polinización y fenología floral en poblaciones de *Opuntia* en San Luis Potosí y Zacatecas. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales-Zaragoza, UNAM. 128 p.

Gibson, C. A. and **P. Nobel.** 1986. The Cactus Primer. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 286 p.

Gil, G. y A. Espinoza R. 1980. Desarrollo de frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill) con aplicación prefloral de giberelina y auxina. Ciencia e Investigación Agraria 8 (2): 141-146.

Grant, V. and A. K. Grant. 1979. Pollination of *Opuntia basilaris* and *O. littoralis*. Pl. Sist. Evol. 132: 321-325.

Kato Y., A. 1986. Infiltración genética entre especies silvestres y cultivadas. *En*: Memoria del Seminario La Aplicación de la Citogenética en el Conocimiento Biológico de los Recursos Vegetales en México. III Seminario Maximino Martínez. Guadalupe Palomino H. (coord.). Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM. pp. 47-55.

Leopold, A. C. and D. E. Kriedemann. 1975. Plant Growth and Development. The Mc Graw Hill Publishing Co. New Delhi. 545 p.

Little, M. T. and F. J. Hills. 1975. Statistical Methods in Agricultural Research. University of California, Davis. 241 p.

Marroquín S., J., Borja, J. G., R. C. Velázquez y A. J. de la Cruz. 1964. Estudio ecológico-dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. Publicación Especial No. 2. INIF, SAG. 166 p.

Mauricio J., R. 1985. Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (*Opuntia* spp) tunero en el Altiplano Potosino-Zacatecano. I. Primavera-Verano 1983. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura. Universidad de Guadalajara. 113 p.

Miranda, F. y E. Hernández X. 1964. Fisiografía y vegetación. *En*: Las Zonas Aridas del Centro y Noreste de México y el Aprovechamiento de los Recursos. IMNR, México. Ed. Beltran (ed.). pp. 1-28.

Peralta M., M. V. 1983. Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (*Opuntia* spp) de fruto (tuna) en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis Profesional. Centro Agropecuario, Universidad Autónoma de Aguascalientes. 88 p.

Pimienta B., E. y E. M. Engleman. 1985. Desarrollo de la pulpa y la proporción en volumen de los componentes del lóculo maduro en tuna (*Opuntia ficus-indica*) (L) Miller). Agrociencia 62: 51-56.

_____, **A. Delgado A. y R. Mauricio L.** 1987. Evaluación de la variación en formas de nopal (*Opuntia* spp) tunero en la zona centro de México. *In*: Stretegies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones. Tucson, Az. pp. 82-86.

Rodríguez A., O. 1981. Fenología reproductiva y aporte de frutos y semillas en dos nopaleras del Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Rosas C., P. 1984. Polinización y fase progámica en *Opuntia* spp. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. 76 p.

_____, y **E. Pimienta B.** 1976. Polinización y fase progámica en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller). Fitotecnia 8: 164-176.

Rzedowski J. 1957. Vegetación de las partes áridas de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. pp. 49-101.

_____. 1965. Vegetación del Estado de San Luis Potosí. Acta Científica Potosina. Vol. IV. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 177 p.

Sosa C., R. 1964. Microsporogénesis, importancia económica y distribución de tres especies del género *Opuntia*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

Trujillo A., S. 1986. Hibridación, aislamiento y formas de reproducción en *Opuntia* spp. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 79 p.

NOTAS

CONTENIDO DE CITOCININAS EN CLONES DE PAPA CON DIFERENTES GRADOS DE RESISTENCIA AL NEMATODO DORADO

Raúl Rodríguez Herrera[1], Gelacio Pérez Ugalde[2] y Homero Ramírez Rodríguez[2]

RESUMEN

Bajo condiciones de ataque severo del nemátodo dorado (*Globodera rostochiensis* Mulvey y Stone) la papa (*Solanum tuberosum* L.) presenta un reducido número y tamaño de hojas y tubérculos, poca altura de planta y senescencia foliar temprana. Esto podría estar relacionado con una inadecuada producción de citocininas por la planta. En consecuencia, en 1986 se realizó el presente trabajo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con el objetivo de determinar la cantidad y el grado de correlación de las citocininas presentes en la raíz de nueve clones de papa los cuales variaban en su nivel de resistencia a *G. rostochiensis*. El contenido de citocininas se determinó mediante cromatografía de capa fina; la correlación se calculó entre el contenido de citocininas/g de peso seco de la raíz y el número de quistes del nemátodo que se producían en el clon. En todos los clones se encontró actividad biológica de citocininas. La correlación obtenida (0.14 ns) permite concluir que el ataque del nemátodo no interfiere con la producción de citocininas por la planta.

[1] Investigador del Campo Experimental Río Bravo. INIFAP. Apartado Postal No. 172. 88900 Río Bravo, Tamps.

[2] Profesores Investigadores del Departamento de Fitomejoramiento y de Horticultura, respectivamente; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 25000 Buenavista, Saltillo, Coah., México.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Solanum tuberosum L.; *Globodera rostochiensis*; Cromatografía de capa fina; Enfermedades; Resistencia genética.

SUMMARY

Potato crop (*Solanum tuberosum*) severely affected by *Globodera rostochiensis* (Golden nematode) often shows reduction in number and size of leaves and tubers as well as reductions in plant height and premature leaf senescense. These effects may be due to a decrease in endogenous cytokinins production. The present study was conducted during 1986 at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, in order to determine and correlate the cytokinin content in roots of nine potato clones with different degrees of resistence to *G. rostochiensis*. Thin layer chromatography for cytokinin analysis was used. Biological activity in all the clones was observed. The correlation value (0.14 ns) between nematode cysts number and root cytokinin content, indicates that the presence of the nematode does not interfere with cytokinin production.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Solanum tuberosum L.; *Globodera rostochiensis*; Thin layer chromatography; Plant diseases; Genetic resistance.

INTRODUCCION

Los síntomas principales que presenta la planta de papa (*Solanum tuberosum*) bajo ataque severo de *G. rostochiensis* son: tubérculos y hojas pequeñas, poca altura de planta y senescencia precoz (Trudgill *et al.*, 1975). Algunos reguladores del crecimiento de las plantas, como las citocininas, han sido involucrados en la promoción de un mayor número y tamaño de tubérculos (Castaño, 1986), de un mayor número de hojas y en el