

# CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE 40 CULTIVARES DE NOPAL DE USO COMO HORTALIZA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CRUCEN-UACH

C. Gallegos-Vázquez<sup>1</sup>; R. D. Valdez-Cepeda<sup>1</sup>; M. Barrón-Macías<sup>2</sup>;  
A. F. Barrientos-Priego<sup>3</sup>; J. Andrés-Agustín<sup>4</sup>; R. Nieto-Ángel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Fruticultura. Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo, Apdo. Postal 196, Zacatecas, Zacatecas. C. P. 98000. MÉXICO.  
Correo-e: clemgava@gmail.com (Autor responsable)

<sup>2</sup>Centro Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios Núm. 215, DGETI-SEIT-SEP. Loreto, Zacatecas. MÉXICO.

<sup>3</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

<sup>4</sup>Programa de Fruticultura, Centro Regional Universitario Centro Occidente. Universidad Autónoma Chapingo. Morelia, Michacán. MÉXICO

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivos caracterizar 40 cultivares de nopal para verdura de la colección de germoplasma de nopal del CRUCEN-UACH con base en atributos morfológicos de cladodios maduros de un año de edad y clasificar numéricamente a esos genotipos. Para tal fin se consideraron 14 variables (cualitativas y cuantitativas) seleccionándose 10 cladodios sin daños causados por factores bióticos o abióticos. Los métodos de análisis multivariado de componentes principales y conglomerados permitieron agrupar en cinco clases a los 40 cultivares de nopal. Los cultivares Tapón Macho, Copena F-1 y Oreja de Elefante conforman un grupo cada uno. El análisis de componentes principales evidenció que 'Tapón Macho' se diferencia del resto de cultivares debido a la gran presencia de espinas en sus cladodios, mientras que 'Copena F-1' por sus cladodios sumamente alargados, y 'Oreja de Elefante' por su margen ondulado y su superficie extremadamente cerosa. Los cultivares Tamazunchale, Nopalea Jalpa y Llera conforman un grupo compacto de material vegetativo caracterizado principalmente por su textura extremadamente cerosa y una relación L/A grande, principalmente. A su vez, el grupo conformado por 34 cultivares puede ser dividido en al menos dos subclases o subgrupos. Una de esas subclases puede ser conformada por los cultivares Chihuahua, T-L, P-8 Rojo y 40. P-8 Rojo y 40 tienden a presentar cladodios con gran número de areolas de colores oscuros, mientras que 'Chihuahua' tiende a producir cladodios obovados, anchos con margen ondulado y textura cerosa; y 'T-L' tiene cladodios relativamente más alargados que el resto de los cultivares con la excepción clara de 'Copena F-1'. El resto de cultivares conforman un grupo más compacto que los ya mencionados, caracterizado por una combinación compleja de atributos morfológicos.

**PALABRAS CLAVES ADICIONALES:** *Opuntia*, nopal verdura, análisis multivariado, componentes principales.

## MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF 40 NOPAL CULTIVARS USED AS A VEGETABLE AT THE GERMOPLASM BANK OF THE CRUCEN-UACH

### SUMMARY

This study had the objective of characterizing 40 nopal cultivars for use as a vegetable in the nopal germplasm collection of the CRUCEN-UACH based on morphological attributes of one-year-old mature cladodes and to numerically classify those genotypes. Fourteen qualitative and quantitative variables were considered for this purpose: 10 cladodes that were undamaged by biotic or abiotic factors were selected. The analysis method was a multivariate analysis of the main components and conglomerates which allowed the grouping of the 40 nopal cultivars into five classes. The Tapón Macho, Copena F-1 and Oreja of Elefante cultivars each made up a group. The analysis of the main components showed that 'Tapón Macho' differed from the other cultivars because of the great numbers of thorns in its cladodes, while 'Copena F-1' differed for its very long cladodes, and 'Oreja of Elefante' differed for its curly edge and very waxy surface. The Tamazunchale, Nopalea Jalpa and Llera cultivars made up a group of compact vegetable material characterized

mainly by its very waxy texture and a large L/A ratio. On the other hand, the group of 34 cultivars can be divided into at least two subclasses or subgroups. One of these subclasses can be made up of the Chihuahua, T-L, P-8 Rojo and 40. P-8 Rojo cultivars and 40 tend to have cladodes with a large number of dark colored areolas, while the 'Chihuahua' tends to produce oval cladodes, wide with a wavy edge and a waxy texture; 'T-L' has relatively longer cladodes than the other cultivars, except for the clear exceptions of 'Copena F-1'. The rest of the cultivars make up a more compact group than the one already mentioned which is characterized by a complex combination of morphological attributes.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** *Opuntia*, vegetable nopal, multivariate analysis, main components

## INTRODUCCIÓN

En México, por nopales se identifica a plantas de la familia Cactaceae de los subgéneros *Opuntia* y *Nopalea* (Flores y Gallegos, 1993), cuyo distintivo principal son sus yemas homólogas (Bravo, 1978). La utilización del nopal (*Opuntia* spp.) como alimento por el hombre mesoamericano, data de entre 7,000 y 9,000 años a. C., de acuerdo con los hallazgos arqueológicos conducidos por R. S. Mc. Neish en las regiones semiáridas del SW de Tamaulipas y en el Valle de Tehuacán, Puebla (Heiser, 1981). De acuerdo con Nobel (1998), alrededor de la mitad de los excrementos humanos momificados contenían remanentes tanto de magueyes (*Agave* spp.) como de nopales corroborando con ello el consumo de tales plantas. Con base en estas evidencias arqueológicas y de acuerdo con Colunga *et al.* (1986), estas especies, que actualmente son alimentos suplementarios, alguna vez fueron más importantes en la dieta de los habitantes de estas regiones. De acuerdo con Reyes y Aguirre (1999), en Aridoamérica, el aprovechamiento prehispánico del nopal se realizó con base en el proceso de recolección (de frutos y artículos tiernos) de "nopaleras" silvestres para luego transitar al establecimiento de plantaciones (de especies deseadas o sobresalientes) próximas a su vivienda que condujo a una hibridación entre especies normalmente separadas por la naturaleza y la creación de nuevos cultivares (Nobel, 1994) y finalmente aprovechando lo más selecto de su riqueza genética se ha cultivado en plantaciones comerciales (Reyes y Aguirre, 1999; Gallegos y Méndez, 2000).

Actualmente, en México existe una enorme diversidad de tipos o formas de nopal que ubica a este país como el probable centro de origen de dicho género. Esta circunstancia ha permitido seleccionar genotipos en nopaleras silvestres y huertas familiares para cultivarlos para fruta, verdura o "nopalitos", forraje e industrialización (Bravo, 1978; Borrego y Burgos, 1986; Fernández *et al.*, 2000; Gallegos y Méndez, 2000).

Desafortunadamente, la apertura de tierras al cultivo de especies productoras de granos básicos y la disminución de los huertos familiares de nopal, están provocando la desaparición de cultivares y variantes de nopal valiosos, los cuales han sido desarrollados a través de miles de años de agricultura y los cuales aún no están representados en bancos de germoplasma (Gallegos *et al.*, 1994). Estos genotipos, después de ser evaluados cuidadosamente, podrían ser utilizados como progenitores donadores en programas de mejoramiento genético de la especie.

Por otra parte, el impacto económico del nopal se fundamenta en el aprovechamiento integral de la totalidad de la planta. En cuanto a la importancia del nopal como verdura se refiere, las cifras proporcionadas por Flores *et al.* (1997), indican que el nopalito ocupa el quinto lugar por su volumen de producción y el doceavo lugar por la superficie de cultivo dentro del rubro de las hortalizas, con un consumo *per capita* de 6.38 kg-año<sup>-1</sup>, 10,000 ha de plantaciones comerciales orientadas a la producción de nopal verdura o de uso como hortaliza. La producción de nopal verdura se basa fundamentalmente en dos cultivares ('Milpa Alta' y 'Atlixco' o 'Negrito') de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., disponiéndose de otras 38 accesiones recolectadas e incorporadas al Banco de Germoplasma de Nopal del CRUCEN-UACH, las cuales están siendo evaluadas y caracterizadas para su conservación y utilización.

Finalmente, es de primordial importancia partir del reconocimiento de que la tendencia actual de los recursos genéticos a nivel internacional es hacia la dispersión ordenada, reconociendo los derechos de los países poseedores y con un claro propósito conservacionista, de manera que resulta estratégico para México continuar con las tareas de rescate, evaluación, documentación y preservación de la diversidad genética de nopal del que México es poseedor.

En consecuencia, y dado el papel relevante de las especies del género *Opuntia* en la ecología de las zonas áridas y semiáridas, en la agricultura y a su valiosa diversidad, se desarrolló el presente trabajo de investigación con los objetivos de: evaluar las características morfológicas de cladodios maduros de 40 cultivares de nopal para verdura del Banco de Germoplasma del CRUCEN-UACH, y determinar cuales son más útiles para la distinción de sus genotipos; y agrupar o diferenciar los genotipos a partir de sus características morfológicas y contribuir a la ordenación del género *Opuntia*.

## Conceptos sobre de ordenación y clasificación

### Selección de especies, accesiones, genotipos, cultivares, etc.

La cantidad de especies, accesiones, genotipos y/o cultivares de *Opuntia* a ser incluidos debe ser grande, de forma tal que sea una muestra representativa. Por ejemplo, se deben incluir aquellos (as) que sean caracterizados tanto

por hábitos de crecimiento rastrero como de crecimiento erecto; pues si principalmente se incluyen los de hábito de crecimiento rastrero, entonces, con la inclusión de pocos de hábito de crecimiento arbustivo, se podría interferir con el análisis para la agrupación porque aquellos atributos asociados con el hábito de crecimiento erecto son no representativos del rango de variación de dichos atributos.

### Definición de atributos

La selección de los atributos es invariablemente más importante que la selección de las especies, accesiones, genotipos y/o cultivares. Si el propósito de la clasificación es básica (para uso general), se deben incluir tantos atributos como sea posible para que sirva a una amplitud de objetivos. Sin embargo, debe quedar claro que con la finalidad de que la clasificación sea efectiva y comprensible, los atributos (que reflejan la genética, e. g. nivel de ploidía y número cromosómico; la filogenia; la morfología; y la productividad) usados para formar las clases deberán contener el máximo de información posible (Arkley, 1976). Esto significa que deben ser aquellos que tengan: mayor valor de predicción de la naturaleza y del comportamiento de las plantas de *Opuntia* cuando son sometidas a diferentes ambientes. Es claro que el conocimiento de las preferencias ambientales de las especies, así como de su distribución geográfica, es en grado sumo importante si el uso de los genotipos colectados es el de mejoramiento genético (Pengelly y Eagles, 1995).

Algunos investigadores han evidenciado que la morfología de las plantas de una misma especie no siempre está fuertemente relacionada con la distribución geográfica (Pengelly y Eagles, 1995). Además, la covarianza con otros atributos no considerados para definir los grupos o clases. Un gran número de atributos no es necesario para clasificar el género *Opuntia* (Pengelly y Eagles, 1995).

### Escalas y ponderaciones de atributos

Algunos tipos de medición de los atributos de las especies, genotipos y/o cultivares son más fáciles de realizar que otros; unos atributos son de mayor interés para el usuario, por lo que pueden ser sobre-representados e indebidamente ponderados; y también, el uso de un gran número de atributos involucra una gran inversión en tiempo y dinero, especialmente si se involucra una muestra grande de cada genotipo. Por ello, es conveniente que en la primera etapa se contemple un buen número de variables estandarizadas para ponderarlas igualmente; es imprescindible también que se pondere de forma tal que se iguale la contribución de atributos discretos y continuos (Valdez *et al.*, 1996).

En este rubro se debe evitar el problema de sesgo mediante alguna transformación de los valores del (los) atributo (s), y en la etapa final de la clasificación se reduzca el número de atributos a una cantidad manejable pero todavía de magnitud efectiva para realizar análisis de covarianza entre ellos (Pengelly y Eagles, 1995).

### Fundamentos teóricos de la ordenación

El método de componentes principales (CP's) es de gran utilidad como una técnica de ordenación en taxonomía numérica en plantas (Sneath y Sokal, 1973), porque permite reducir la dimensionalidad (Pla, 1986; James y McCulloch, 1990; Parent *et al.*, 1994) del problema, es decir el número de variables (dimensiones), al eliminar los atributos que aportan poca información (Pla, 1986) y remover la redundancia y el efecto aleatorio entre variables correlacionadas (Parent *et al.*, 1994). Este método se basa en la maximización de la varianza de las transformaciones lineales de los valores de los atributos, es decir, en la generación de vectores y valores propios. Es recomendable la generación de esas nuevas variables (CP's) tomando como base la matriz de correlación, producto de los valores estandarizados de los atributos para evitar la sensibilidad a las diferencias de escala en que se registran y a los valores extraños. Así, se producen CP's independientes entre sí, y cada uno sintetiza la máxima variabilidad residual contenida en los datos (Pla, 1986) y explica una proporción de la variación total, misma que será igual al número de variables estandarizadas, es decir, todos los CP's explican el 100 % de la variación del conjunto total de atributos y observaciones. Por consiguiente, se considera que los CP's importantes son aquellos que explican más del 1 % de la variación, y los atributos también considerables son aquellos que se correlacionan más con los CP's importantes, estos atributos son útiles para definir la nomenclatura de los grupos de especies, genotipos y/o cultivares. La estructura de los CP's puede sugerir algún significado biológico (Iezzoni y Pritts, 1991) al considerar atributos lógicamente biológicos.

### Método y número de grupos o clases

Para la clasificación de *Opuntia* se propone hacer uso del análisis por conglomerados ("cluster analysis" o "agglomerative hierarchical cluster analysis", en inglés). Se ha demostrado que dicho método es tan robusto para la reconstrucción de relaciones filogenéticas jerárquicas como los métodos cladísticos (James y McCulloch, 1990). Sin duda alguna, uno de los principales problemas de las técnicas de clasificación numérica es la determinación del número de grupos o clases. En el caso de los métodos numéricos jerárquicos, dicho problema es el equivalente a definir el nivel o punto al cual se interrumpe la jerarquía.

Un ejemplo es el caso de las pruebas de mejoramiento genético en las cuales se desconoce el número de grupos diferentes que representan cierta composición genética (Bull *et al.*, 1992). Bull *et al.* (1992; 1993; 1994) han resuelto satisfactoriamente dicho inconveniente al considerar el supuesto de que la variabilidad de los patrones genéticos esperados a través del error experimental en cada ambiente es avalada mediante la repetición de un genotipo como testigo; así el número de grupos o clases es definido al trunca la jerarquía cuando las repeticiones del genotipo testigo se

ubican en grupos diferentes. En consecuencia, se recomienda la estrategia de Bull *et al.* (1992, 1993, 1994), para el caso del género *Opuntia*, cuando el objetivo fundamental sea el mejoramiento genético. Los resultados de Pengelly y Eagles (1995) sugieren que debido a las diferencias (agronómicas y morfológicas) dentro de los grupos y a que la variación no siempre es discreta (pero puede ser continua), es factible que algunos genotipos sean ubicados en dos grupos o clases. Ello significa que puede haber casos en los que si un genotipo es parte de dos grupos o clases sea un aspecto de importancia relativa; sin embargo, es posible que los análisis de varianza para comparar los grupos se puedan constituir como una herramienta valiosa para definir el número de grupos. Es recomendable identificar el número de grupos en el cual el mayor número de variables tengan realmente un efecto en la diferenciación de éstas.

Definitivamente, la forma en cómo se han estado definiendo los números de grupos o el nivel de interrupción de la jerarquía es subjetiva, con algunas excepciones como los trabajos de Bull *et al.* (1992, 1993, 1994), pero la conformación de los grupos o clases ha estado sustentada en los coeficientes de similitud o disimilitud entre genotipos, como se propone en el presente caso, y los métodos de agrupamiento o de definición de máxima similitud entre los grupos o clases empleados. Por lo tanto, se describen brevemente los más convenientes para apoyar el objetivo planteado.

El coeficiente de correlación ( $r$ ) de Pearson es muy usado como coeficiente de similitud porque es una medida de patrón más que de magnitud de diferencia (Arkley, 1976). Este coeficiente es entonces de gran utilidad si se desea agrupar en función del patrón de alguna parte de las plantas de *Opuntia* spp.

Otro coeficiente de similitud de uso común es la "distancia euclidiana" debido a que es muy sensible a la magnitud y es métrica (aspecto valioso si las variables son continuas). Sin embargo, debe tomarse con cuidado ya que por su sensibilidad a la magnitud puede contribuir desproporcionadamente sobre la disimilitud entre pares de genotipos si la diferencia entre ambos es grande.

El agrupamiento generalmente se hace considerando la similitud o disimilitud; quizá, el método de agrupamiento más ampliamente usado es el que considera la "distancia de unión promedio" y se conoce como el método de "unión simple". Ello se debe probablemente a que los genotipos o grupos de genotipos se unen con base al promedio de similitud entre todos los pares de genotipos en un grupo y aquellos en algún otro grupo, antes de que cada par o pares iniciales sean unidos. Éste método entonces se basa en el promedio de las diferencias entre genotipos y grupos. Otras variantes se basan en aspectos modales de genotipos y grupos.

Otra ventaja del método de análisis por conglomerados, es que la "distancia genética" puede ser usada como atributo de clasificación e índice de similitud o disimilitud en clasificaciones más objetivas (*i. e.* mejoramiento genético). Hace 10 años, Mienie *et al.* (1995) usaron este atributo considerando 37 variedades de soya (*Glicine max* (L.) Merr) de Sudáfrica para identificar cuatro grupos principales en un fenograma (dendrograma que muestra la relación de los genotipos de acuerdo a la similitud de polimorfismo).

Es muy posible que el método produzca grupos, mediante los dendrogramas, cuya codificación sea inestable y/o confusa (James y McCulloch, 1990), pero su compatibilidad con métodos de ordenación (*e. g.* análisis por componentes principales) facilita la interpretación de las relaciones dentro y entre los grupos. Finalmente, el proceso de asignación del nombre genérico (nomenclatura) para los grupos o clases deberá ser característico y flexible. En ese sentido parece conveniente resaltar el atributo que contribuya más en cada nivel de jerarquía, tal y como lo hicieron Pengelly y Eagles (1995). Este aspecto puede ser apoyado por los resultados del método de ordenación taxonómica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Banco de Germoplasma de Nopal del Centro Regional Universitario Centro Norte de la Universidad Autónoma Chapingo (CRUCEN-UACH), que es una de las principales colecciones de formas cultivadas y silvestres de nopal tunero a nivel nacional, contando con un acervo de 294 accesiones, de las que 236 tienen propósito de uso como fruta, 49 como verdura, cuatro forrajeros y cinco con más de un propósito. La colección está establecida a 4 km al sudoeste de la ciudad de Zacatecas, México, en la localidad denominada "Huertas de El Orito" (22° 44.7' latitud Norte y 102° 36.4' longitud Oeste). De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1973) el tipo de clima corresponde a un BS<sub>1</sub> kw(w), en tanto que la unidad de suelos corresponde a un Litosol eútrico (CETENAL, 1971).

Se emplearon 40 cultivares nopal (Cuadro 1), de los 49 que se tienen con propósito verdura.

### Muestreo de hojas, caracteres evaluados y análisis de datos

El análisis de la caracterización morfométrica fue como sigue:

- 1) Definición de las Unidades Taxonómicas Operativas (OTUs) (Operational Taxonomic Unit), que correspondieron a las 40 accesiones en estudio; 2) toma de muestras; 3) elección de los caracteres (Figura 1 y Cuadro 2); 4) toma de datos correspondientes a cada

**CUADRO 1. Relación de material genético de nopal verdura evaluado del Banco de Germoplasma de Nopal del CRUCEN-UACH (Gallegos, 2002).**

Clave	Nombre	Procedencia
O-176	Milpa Alta	Milpa Alta, D. F.
O-177	COPENA F-1	Nopalera Experimental, U. A. Chapingo
O-178	Forrajero Aguascalientes	Palo Alto, Ags
O-179	Atlixco	Nopalera Experimental, U. A. Chapingo
O-180	Chicomostoc	Villanueva, Zac.
O-181	Apozol	Villanueva, Zac.
O-182	La Qemada	Villanueva, Zac.
O-183	V-Roja	Jalpa, Zac.
O-184	COPENA V-1	Nopalera Experimental, U. A. Chapingo
O-185	Padre Santo	Calera de Víctor Rosales, Zac.
O-186	Jalpa	Jalpa, Zac.
O-187	Tobarito	Nopalera Experimental, U. A. Chapingo
O-188	Oreja de Elefante	Facultad de Agronomía, U. A. N. L.
O-189	Villanueva	Villanueva, Zac.
O-190	Llera	Díaz Ordaz, Tamaulipas.
O-191	Italiano Mejorado	Díaz Ordaz, Tamaulipas.
O-192	Amarilla	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-193	Tamazunchale	Díaz Ordaz, Tamaulipas.
O-194	Verdura San Martín	San Martín de las Pirámides, Edo. de México
O-195	Jade	San Luis Potosí, S. L. P.
O-196	Italiano Morado	INIFAP, S. L. P.
O-197	Cero Espinas	INIFAP-S. L. P.
O-198	Chihuahua	San José de Castellanos, Pinos Zac.
O-199	Irapuato	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-200	P-8	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-201	Tezontepec	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-202	AGD	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-203	Pabellón Amarillo	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-204	Diabetes Zacatecas	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-205	Cv. 44	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-206	CNF	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-207	Selección Pabellón	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-208	Nopalea Jalpa	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-209	Tehuacán	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-210	Negrilo	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-211	Tapón Macho	Pinos, Zac.
O-212	Cv. 40	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-213	T-L	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-214	Cv. 70	Colegio de Postgraduados, Campus S. L. P.
O-215	Rosalito	GENGUA-INIFAP.

carácter en cada OTU. Los caracteres morfológicos de los 40 cultivares de nopal se analizaron considerando un diseño completamente al azar y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980), con un nivel de probabilidad del 0.05. Para su realización se empleó el software SAS (Statistical Analysis System) versión 6.11 para Windows.

Adicionalmente se utilizaron el programa EXCEL 2000 (Microsoft Corp., 2000) y el Multi-Variate Statistical Package versión 3.12d (MVSP) (Kovach Computing Services, 2001) para analizarlos con técnicas multivariadas. Los promedios de los caracteres cuantitativos y cualitativos para cada cultivar se estimaron, y con ellos se elaboró una matriz de medias (MBD) en el programa Microsoft Excel;



**FIGURA 1. Cladodio típico de nopal (*Opuntia* spp.) con la descripción de algunos de los caracteres cuantitativos evaluados.**

**CUADRO 2. Caracteres morfométricos básicos evaluados en cladodios adultos nopal verdura (*Opuntia* spp.).**

Carácter	Tipo de medición
Forma	Cualitativa
Longitud	Cuantitativa
Ancho	Cuantitativa
Relación largo/ancho	Cuantitativa
Grosor	Cuantitativa
Color	Cualitativa
Textura (superficie cerosa)	Cualitativa
Ondulación del margen	Cualitativa
Hileras de areolas en una cara del cladodio	Cuantitativa
Areolas en la hilera central	Cuantitativa
Color de las areolas	Cualitativa
Presencia de espinas	Cuantitativa
Presencia de glóquidas	Cualitativa
Color de glóquidas	Cualitativa

posteriormente, la matriz básica se importó con MVSP para el procesamiento de los datos con técnicas de análisis multivariado. En cuanto a la toma de muestras, se tomaron diez cladodios por accesión, madurez y sin daños causados por factores bióticos o abióticos.

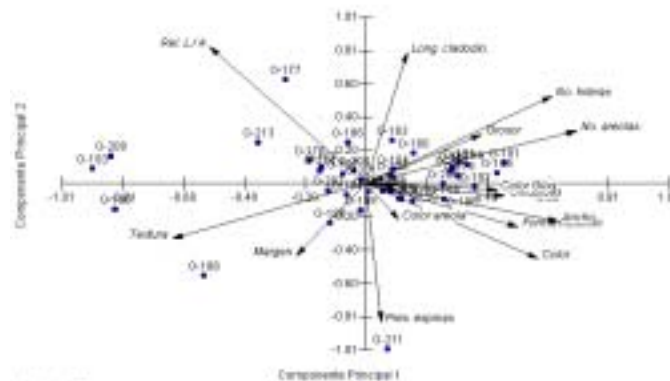
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de componentes principales

El primer componente principal (CP1) explicó el 30 % de la variación total de los 40 cultivares y los 14 atributos, mientras que el CP2 explicó 16 %. Los CP3, CP4 y CP5 explicaron 13, 11 y 7.9 %, respectivamente (Cuadro 3). Cada uno de esos cinco CP's explicaron más de la variación asociada a una variable (valor propio o eigenvalor >1). En forma conjunta explicaron casi 80 % de la variación total, de manera que la interpretación de su estructura proveerá conocimiento básico sobre las relaciones entre variables, y entre variables y componentes principales.

El CP1 fue definido estructuralmente por forma de cladodio, ancho de cladodio, relación L/A, color de cladodio, textura, número de areolas, glóquidas y número de hileras. Se apreciaron dos grupos de atributos que se correlacionaron positivamente entre sí, pero negativamente con las del otro grupo. Uno de esos grupos estuvo conformado por las variables forma de cladodio, ancho de cladodio, color de cladodio, número de areolas, glóquidas y número de hileras, todas con correlaciones positivas (Cuadro 3). El otro grupo estuvo integrado por la relación L/A y textura, variables que se correlacionaron positivamente entre sí pero negativamente con las del grupo señalado previamente. La interpretación general de este ordenamiento de atributos sugiere que los cultivares con valores altos de relación L/A y textura (superficie cerosa) fuertemente expresada tenderán a ubicarse y agruparse hacia el extremo izquierdo del CP1 en un plano bidimensional (Figura 2), donde una de las dimensiones es precisamente el CP1. Complementariamente, los cultivares diferenciados por forma de cladodio obovada, ancho de cladodio grande, color de cladodio verde azulado, número de areolas grandes, glóquidas abundantes y número de hileras grande, tendieron también a agruparse con valores de CP1 opuestos a los asociados al grupo definido por valores altos de relación L/A y textura (superficie cerosa) fuertemente expresada (Figura 2).

En la Figura 2 se aprecia el plano bidimensional ortogonal definido por los CP1 y CP2. El cultivar COPENA F-1 se identificó como el material con mayor relación L/A. Otros materiales alargados fueron Tamanzuchale, Nopalea Jalpa, Llera y Oreja de Elefante. Asimismo, se definió que estos mismos materiales tienden a manifestar una textura cerosa fuertemente expresada en la superficie de sus cladodios, particularmente las cultivares Llera y Oreja de Elefante. El otro grupo de materiales vegetativos no se logró identificar claramente en este plano ortogonal.



**FIGURA 2. Posicionamiento de 14 atributos de cladodio y 40 cultivares de nopal en el plano ortogonal definido por los dos primeros componentes principales. La nomenclatura de los cultivares corresponde a la del Cuadro 1.**

**CUADRO 3. Correlaciones entre atributos morfológicos de cladodios de nopal y los cinco primeros componentes principales (CP's) considerando 40 cultivares de nopal.**

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Forma	<b>0.283</b>	-0.185	-0.250	<b>0.299</b>	-0.159
Longitud	0.081	<b>0.383</b>	-0.233	<b>0.409</b>	0.109
Ancho	<b>0.359</b>	-0.178	-0.173	<b>0.336</b>	0.119
Relación L/A	<b>-0.289</b>	0.463	0.003	-0.010	0.016
Grosor	0.216	0.187	0.136	-0.108	<b>0.293</b>
Color	<b>0.319</b>	<b>-0.283</b>	0.150	0.124	-0.158
Textura	<b>-0.362</b>	-0.193	-0.175	-0.028	0.084
Ondulación del margen	-0.129	<b>-0.298</b>	-0.224	<b>0.317</b>	<b>0.589</b>
Areolas en la hilera central	<b>0.393</b>	0.195	0.204	0.029	-0.042
Color de areola	0.060	-0.078	<b>0.385</b>	-0.175	<b>0.660</b>
Presencia de glóquidas	<b>0.259</b>	-0.037	<b>-0.400</b>	<b>-0.480</b>	0.066
Color de glóquideas	0.244	-0.017	<b>-0.412</b>	<b>-0.475</b>	0.092
Hileras de areolas	<b>0.347</b>	<b>0.312</b>	0.226	0.042	0.089
Presencia de espinas	0.014	<b>-0.435</b>	<b>0.401</b>	-0.113	-0.162
Valores propios (Eigenvalores)	4.213	2.274	1.845	1.557	1.021
Porcentaje de varianza explicada	30.095	16.245	13.182	11.125	7.292
Porcentaje de varianza explicada acumulada	30.095	46.340	59.522	70.647	77.939

La estructura del CP2 fue definida por el color de cladodio, margen del cladodio, presencia de espinas, longitud de cladodio y número de hileras de espinas (Cuadro 3). Las primeras tres variables se correlacionan positivamente entre sí, pero cada una de ellas se correlaciona negativamente con la longitud de cladodio y número de hileras de espinas; estas dos últimas variables se correlacionan positivamente. En la Figura 2 se aprecia que 'COPENA F-1' es la morfoespecie con cladodios más alargados, 'Oreja de Elefante' y 'Chihuahua' las que tienen cladodios con margen más ondulado, y 'Tapón Macho' la que posee cladodios con más espinas.

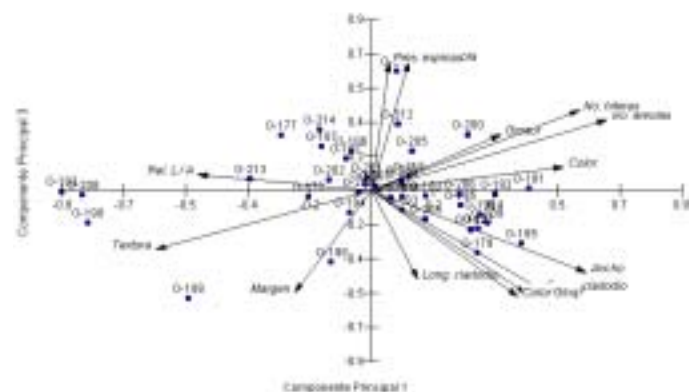
El CP3 fue definido por la presencia de glóquidas, color de glóquidas, presencia de espinas y color de areolas (Cuadro 3). Las dos últimas se correlacionaron positivamente entre sí, pero negativamente cada una de ellas con la presencia y color de glóquidas. En las Figuras 3 y 4 se aprecia que los cultivares 'Tapón Macho' y '40' tuvieron con mayor presencia de espinas y color de areola tendiendo a negro, mientras que 'P-8 Rojo', 'Apozol', 'Amarilla', 'AF-1', 'Jalpa', 'Tobarito' y 'Jalpa' presentaron cladodios con mayor número de areolas. Los materiales con mayor presencia de glóquidas y color de glóquidas tendiendo a marrón son: 'Atlixco', 'Italiana Mejorada' y 'Chihuahua'.

El CP4 fue definido principalmente por la forma de cladodio, longitud de cladodio, ancho de cladodio, margen, presencia glóquidas y color de glóquidas (Cuadro 3). Las últimas dos variables correlacionaron positivamente entre sí, pero negativamente con el resto. Las primeras cuatro

variables también correlacionaron positivamente entre sí. La composición estructural de este componente sugiere que a mayor magnitud de cladodio (más largos y más anchos) corresponde menor presencia de glóquidas y el color de las mismas tenderá a ser amarillo.

Por su parte, la estructura del 'CP5' fue definida por los atributos grosor de cladodio, margen y color de areola, las cuales se correlacionaron positivamente entre sí (Cuadro 3).

Sin duda alguna, la distribución de las cultivares en planos bi- y multidimensionales es sumamente compleja y



**FIGURA 3. Posicionamiento de 14 atributos de cladodio y 40 cultivares de nopal en el plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 3 que en conjunto explican el 43.28 % de la variación total. La nomenclatura de los cultivares corresponde a la del Cuadro 1.**

difícil de interpretar. Así entonces, con la finalidad de facilitar la interpretación de la ordenación mediante componentes principales y formar clases o grupos más definidos por similitudes y disimilitudes morfológicas, las posiciones de los cultivares en el contexto multidimensional producto de los cinco primeros componentes principales se usaron en un análisis de conglomerados, considerando la técnica de aglomeración simple y la distancia euclidiana como índice de similitud.

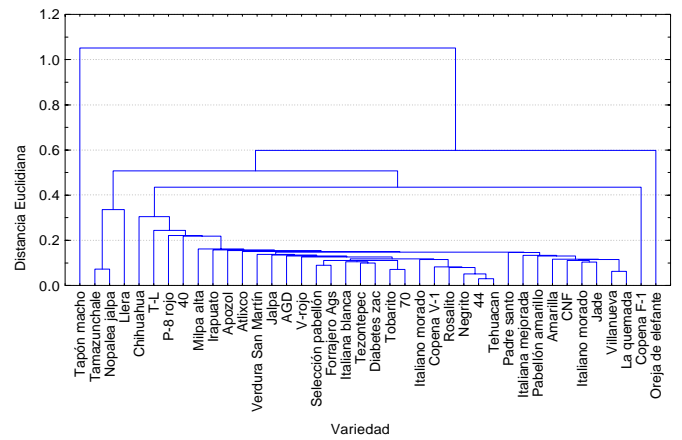
**Análisis de conglomerados**

El análisis de conglomerados permitió evidenciar cinco grandes clases o grupos de cultivares de nopal. Tres grupos estuvieron conformados por un cultivar cada uno, otro por tres, y uno por 34 cultivares (Figura 5).

Los cultivares ‘Tapón Macho’, ‘Copena F-1’ y ‘Oreja de Elefante’ conforman un grupo cada uno. El análisis de componentes principales permitió evidenciar que ‘Tapón Macho’ se diferencia del resto de cultivares debido a la gran presencia de espinas en sus cladodios, mientras que ‘Copena F-1’ por sus cladodios sumamente alargados, y ‘Oreja de Elefante’ por su margen ondulado y su superficie extremadamente cerosa (Figuras 2 y 3).

En la Figura 5 se identifica que los cultivares ‘Tamazunchale’, ‘Nopalea Jalpa’ y ‘Llera’ conformaron un grupo compacto de material vegetativo caracterizado principalmente por su textura extremadamente cerosa y relación L/A grande (Figura 3), según el plano bidimensional definido por los CP1 y CP2 (Figura 4).

A su vez, el grupo conformado por 34 cultivares puede ser dividido en al menos dos subclases o subgrupos. Una de esas subclases estuvo conformada por los cultivares ‘Chihuahua’, ‘T-L’, ‘P-8 Rojo’ y ‘40’ (Figura 5). ‘P-8 Rojo’ y ‘40’ tendieron a presentar cladodios con gran número de areolas de colores oscuros; mientras que ‘Chihuahua’ tendió a producir cladodios obovados, anchos con margen ondulado y textura cerosa; y T-L tuvo cladodios relativa-



**FIGURA 5. Dendrograma de 40 cultivares de nopal en el cual se aprecian claramente cinco clases a una distancia euclidiana de 0.4.**

mente más alargados que el resto de los cultivares con la excepción clara de ‘Copena F-1’ (Figuras 2 y 3). El resto de cultivares conforman un grupo más compacto que los ya mencionados, caracterizado por una gama compleja de atributos morfológicos.

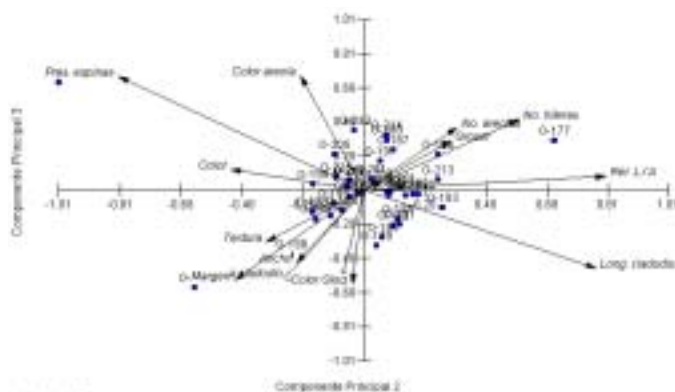
**CONCLUSIONES**

Se evidenciaron cinco grandes clases o grupos de cultivares de nopal. Tres grupos son conformados por un cultivar cada uno, otro por tres, y uno por 34 cultivares.

Los cultivares ‘Tapón Macho’, ‘Copena F-1’ y ‘Oreja de Elefante’ conformaron un grupo cada uno. ‘Tapón Macho’ se diferenciò del resto de cultivares debido a la gran presencia de espinas en sus cladodios. ‘Copena F-1’ se diferenciò de otros cultivares por sus cladodios sumamente alargados. ‘Oreja de Elefante’ se distinguiò por su margen ondulado y su superficie extremadamente cerosa.

Los cultivares ‘Tamazunchale’, ‘Nopalea Jalpa’ y ‘Llera’ conformaron un grupo compacto de material vegetativo caracterizado principalmente por su textura extremadamente cerosa y una relación L/A grande.

Un grupo conformado por 34 cultivares puede ser dividido en, al menos, dos subclases o subgrupos. Una de esas subclases puede estar conformada por los cultivares ‘Chihuahua’, ‘T-L’, ‘P-8 Rojo’ y ‘40’. ‘P-8 Rojo’ y ‘40’ tendieron a presentar cladodios con gran número de areolas de colores oscuros; mientras que ‘Chihuahua’ tendió a producir cladodios obovados, anchos con margen ondulado y textura cerosa; y ‘T-L’ tuvo cladodios relativamente más alargados que el resto de las cultivares con la excepción clara de ‘Copena F-1’. El resto de cultivares conforman un grupo más compacto que los ya mencionados, caracterizado por una gama compleja de atributos morfológicos.



**FIGURA 4. Posicionamiento de 14 atributos de cladodio y 40 cultivares de nopal en el plano ortogonal definido por los componentes principales 2 y 3. La nomenclatura de los cultivares corresponde a la del Cuadro 1.**

Estos grupos o clases de cultivares de nopal representan acervos de suma importancia para programas de mejoramiento genético que tengan como fin el compartir atributos morfológicos de interés de algún cultivar hacia otro u otros.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección General de Investigación y Postgrado de la Universidad Autónoma Chapingo la que a través del Programa de Investigación en Fruticultura, financió el presente trabajo con número de clave 230205.

### LITERATURA CITADA

- ARKLEY, R. J. 1976. Statistical methods in soil classification research. *Adv. Agron.* 28: 37-70.
- BORREGO E., F.; BURGOS V., N. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 202 p.
- BRAVO HOLLIS, H. 1978. Las Cactáceas de México. Universidad Autónoma de México. D. F., México. 743 p.
- BULL, J. K.; COOPER, M.; DELACY, I. H.; BASFORD, K. E.; WOODRUFF, D. R. 1992. Utility of repeated checks for hierarchical classification of data from plant breeding trials. *Field Crops Res.* 30: 79-95.
- BULL, J. K.; BASFORD, K. E.; DELACY, I. H.; COOPER, M. 1993. Determining appropriate group number and composition for data sets containing repeated check cultivars. *Field Crops Res.* 31: 369-383.
- BULL, J. K.; BASFORD, K. E.; COOPER, M.; DELACY, I. H. 1994. Enhanced interpretation of pattern analyses of environments: The use of blocks. *Field Crops Res.* 37: 25-32.
- CETENAL. 1981. Carta edafológica. Escala 1:50000. F-13-8-68-Comisión de Estudios del Territorio Nacional. San Luis Potosí, México.
- COLUNGA G. M., P.; HERNÁNDEZ-XOLOCOTZI, E.; CASTILLO-MORALES, A. 1986. Variación morfológica, manejo agrícola y grados de domesticación de *Opuntia* spp. en El Bajío guanajuatense. *Agrociencia* 65: 7-49.
- FERNÁNDEZ M., M. R.; MONDRAGÓN J., C.; LUNA A., J.; SÁENZ Q., L. A.; ZEGBE D., J. A.; MÉNDEZ G., S. DE J.; MARTÍNEZ G., J. C. 2000. Principales cultivares mexicanos de nopal tunero. Campo Experimental Norte de Guanajuato. Centro de Investigación Regional del Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. San Luis de la Paz, Guanajuato. México. 34 p.
- FLORES V., C. A.; GALLEGOS V., C. 1993. Situación y perspectivas de la producción de tuna en la Región Centro-Norte de México. - Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial - Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 44 p.
- FLORES V., C. A.; RAMÍREZ M., P. P.; DE LUNA E., J. M.; PONCE J., P. 1997. Diagnóstico y programa de desarrollo del Sistema Producto Tuna. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. CIESTAAM-UACH, Chapingo, México. 49 p.
- GALLEGOS V., C.; MÉNDEZ G., S. DE J. 2000. La tuna: criterios y técnicas para su producción comercial. Universidad Autónoma Chapingo - Colegio de Postgraduados - Fundación Produce Zacatecas, A.C. Chapingo, Edo. de México. 164 p.
- GALLEGOS V., C. 2002. Recursos Fitogenéticos de *Opuntia* spp. Primer Informe. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación, SAGARPA - Universidad Autónoma Chapingo. Zacatecas, Zacatecas, México. 65 p.
- GALLEGOS V., C.; BLANCO M., F.; NORIEGA A., G. 1994. Establecimiento de una colección de nopal (*Opuntia* spp.) en el CRUCEN, Zacatecas, México. *Revista Geografía Agrícola* 20: 137-141.
- GARCÍA, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. 217 p.
- HEISER, CH. B. 1981. Seed to Civilization, the History of Food. Second edition. W. H. Freeman and Company. San Francisco, USA. 243 p.
- IEZZONI, A. F.; PRITTS, M. V. 1991. Applications of principal component analysis to horticultural research. *HortScience* 26(4): 334-338.
- JAMES, F. C.; McCULLOCH, CH. E. 1990. Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's box? *Annual Rev. Ecol. Syst.* 21: 129-166.
- KOVACH COMPUTING SERVICES, 2001. User Manual. Multi-Variate Statistical Package versión 3.12d. USA.
- MIENIE, C. M. S.; SMITH, M. A.; PRETORIUS, P. J. 1995. Use of random amplified polymorphic DNA for identification of South Africa soybean cultivars. *Field Crops Res.* 43: 43-49.
- NOBEL, S. P. 1994. Remarkable Agaves and Cacti. Oxford University Press. New York, USA. 166 p.
- NOBEL, S. P. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Trillas. D.F., México. 213 p.
- PARENT, L. E.; ISFAN, D.; TREMBLAY, N.; KARAM, A. 1994. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3): 420-426.
- PLA, L. 1986. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Secretaría General. OEA. Washington, D. C., USA. Serie Matemática. Monografía Núm. 27. 94 p.
- PENGELLY, B. C.; EAGLES, D. A. 1995. Geographical distribution and diversity in a collection of the tropical legume *Macroptilium gracile* (Poepfiga ex Benth) urban. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 569-580.
- REYES A., J. A.; AGUIRRE R., J. R. 1999. Etnobotánica de *Opuntia* en la Altiplanicie Meridional de México. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P. México. 20 p.
- SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. 1973. Numerical Taxonomy. W. H. Freeman & Co. San Francisco, USA. p. 573 p.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. 1980. Bioestadística: Principios y Procedimientos McGraw-Hill. D.F., México. 622 p.
- VALDEZ C., D. R.; GALLEGOS V., C.; BLANCO M., F. 1996. Clasificación numérica de *Opuntia* spp. mediante características de su fruto (tuna). *Rev. Geografía Agrícola* 22-23: 287-293.