

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE 40 CULTIVARES DE NOPAL DE USO HORTICOLA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CRUCEN-UACH

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF 40 OPUNTIA CULTIVARS FOR HORTICULTURAL USE FROM CRUCEN-UACH GERMPLASM BANK

Martín Barrón Macías¹, Clemente Gallegos Vázquez² y Ricardo David Valdéz Cepeda²

¹Centro Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios # 215, DGETI-SEIT-SEP. Loreto, Zac.

²Centro Regional Universitario Centro Norte, Programa de Fruticultura. Universidad Autónoma Chapingo, Apdo. Postal 196, Zacatecas, Zacatecas. C. P. 98000. México.

RESUMEN. El objetivo fue: i) 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 ii) clasificar numéricamente los genotipos. Para tal fin se consideraron 14 variables (cualitativas y cuantitativas) de cladodios maduros, seleccionándose 10 cladodios sin daños causados por factores bióticos y/o abióticos. Los métodos de análisis multivariado de componentes principales y conglomerados permitieron agrupar en cinco clases a las 40 morfoespecies de nopal. Las morfoespecies Tapón macho, Copena F-1 y Oreja de elefante conforman un grupo cada una. El análisis de componentes principales permitió evidenciar que Tapón macho se diferencia del resto de morfoespecies 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. Las morfoespecies 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 morfoespecies puede ser dividido en al menos dos subclases o subgrupos. Una de esas subclases puede ser conformada por las morfoespecies Chihuahua, T-L, P-8 rojo y 40. P-8 rojo y 40 tienden presentar cladodios con un gran No. de areolas de colores oscuros; mientras que Chihuahua a producir cladodios obovados, anchos con margen ondulado y textura cerosa; y T-L tiene cladodios relativamente mas alargados que el resto de las morfoespecies con la excepción clara de Copena F-1. El resto de morfoespecies conforman un grupo mas compacto que los ya mencionados, caracterizado por una amalgama compleja de atributos morfológicos.

Palabras claves: *Opuntia*, nopal verdura, caracterización morfológica, análisis multivariado, componentes principales.

SUMMARY. The objectives of our research were to: i) Characterize 40 opuntia cultivars from the germplasm collection of the CRUCEN-UACH based on one-year old cladode morphological attributes, and ii) Classify materials via quantitative methods. Therefore, 14 quantitative and qualitative attributes measured in 10 cladodes without biotic or abiotic damage from each cultivar were considered. Main components and cluster analysis allowed for cultivar grouping into five classes. "Tañón macho", "Copena F-1" and "Oreja de elefante" cultivars were one class group. "Tapón macho" is different from all others due to its great spine numbers, while "Copena F-1" has the largest cladodes, and "Oreja de elefante" shows wavy borders and waxy surfaces on its cladodes. "Tamazunchale", "Nopalea jalpa" and "Llera" cultivars were grouped in another class, characterized mainly by waxy surfaces and a high L/A ratio. Another group integrated by 34 cultivars could be divided in at least two subclasses: one may be integrated by "Chihuahua", "T-L", "P-8 rojo" and "40" having a great number of black areoles in their cladodes, and wavy obated with waxy surface cladodes in "Chihuahua"; "T-L" cultivar has enlarged cladodes like "Copena F-1". Remaining morphospecies comprise a more compact group, characterized by complex morphological attributes.

Palabras claves: *Opuntia*, tender pads, morphological characterization, multivariate analysis, main components.

INTRODUCCIÓN

En México, por nopales se identifica a plantas de la familia Cactaceae de los subgéneros *Opuntia* y *Nopalea*,

cuyo distintivo principal son sus yemas homólogas. 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 Tehuacan, Puebla. 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 y finalmente aprovechando lo más selecto de su riqueza genética se ha cultivado en plantaciones comerciales.

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.

En cuanto a la importancia del nopal como verdura, indican que el nopalito ocupa el quinto lugar por su volumen de producción y el doceavo lugar por la superficie de cultivo dentro el rubro de las hortalizas, reportando un consumo per cápita de 6.38 kg año⁻¹, reportando una cifra de 10,000 ha de plantaciones comerciales orientadas a la producción de nopal verdura o de uso hortícola.

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 al 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 la presente investigación con el propósito de: a) 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 b) agrupar o diferenciar los genotipos a partir de sus características morfológicas y contribuir a la ordenación del género *Opuntia*.

Fundamentos teóricos 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 influencias externas (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 (e. g. 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*.

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 a 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.

En este rubro se debe evitar el problema de sesgo mediante alguna transformación de los valores del o 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.

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, porque permite reducir la dimensionalidad (James y McCulloch, 1990; Parent *et al.*, 1994) del problema al eliminar los atributos que aportan poca información 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 (Valdez, *et al.*, 1995; 1996; 1997). Así se producen CP's independientes entre sí, y cada uno sintetiza la máxima variabilidad residual contenida en los datos 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 importantes 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 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). Ha sido 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.* 1993; Bull *et al.*, 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 truncar 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 decir, es recomendable identificar el número de grupos en el cual el mayor número de variables tengan realmente un efecto en la diferenciación de los grupos.

Definitivamente, la forma en como 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, enseguida 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. Quizás, 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). Recientemente, Mienie *et al.* (1995) usaron este atributo considerando 37 variedades de soya 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

Germoplasma evaluado

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, 4 forrajeros y 5 con más de un propósito (Cuadro 1). La colección está localizada a 4 km al sudoeste de la ciudad de Zacatecas, 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 BS₁ kw(w), en tanto que la unidad de suelos corresponde a un Litosol eútrico (CETENAL, 1971).

Muestreo de hojas, caracteres evaluados y análisis de datos

El análisis de la caracterización morfométrica fue como sigue:

- 1) Definición de las OTUs (Operational Taxonomic Unit, en español Unidad Taxonómica Operativa), 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 carácter en cada OTU, y
- 5) 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; 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de componentes principales

Con la finalidad de ordenar a los cultivares en estudio, se realizó un análisis de componentes principales de los 40 cultivares y los 14 atributos morfológicos. Para ello se usó el software Multi-Variate Statistical Package versión 3.12d (MVSP) (Kovach Computing Services, 2001) y la matriz de correlaciones de los valores estandarizados de las observaciones.

Cuadro 1. Relación de material genético de nopal verdura evaluado del banco de germoplasma del CRUCEN-UACH

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 Victor Rosales, zac.
O-186	Jalpa	Jalpa, Zac.
O-187	Tobadito	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.P.
O-193	Tamazunchale	Díaz Ordaz, Tamaulipas.
O-194	Verdura San Martín	San Martín de las Piramides, Edo. de Mexico
O-195	Jade	San Luis Potosí, S.L.P.
O-196	Italiano morado	INIFAP, SLP.
O-197	Cero espinas	INIFAP-SLP.
O-198	Chihuahua	San José de Cstellanos, 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	Tehuacan	Colegio de Postgraduados, Campus S.L.P.
O-210	Negrito	Colegio de Postgraduados, Campus S.L.P.
O-210	Tapón Macho	Pinos, Zac.
O-210	Cv. 40	Colegio de Postgraduados, Campus S.L.P.
O-210	T-L	Colegio de Postgraduados, Campus S.L.P.
O-210	Cv. 70	Colegio de Postgraduados, Campus S.L.P.
O-210	Rosalito	GENGUA-INIFAP.

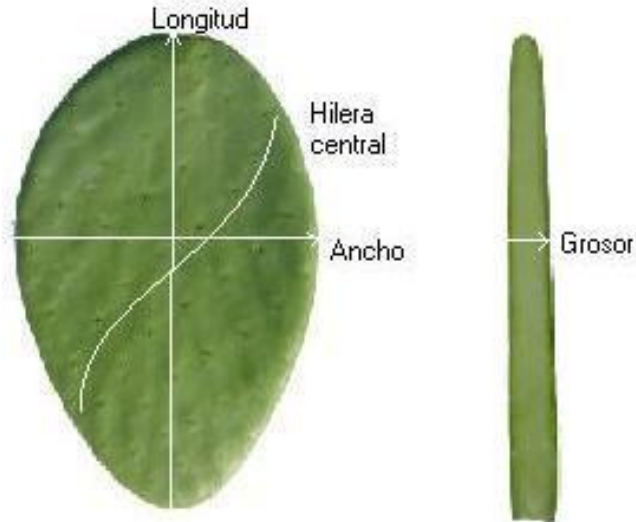


Figura 1. Cladodio típico de nopal (*Opuntia* spp.) con la descripción de algunos de los caracteres cuantitativos evaluados.

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
Longitud	Cuantitativa
Ancho	Cuantitativa
Relación largo/ancho	Cuantitativa
Grosor	Cuantitativa
Color	Cualitativa
Textura (superficie cerosa)	Cualitativa
Ondulación del margen	Cualitativa
No. Hileras de areolas en una cara del cladodio.	Cuantitativa
Número de areolas en la hilera central	Cuantitativa
Color de las areolas	Cualitativa
Presencia de espinas	Cuantitativa
Presencia de glóquidas	Cualitativa
Color de glóquidas	Cualitativa

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

El CP1 es definido estructuralmente por las variables Forma de cladodio, Ancho de cladodio, Relación L/A, Color de cladodio, Textura, Número. de areolas, Color de areolas, Glóquidas y Número de hileras. Se aprecian dos grupos de atributos que se correlacionan positivamente entre sí, pero negativamente con las del otro grupo. Uno de esos grupos está conformado por las variables Forma de cladodio, Ancho de cladodio, Color de cladodio, Número de areolas, Color de areolas, Glóquidas y Número de hileras, todas con correlaciones positivas (Cuadro 3). El otro grupo está integrado por Relación L/A y Textura, variables que se intercorrelacionan positivamente entre sí pero negativamente con las del grupo señalado previamente.

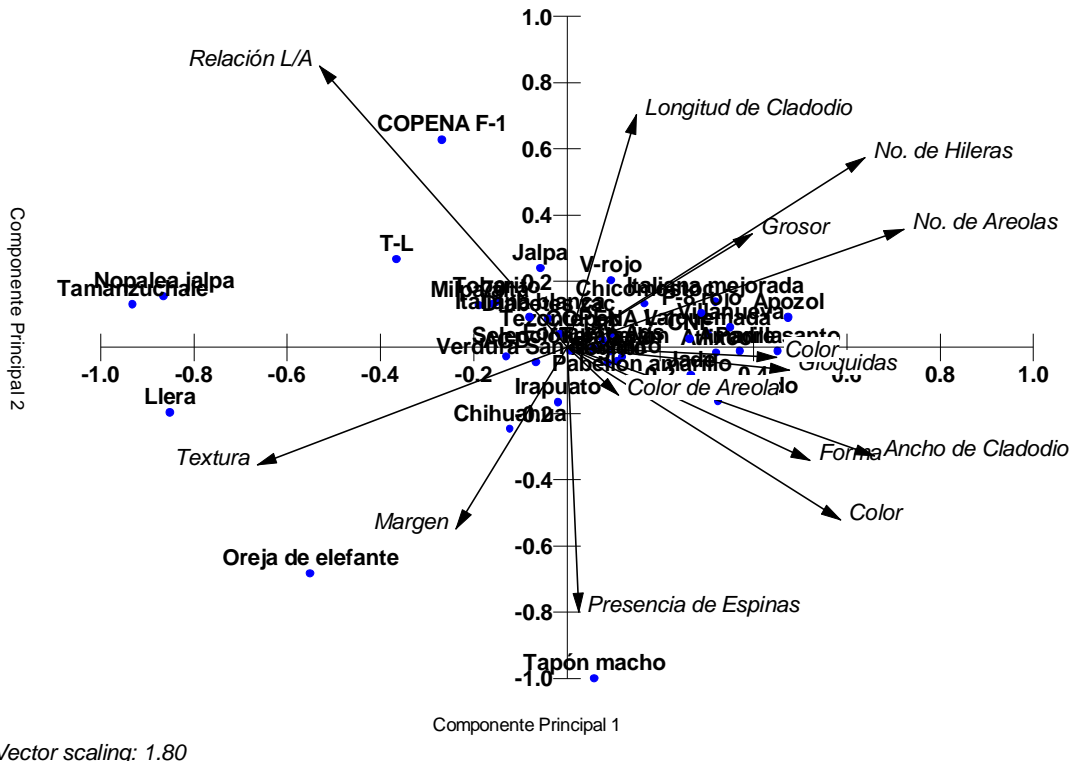
La interpretación general de este ordenamiento de atributos, sugiere que los cultivares con valores altos de Relación L/A y Textura (superficie cerosa) fuertemente expresada tenderán a identificarse y agruparse hacia un extremo del CP1 en un plano bidimensional donde una de las dimensiones sea precisamente el CP1. Complementariamente, las morfoespecies diferenciadas por Forma de cladodio obovada, Ancho de cladodio grande, Color de cladodio verde azulado, No. de areolas grande, Color de areolas negro, Glóquidas abundantes y No. de hileras grande, tenderán 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.

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

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 de Cladodio	0.283	-0.185	-0.250	0.299	-0.159
Longitud de Cladodio	0.081	0.383	-0.233	0.409	0.109
Ancho de Cladodio	0.359	-0.178	-0.173	0.336	0.119
Relación L/A	-0.289	0.463	0.003	-0.010	0.016
Grosor	0.216	0.187	0.136	-0.108	0.293
Color	0.319	-0.283	0.150	0.124	-0.158
Textura	-0.362	-0.193	-0.175	-0.028	0.084
Margen	-0.129	-0.298	-0.224	0.317	0.589
No. de Areolas	0.393	0.195	0.204	0.029	-0.042
Color de Areola	0.060	-0.078	0.385	-0.175	0.660
Glóquidas	0.259	-0.037	-0.400	-0.480	0.066
Color	0.244	-0.017	-0.412	-0.475	0.092
No. de Hileras	0.347	0.312	0.226	0.042	0.089
Presencia de Espinas	0.014	-0.435	0.401	-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

Nota: Coeficientes en negritas son significativos.



Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso hortícola del banco..... Martín Barrón M., Clemente Gallegos V., Ricardo D. Valdez C.

Figura 2. Posicionamiento de 14 atributos de cladodio y 40 morfoespecies de nopal en el plano ortogonal definido por los dos primeros componentes principales que en conjunto explican el 46.34 % de la variación total.

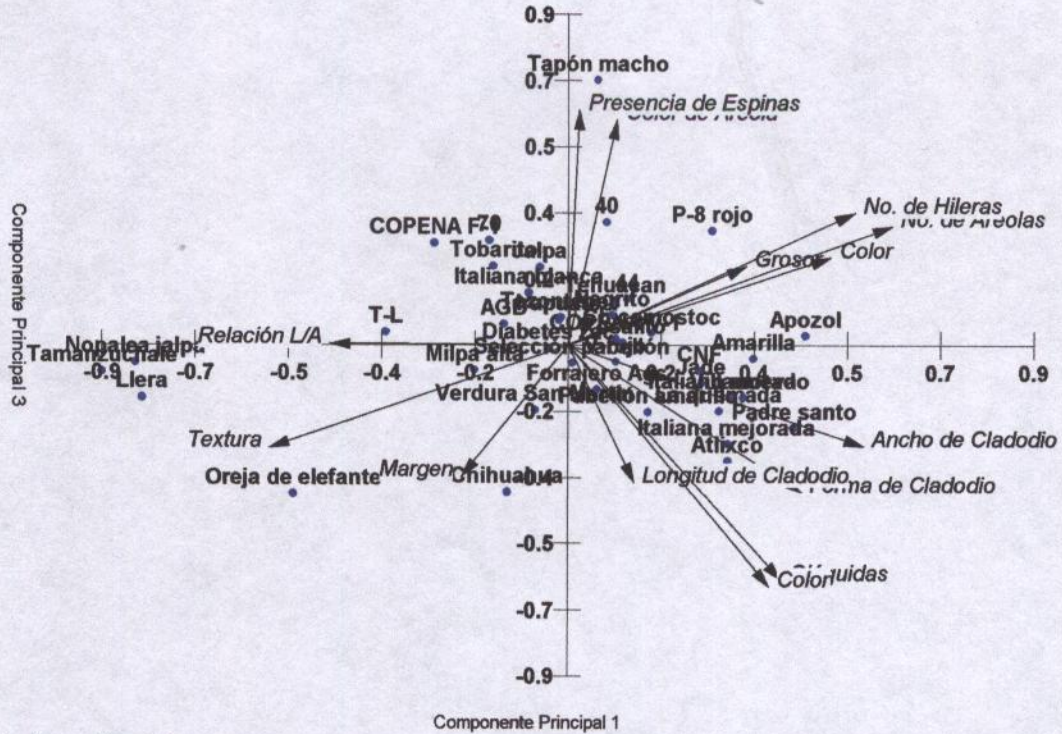
La estructura del CP2 es definida por las variables Color de cladodio, Margen del cladodio, Presencia de espinas, Longitud de cladodio y Número de hileras de espinas (Cuadro 3). Las primeras tres variables e intercorrelacionan positivamente entre sí, pero cada una de ellas se correlaciona negativamente con Longitud de cladodio y No. de hileras de espinas. Estas dos últimas variables se correlacionan positivamente. En la Figura 1 se aprecia que COPENA F-1 es la morfoespecie con cladodios mas alargados, Oreja de elefante y Chihuahua las que tienen cladodios con margen mas ondulado, y Tapón macho la que posee cladodios con mas espinas.

El CP3 es definido por Glóquidas, Color de glóquidas, Número de hileras, Presencia de espinas y Color de areolas. Las tres últimas se correlacionan positivamente entre sí, pero negativamente cada una de ellas con Glóquidas y Color de glóquidas. En las Figuras 3 y 4 se aprecia que las morfoespecies Tapón macho y 40 son los materiales 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 presentan cladodios con mayores No. de hileras y Número de areolas. Los materiales con mayor presencia de glóquidas y color de glóquidas tendiendo a marrón son Atlixco, Italiana mejorada y Chihuahua.

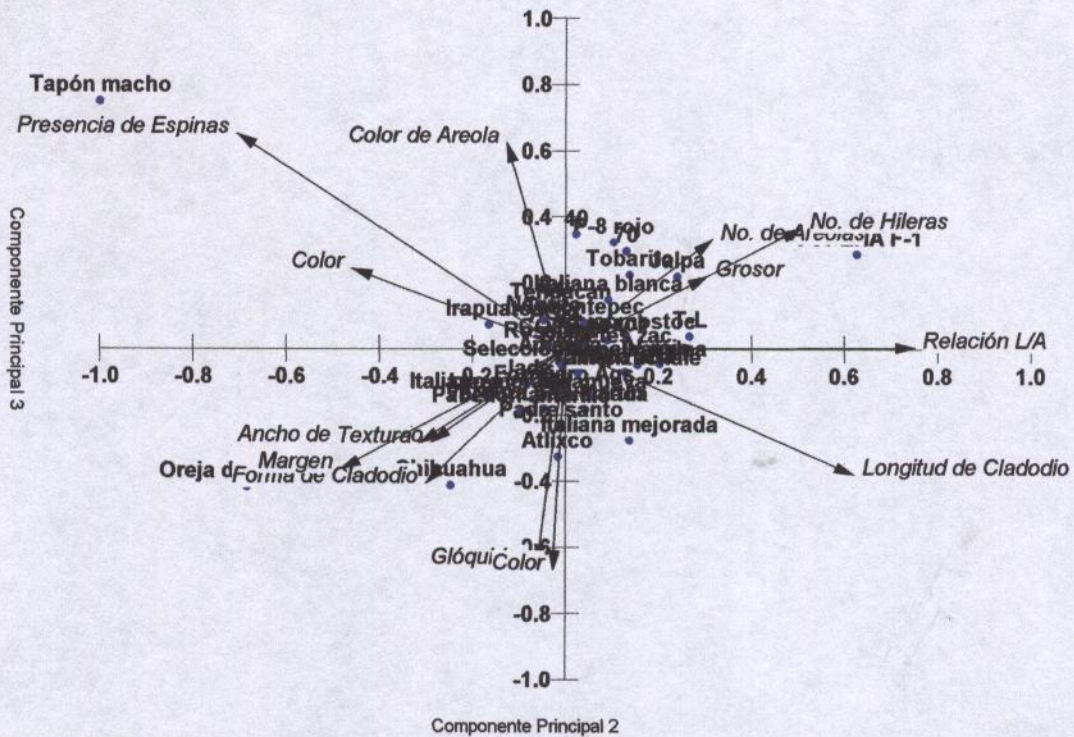
El CP4 es definido principalmente por Forma de cladodio, Longitud de cladodio, Ancho de cladodio, Margen, Glóquidas y Color de glóquidas. Las últimas dos variables se correlacionan positivamente entre sí, pero negativamente con el resto. Las primeras cuatro variables también se correlacionan positivamente entre sí. La composición estructural de este componente sugiere que a mayor magnitud de cladodio (mas largos y mas anchos) corresponde menor presencia de glóquidas y el color de las mismas tenderá a ser amarillo.

Por su parte, la estructura del CP5 es definida por los atributos Grosor de cladodio, Margen y Color de areola, las cuales se intercorrelacionan positivamente entre sí.



Vector scalina: 1.61

Figura 3. Posicionamiento de 14 atributos de cladodio y 40 morfoespecies 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.



Vector scalina: 1.59

Figura 4. Posicionamiento de 14 atributos de cladodio y 40 morfoespecies de nopal en el plano ortogonal definido por los componentes principales 2 y 3 que en conjunto explican el 29.43 % de la variación total.

Sin duda alguna, la distribución de las morfoespecies en planos bi- y multidimensionales es sumamente compleja y difícil de interpretar. Así entonces, con la finalidad de facilitar la interpretación de la ordenación mediante componentes principales y formar clases o grupos mas definidos por similitudes y disimilitudes morfológicas, las posiciones de las morfoespecies 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 permite evidenciar cinco grandes clases o grupos de morfoespecies de nopal. Tres grupos son conformados por un cultivar cada uno, otro por tres, y uno por 34 morfoespecies (Figura 5).

Las morfoespecies Tapón macho, Copena F-1 y Oreja de elefante conforman un grupo cada una. El análisis de componentes principales permitió evidenciar que Tapón macho se diferencia del resto de morfoespecies 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 las morfoespecies Tamanzuchale, Nopalea Jalpa y Llera conforman un grupo compacto de material vegetativo caracterizado principalmente por su textura extremadamente cerosa, según el plano bidimensional definido por los CP1 y CP2 (Figura 4), y Relación L/A grande (Figura 3), principalmente.

A su vez, el grupo conformado por 34 morfoespecies puede ser dividido en al menos dos subclases o subgrupos. Una de esas subclases puede ser conformada por las morfoespecies Chihuahua, T-L, P-8 rojo y 40 (Figura 5). P-8 rojo y 40 tienden presentar cladodios con un gran Número de areolas de colores oscuros; mientras que Chihuahua a producir cladodios obovados, anchos con margen ondulado y textura cerosa; y T-L tiene cladodios relativamente mas alargados que el resto de las morfoespecies con la excepción clara de Copena F-1 (Figuras 2 y 3). El resto de morfoespecies conforman un grupo mas compacto que los ya mencionados, caracterizado por una amalgama compleja de atributos morfológicos.

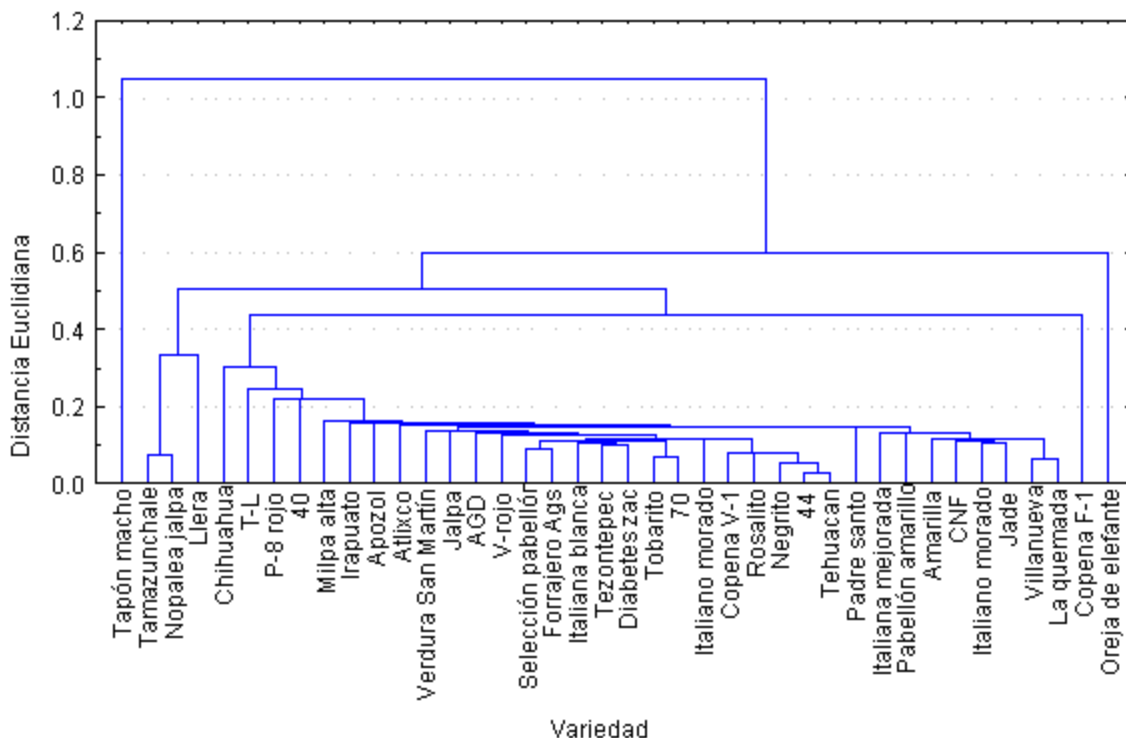


Figura 5. Dendrograma de 40 morfoespecies de nopal en el cual se aprecian claramente cinco clases a una distancia euclidiana de 0.4.

CONCLUSIONES

Se puede establecer lo siguiente:

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

Las morfoespecies Tapón macho, Copena F-1 y Oreja de elefante conforman un grupo cada una.

Tapón macho se diferencia del resto de morfoespecies debido a la gran presencia de espinas en sus cladodios. Copena F-1 se diferencia de otras morfoespecies por sus cladodios sumamente alargados.

Oreja de elefante se distingue por su margen ondulado y su superficie extremadamente cerosa.

Las morfoespecies 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.

Un grupo conformado por 34 morfoespecies puede ser dividido en al menos dos subclases o subgrupos. Una de esas subclases puede ser conformada por las morfoespecies Chihuahua, T-L, P-8 rojo y 40. P-8 rojo y 40 tienden presentar cladodios con un gran Número de areolas de colores oscuros; mientras que Chihuahua a producir cladodios obovados, anchos con margen ondulado y textura cerosa; y T-L tiene cladodios relativamente mas alargados que el resto de las morfoespecies con la excepción clara de Copena F-1.

El resto de morfoespecies conforman un grupo mas compacto que los ya mencionados, caracterizado por una amalgama compleja de atributos morfológicos. Estos grupos o clases de morfoespecies 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

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

LITERATURA CITADA

- Arkley, R. J. 1976. Statistical methods in soil classification research. *Adv. Agron.* 28: 37-70.
- Broschat, T. K. 1979. Principal component analysis in horticultural research. *HortScience* 14(2): 114-117.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Valdez Cepeda, R. D. 1997. Análisis estocástico espacial de procesos edáficos y de plantas en *Zea mays* L. Universidad Autónoma de Nuevo León-Facultad de Agronomía. Tesis de Doctor en Ciencias. Marín N. L., México. 91 p.
- Valdez Cepeda, R. D.; Gallegos Vázquez, C.; Blancomacías, F. 1995. Agrupamiento jerárquico de veintinueve genotipos de *Opuntia* spp. mediante características del fruto (tuna), pp. 15-18. *In: Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal: Memorias 6to. Congreso Nacional y 4to. Congreso Internacional.* Pimienta B.; Neri, E. C.; Muñoz, A.; Huerta, F. M. (Comps.). Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., México.
- Valdez Cepeda, R. D.; Gallegos Vázquez, C.; Blancomacías, F. 1996. Clasificación numérica de *Opuntia* spp. mediante características de su fruto (tuna). *Rev. Geografía Agrícola* 22-23: 287-293.
- Valdez Cepeda, R. D.; Gallegos Vázquez, C.; Blancomacías, F. 1997. Análisis multivariado en once variedades de nopal tunero: atributos de fruto, pp. 118-119. *In: Memorias del VII Congreso Nacional, V Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Vázquez, R.; Gallegos, C.; Treviño, N.; Díaz, Y. (Comps.). FA-UANL, Monterrey, N.L., México.