

1. INTRODUCCIÓN

El nopal *Opuntia* spp. ha representado para los mexicanos, en su desarrollo histórico, uno de los elementos bióticos más relevantes y de mayor significado cultural y cuya importancia antropocéntrica data desde la época prehispánica. En este contexto, el nopal ha desempeñado desde tiempos muy remotos un papel importante en el desarrollo de las culturas del centro de México.

Debido al gran potencial de adaptación, a las zonas áridas y semiáridas, que posee el nopal, además de las bondades alimenticias, medicinales y forrajeras que entre muchas otras se le atribuyen, se ha considerado al nopal como una prioridad de investigación (INIFAP, 1994) en la búsqueda de información y de nuevas tecnologías que ayuden, por una parte a garantizar la conservación del acervo genético con el que actualmente se cuenta y, por la otra, a encontrar nuevas formas de aprovechar eficientemente este valioso recurso.

A México se le reconoce como el centro de origen y dispersión del nopal (Bravo, 1978); por lo que es importante atender los lineamientos de León (1978) quien establece que “los recursos genéticos, como parte del patrimonio de un país o región deben recibir atención en su conservación, mejoramiento y uso, para hacer de ellos un elemento activo en el avance de los países, por lo que se considera sensato que los países de alta riqueza genética en alguna(s) especie(s), organicen sus propios medios de preservarla, principalmente para su propio uso y para intercambiarla con otros”. Asimismo, organizaciones internacionales como la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Instituto Internacional de los Recursos Fitogenéticos (IPGRI), entre otros, han reconocido la necesidad de estudio de los recursos naturales que, como el nopal, están en peligro de desaparecer o de los que el conocimiento es muy limitado

(Guarino *et al.*, 1995), ya que tales recursos pudieran, en un futuro, llegar a ser útiles en programas de desarrollo para las regiones donde la agricultura es una actividad difícil o casi imposible y en las regiones pobres de países subdesarrollados.

En el estudio y la conservación de germoplasma se reconocen dos estrategias importantes que garantizan el cumplimiento de las funciones de dicha conservación: la conservación *in situ* y la conservación *ex situ* (Bye, 1985).

El estudio detallado de la diversidad de los recursos genéticos *ex situ* implica la colección de materiales genéticos de interés (Engels *et al.*, 1995) y su traslado a sitios especializados en su manejo, estudio y conservación, como es el caso de los jardines botánicos y bancos de germoplasma (Ardešhir, 1996). Una vez ahí la caracterización del acervo genético se convierte en una actividad primordial, ya que la información obtenida es esencial para determinar sus características taxonómicas, agronómicas y comerciales.

Hasta el momento, en México existen 17 colecciones de germoplasma de nopal (Flores *et al.*, 1997) en donde se desarrolla como actividad principal la descripción sencilla de los materiales contenidos en ellos. Sin embargo, los pocos trabajos realizados han sido enfocados a la descripción y clasificación (tomando como base caracteres morfológicos) circunscribiéndose a una clasificación Linneana, o bien a una caracterización desde un punto de vista agronómico. Las excepciones son los trabajos de Valdez-Cepeda *et al.*, 1995, 1996, 1997abcd, 1998, 1999; Fernández *et al.*, 1999ab; Gutiérrez-Acosta *et al.*, 2000ab; y Sabás-Soto, 2001), quienes han recurrido a la taxonomía numérica.

Se considera necesario fortalecer alternativas de ordenación y clasificación numérica que permitan una mayor precisión al momento de considerar un mayor número de genotipos, en base a la mayor diversidad de atributos de planta (nopal).

Por consiguiente, se plantearon las siguientes objetivos e hipótesis.

1.1. Objetivos:

- i). Caracterizar morfológica y fisicoquímicamente a 42 cultivares del Banco de germoplasma de nopal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- ii). Ordenar y clasificar numéricamente a 42 cultivares de nopal en base a características morfológicas y fisicoquímicas de cladodios de un año de edad y forma de la planta.

1.2. Hipótesis:

- i). Los cultivares de nopal tienen atributos morfológicos y fisicoquímicos que los describen en forma particular, por lo tanto, la diferenciación entre ellas es posible.
- ii). La ordenación y la clasificación numérica de cultivares de nopal son factibles en base a su similitud, por lo tanto, es posible conformar grupos de cultivares con características similares.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la Conservación de los Recursos Fitogenéticos

La diversidad genética es el componente clave de cualquier ecosistema o sistema de producción agrícola. Sin ésta, el ajuste evolutivo del sistema (agrícola o natural) cambiaría las condiciones ambientales y bióticas en gran medida, por lo que la necesidad de la conservación de los recursos genéticos está ampliamente reconocida.

Las amenazas a la destrucción de la biodiversidad, en general, se originan en las altas tasas de crecimiento de la población humana, especialmente durante la segunda mitad del siglo XX. Este fenómeno, en los países en vías de desarrollo, ha conducido a la sobreexplotación del ambiente físico y biótico, a la fragmentación del hábitat y su consiguiente pérdida, contaminación, cambio microclimático, proyectos agrícolas y forestales a gran escala pero no sostenibles (Bajad y Williams, 1995). La reducción de los recursos genéticos vegetales, en particular, en sus centros de diversidad puede estar asociada con la dispersión de las prácticas agrícolas modernas pues se incrementaron principalmente después de la segunda guerra mundial. Éstas incluyen la adopción de variedades genéticamente uniformes, agrónomicamente mejoradas, altamente rendidoras que requieren grandes cantidades de fertilizantes y otros insumos para manifestar su potencial. Esto provocó el abandono de las variedades nativas localmente adaptadas y genéticamente variables, aunque relativamente menos rendidoras e hizo a un lado el que se cultivaran para lograr la subsistencia de los agricultores en los países en vías de desarrollo (Damania y Srivastava, 1990). Los centros internacionales de investigación agrícola (IARCs), apoyados por fondos públicos y privados, estimularon a los agricultores a utilizar variedades mejoradas con rendimientos superiores en condiciones

óptimas y a hacer a un lado sus propias razas y/o variedades nativas. Esto ha funcionado bien en algunos casos, tales como en Sudán y en Siria los cuales han llegado a ser autosuficientes en la producción de trigo por primera vez en las últimas décadas.

Sin embargo, los agricultores, en algunos países en vías de desarrollo; han llegado a ser tan dependientes de soluciones externas en sus problemas, esencialmente locales, que han perdido la confianza en su propia capacidad para ayudarse (Fernández, 1994). Ellos ven las técnicas modernas, importadas, de alta tecnología o institucionalmente promovidas como algo superior a ellos mismos o a aquellas que utilizaron sus ancestros. Esta percepción errónea ha creado, desafortunadamente, un abismo en la comunicación entre los jóvenes y los adultos de las comunidades agrícolas lo cual afecta el flujo de conocimiento nativo relacionado a la biodiversidad y su utilización en los sistemas agrícolas. Así entonces, la diversidad de cultivos agrícolas no puede ser preservada *in situ* sin promover simultáneamente la cultura tradicional de la comunidad agrícola, la cual fomenta y protege sus derechos. Existe la necesidad de reconocer la equidad de los países en vías de desarrollo y los derechos de sus agricultores, pues ellos han nutrido y proporcionado desinteresadamente los recursos genéticos a los coleccionistas, especialmente las razas nativas que constituyen, en la actualidad, el mayor volumen de las más importantes colecciones *ex situ*.

2.2. Estrategias de Conservación

Se han propuesto algunas estrategias para asegurar la conservación de los recursos fitogenéticos, algunos ejemplos son las reservas ecológicas, parques nacionales y otros tipos de áreas protegidas. Los bosques manejados sosteniblemente y los esfuerzos de las organizaciones no gubernamentales en la conservación de los cultivos a nivel de comunidades de campo son ejemplos de la aplicación de tales estrategias *in situ*. Sin embargo, también es posible tomar otro curso; se pueden coleccionar del campo propágulos u otras partes de plantas y transferirlos a una forma apropiada de almacenamiento *ex situ*. Las formas de conservación *ex situ* pueden incluir el mantenimiento de semillas y polen en almacenes fríos, plantas completas u órganos de

éstas en colecciones de campo, jardines botánicos y muestras *in vitro* en laboratorios de cultivo de tejidos en condiciones de crecimiento lento ó criopreservación.

Las estrategias de conservación dependen de la naturaleza del material y de los objetivos y el enfoque de la conservación. La naturaleza del material está definida por la longitud del ciclo de vida (longevidad), el modo de reproducción, el tamaño de los individuos y el estatus ecológico de la(s) especie(s) a conservar. El objetivo de la investigación, la introducción y el mejoramiento pueden determinar el grado de integridad, esencial ó deseable, a mantener. El enfoque es la escala de tiempo en que está proyectada la preservación y el área o espacio a los que está relacionada (una localidad o región del mundo) (Frankel y Bennett, 1970).

2.3. Colecciones de Germoplasma

Las colecciones desde el punto de vista de recursos genéticos cumplen dos funciones distintas: 1) la base para la identificación del material, y 2) la conservación del material de trabajo. La identificación y clasificación del material botánico de trabajo está basado en ejemplares preservados, relacionados y referidos a las colecciones. La conservación involucra la preservación de plantas vivas completas o partes para propagación, la evaluación de su comportamiento, el buen uso, y el desarrollo del material de trabajo. Sin embargo, para que se cumplan las dos funciones mencionadas es necesaria una colecta previa del material, por lo que es sensato referirnos también a esta actividad que representa la base de cualquier colección *ex situ*. El lector interesado en las tácticas y procedimientos en la colecta de germoplasma puede consultar a: Bennett (1970), Chang *et al.* (1972), Harlan (1975), Hawkes (1980), Arora (1981), Chang (1985) y Astley (1991).

2.3.1. Justificaciones para las colecciones de germoplasma

En la tierra existen mas de un cuarto de millón de especies vegetales, por lo que es imprescindible considerar, basándose en un principio precautorio, que todas son blancos legítimos de colecta. La demanda de germoplasma (desde genes individuales, complejos de genes adaptados, hasta genotipos enteros ó aun poblaciones) es impredecible y dinámica. No hay manera de decir cuales serán las necesidades del mañana y qué plantas podrán estar disponibles para satisfacerlas (Engels et al., 1995).

Las principales razones que pueden ser planteadas para la colecta de germoplasma de una especie dada en un área dada son:

- i). Está en peligro de erosión genética ó de extinción.
- ii). Ha sido expresada su necesidad claramente por los usuarios en el ámbito nacional ó internacional.
- iii). La diversidad que representa se está perdiendo o está insuficientemente representada en las colecciones de germoplasma *ex situ*.
- iv). Se necesita saber más acerca de ésta.

La erosión genética (la pérdida de diversidad genética) se puede deber a dos razones interrelacionadas: el cambio socioeconómico y el cambio agrícola.

La pérdida irreversible de la diversidad genética puede ser ocasionada por la sobreexplotación de las especies silvestres, por ejemplo el sobre pastoreo en el caso de los forrajes o por la cosecha incontrolable de su hábitat natural; en el caso de las plantas medicinales, especies leñeras, árboles maderables, etc. La explotación de una especie silvestre en particular puede conducir a la eliminación inherente de otras especies (Guarino, 1995).

2.3.2. Manejo de las colecciones de germoplasma

El manejo de las colecciones de germoplasma, en general, incluye una serie de actividades que, cronológicamente, siguen este patrón: adquisición, caracterización, documentación, preservación, evaluación, distribución y utilización (Clark et al., 1997). Siendo la adquisición (colecta) y la caracterización (clasificación) las actividades primordiales ya que representan la base de cualquier colección.

2.3.3. Tipos de colecta

2.3.3.1. Colecta de rescate

Si la diversidad genética en un área está amenazada y los métodos de conservación *in situ* no son factibles o son insuficientes, la colecta debe estar garantizada. Las poblaciones pequeñas (en número o extensión espacial) y taxones ó genotipos con distribuciones restringidas estarán mas en riesgo por tales circunstancias y tenderán a ser altas prioridades para una colecta de éste tipo.

2.3.3.2. Colecta para uso inmediato

Las comunidades locales están colectando germoplasma continuamente para su uso inmediato, esto va desde intercambiar material vegetal para uso inmediato entre los agricultores, como lo han hecho durante miles de años, hasta coleccionar semillas de árboles silvestres para proyectos forestales de la comunidad. Sin embargo, en el sector formal el uso de germoplasma significa incorporarlo a un programa de mejoramiento o de selección e introducción de plantas. Los fitomejoradores generalmente mantienen sus propias colecciones consistiendo de genotipos cuidadosamente seleccionados, pero son necesarias la introducción, selección, domesticación y mejoramiento de cepas específicas, así como de combinaciones de cepas, permitiendo que los nuevos problemas sean resueltos y que las nuevas demandas sean conocidas. Se ha probado que la forma

más efectiva de garantizar la conservación de germoplasma es la conexión estrecha entre la colecta de germoplasma y su uso.

2.3.3.3. Colecta para uso futuro

La necesidad del uso inmediato es una razón importante para la colecta, pero el material no considerado particularmente útil ahora puede volverse útil en el futuro.

Los problemas agronómicos y las probabilidades de cambio, los ecosistemas que ahora se creen seguros pueden necesitar rehabilitación en el futuro. El uso potencial del futuro es también una justificación legítima para la colecta de germoplasma. Dentro de los bancos de genes, debido a la mucha variación genética que está asociada con la variación en los factores ambientales, las condiciones ecológicas que no están representadas en las colecciones existentes estarán de acuerdo a las grandes prioridades de colecta, así como a los genotipos perdidos.

2.3.3.4. Colecta de investigación

El desarrollo de un conocimiento comprensivo de la base genética de cualquier espécimen es un motivo importante para la colecta. Con frecuencia el germoplasma es necesario para resolver problemas de investigación particulares; ejemplos de tales problemas son los sistemas de cruzamiento de las especies, sus límites taxonómicos, las relaciones evolutivas (filogenéticas) entre las mismas y dónde y cómo se domesticaron las formas cultivadas. Las especies taxonómicamente únicas o aisladas o cerradamente endémicas merecen una alta prioridad en la colecta de investigación.

2.3.3.5. Colecta de oportunidad

El germoplasma a veces es colectado sobre bases “oportunistas” durante una misión originalmente planteada sobre especies diferentes, caracteres o condiciones ecológicas. Características fenotípicas destacadas, la ocurrencia de situaciones inusuales

o nuevas, así como los usos de interés local son razones que pueden conducir a tales colectas. La colecta de germoplasma también puede ser una parte incidental de otras actividades; por ejemplo, estudios etnográficos o estudios botánicos en su mayoría concentrados sobre la colecta de especímenes de herbario.

De lo anterior se concluye que una de las metas generales para cualquier tipo de colección debe ser el clasificar a los especímenes o a los grupos de ellos.

2.4. Clasificación

La clasificación es una actividad humana muy influenciada por los objetivos del usuario (Dale *et al.*, 1989). Pero está claro que el propósito esencial y fundamental de cualquier clasificación es organizar los miembros de una población en grupos o clases para que su naturaleza y las interacciones entre ellos sean fácilmente entendidas (Arkley, 1976). En biología, la taxonomía numérica ha involucrado a las clasificaciones tomando como base a la genética y/o la filogenia de las especies (Villaseñor y Murguía-Romero, 1992), e inclusive, de ésta forma se han refutado los rangos categóricos de la taxonomía Linneana (*e. g.* Webb, 1954; Green, 1991). Los fundamentos principales, hasta ahora argumentados en ese sentido, son:

- i). La mayoría de las especies presentan algún grado de separación por el patrón genético (Webb, 1954).
- ii). La explicación y el entendimiento de la física del proceso evolutivo (Green, 1991).

En consecuencia, se han desarrollado clasificaciones numéricas que contemplan la variabilidad de los atributos. Desafortunadamente, en muchas de esas clasificaciones no se ha considerado el establecimiento de las clases como una operación distinta a la definición de las reglas para poder incluir nuevos atributos que permitan diferenciar clases o grupos. Otros problemas asociados a las clasificaciones numéricas son las definiciones apropiadas de escalas y ponderaciones de las restricciones contextuales y condicionantes (Dale *et al.*, 1989).

2.4.1. Fundamentos Teóricos de Ordenación y Clasificación

2.4.1.1. Selección de especies, variedades y genotipos

La cantidad de especies, genotipos y/o variedades genotipos de *Opuntia* a ser incluidos en la clasificación deberá 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 puede 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.

2.4.1.2. Definición de atributos

La selección de los atributos es invariablemente más importante que la selección de los especies, genotipos y/o variedades. Si el propósito de la clasificación es básica (para uso general), se deben incluir tantos atributos como sea posible para que sirva a un amplio rango 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 (ver Arkley, 1976). Esto significa que deben ser aquellos que tengan:

- i). 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).

- ii). 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*.

2.4.1.3. Escalas y ponderaciones de atributos

Algunos tipos de medición de los atributos de las especies, genotipos y/o variedades 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:

- i). En la primera etapa se contemple a un buen número de variables estandarizadas para ponderarlas igualmente.
- ii). En la primera etapa es imprescindible también que se pondere de forma tal que se iguale la contribución de atributos discretos y continuos. En éste rubro se debe evitar el problema de sesgo mediante alguna transformación de los valores del o los atributo(s).
- iii). 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.

2.4.2. 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 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). Éste 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-Cepeda, 1997a). 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 importantes son aquellos que se correlacionan más con los CP's importantes; éstos atributos son útiles para definir la nomenclatura de los grupos de especies, genotipos y/o variedades. La estructura de los CP's puede sugerir algún significado biológico (Iezzoni y Pritts, 1991) al considerar atributos lógicamente biológicos.

2.4.3. Clasificación: Método y Número de Grupos o Clases

Para la clasificación del género *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.* (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 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.

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 mas convenientes para apoyar los objetivos planteados.

El "coeficiente de correlación (r) de Pearson" es muy usado como coeficiente de similitud porque es una medida de patrón mas que de magnitud de diferencia (Arkley, 1976). Éste 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.

Quizás el método de agrupamiento más ampliamente usado es el que considera la "distancia de unión promedio". Ello se debe probablemente a que los genotipos o grupos de genotipos se unen en base al promedio de la 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, o bien 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 éste atributo considerando 37 variedades de soya de África del Sur para identificar cuatro grupos principales en un fenograma (dendograma que muestra la relación de los genotipos de acuerdo a la similitud de polimorfismo).

Es muy posible que el método produzca grupos, mediante los dendogramas, 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. Inclusive, Boer *et al.* (1993) señalaron que para facilitar la definición de los grupos y sus integrantes es conveniente realizar el análisis por conglomerados usando la estructura de los CP's importantes como insumo. Así, el número de grupos o clases se facilita también al usar como método de agrupamiento la técnica de Ward (de varianza mínima), pues dicha herramienta usa un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la distancia entre clases, es decir, minimiza la suma de cuadrados de cualquier par hipotético de grupos o clases que pueden ser formados en cualquier nivel de jerarquía. El lector interesado en detalles puede consultar a Ward (1963).

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). Éste aspecto puede ser apoyado por los resultados del método de ordenación taxonómica (Análisis de CP's).

2.5. Experiencias de Ordenación y Clasificación Numérica en Nopal

Valdez-Cepeda *et al.* (1995, 1996) agruparon 29 genotipos de nopal tunero, establecidos en la colección del Centro Regional Universitario Centro Norte de la Universidad Autónoma Chapingo, en base a 15 atributos de fruto (tuna). Ellos concluyeron que el grupo más heterogéneo y con mayor diversidad es el de los genotipos de la Región Centro Norte de México como Burrón, Mango, Charola tardía y Bola de masa, pero el grupo de los genotipos denominados Copena producen los frutos con mayor contenido de azúcar. Posteriormente, Valdez-Cepeda *et al.* (1997ab) reportaron que los frutos más grandes y alargados producen tunas menos dulces, posiblemente debido a un efecto de dilución; para ello usaron el análisis de CP's.

Por otra parte, Gutiérrez-Acosta *et al.* (2000ab) corroboraron la consistencia del grupo de los genotipos Copena y sus altos contenidos de azúcar (°brix), así como la gran riqueza genética de otro grupo de materiales colectados en la Región Centro Norte del territorio nacional y establecidos en la colección del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Aguascalientes (Figura 1). Además, Fernández *et al.* (1999ab), usando las mismas técnicas de análisis multivariado e información de otros acervos genéticos colectados en diferentes sitios, y establecidos en Campos Experimentales del INIFAP en Guanajuato, San Luis Potosí, Aguascalientes y Zacatecas, corroboraron los resultados señalados. Ello indica la consistencia de la ordenación y clasificación numérica en nopal, aunque las experiencias han sido con atributos de fruto lo cual marca la diferencia con respecto del presente trabajo de investigación en el cual se contempla involucrar características morfométricas y físico-químicas de cladodios de un año de edad.

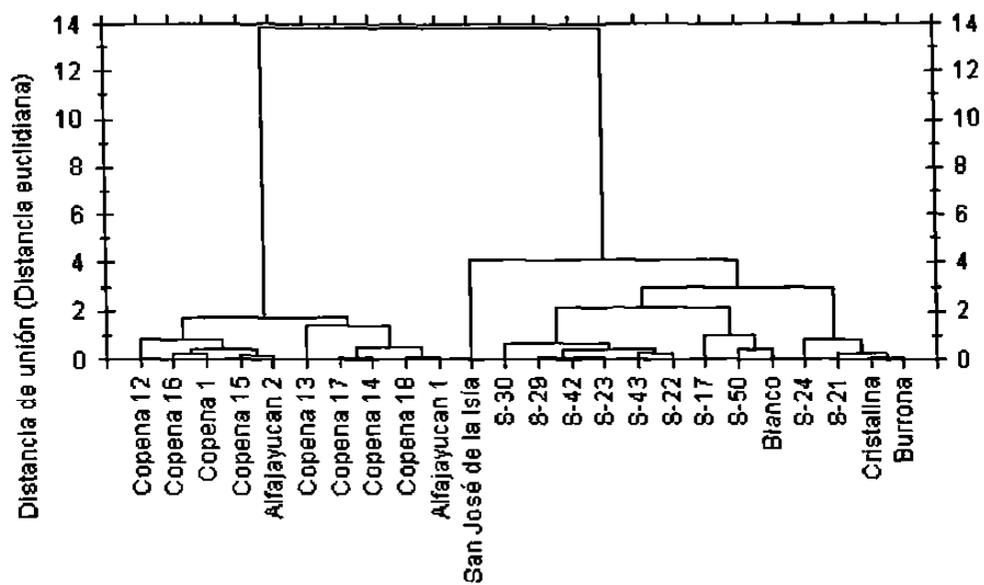


Figura 1. Dendrograma de 24 cultivares de nopal tunero definido por el método de Ward y las distancias euclidianas estimadas a partir de la estructura de dos componentes principales que explican el 80 % de la variación de 10 atributos de fruto (tuna) (Gutiérrez-Acosta *et al.*, 2000b).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de Estudio

La presente investigación se realizó tomando en cuenta información del material vegetal del Banco de Germoplasma de Nopal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Vázquez *et al.*, 1997, 1999), ubicada en Marín, Nuevo León, México. La altitud es de 375 msnm y se localiza en las coordenadas 25° 53' de latitud norte y 100° 03' de longitud oeste.

3.2. Material de Estudio

El material vegetal incluido para el desarrollo de esta investigación consiste de cladodios de un año de edad de 42 cultivares de nopal, los cuales se presentan con sus nombres comunes en el Cuadro 1.

3.3. Variables Evaluadas

Para atender el primer objetivo, se estimaron 35 variables morfológicas y fisico-químicas (Cuadro 2), en los 42 cultivares de nopal mencionados, los cuales se describen a continuación.

3.3.1. Variables morfológicas

Los descriptores morfológicos: forma de planta, largo de cladodio, ancho de cladodio, grosor de cladodios, presencia de espinas, longitud de la espina mas larga,

Cuadro 1. Nombres comunes de los cultivares estudiados con sus respectivas claves de identificación. Banco de germoplasma de nopal FAUANL.

Nombre	Clave	Foto*	Nombre	Clave	Foto*
Alfajayucan	Alfajayucan	1	Jarilla Grande	Jarilla	22
Amarillo 2289	A. 2289	2	Liso Forrajero	Liso f.	23
Amarillo 3389	A. 3389	3	Mamey Grande	Mamey	24
Amarillo	Amarillo	4	Mango	Mango	25
Amarilla Chica	A. chica	5	Morada 2	Mor. 2	26
Amarilla Montesa	A. Mont	6	Morada Grande	M. grande	27
Barrientos	Barrientos	7	Morada T10	Mor. T10	28
Blanco la Victoria	Bco.vic.	8	Naranjona Legítima	Naranjona	29
Burrona	Burrona	9	Pabellón	Pabellón	30
Cardón Blanco	Cardón bco.	10	Pabellón T30L	Pab. T	31
Chapiada	Chapiada	11	Pachona T4	Pachona	32
Concha del Oro	Con. Oro	12	Palo Alteña	Paloalteña	33
COPENA 5	C. 5	13	Pico Chulo	P. chulo	34
COPENA CE1	C. CE1	14	Rojo 3589	R. 3589	35
COPENA CE2	C. CE2	15	Rojo Pelón	R. Pelón	36
COPENA T12	C. T12	16	Rojo Pirámide	R. pir.	37
COPENA Torrija	Torrija	17	Rojo Vigor	R. vigor	38
COPENA Z1	C. Z1	18	Rubí Reyna	Rubí reyna	39
Cristalina	Cristalina	19	Sandía	Sandía	40
Cristalina Bola	C. bola	20	Sangre de Toro	SangreT	41
Fafayuca T23	Fafayuca	21	Solferino 2589 T20L	Solferino	42

* Ver fotografías en el Apéndice (Páginas 72 – 82)

número de espinas por areola, número de espinas en la cara 1, número de espinas en la cara 2 y número de espinas en la cresta se estimaron en base al formato de descriptores de nopal, propuesto por Chessa y Nieddu (1997).

Además, se estimaron algunas variables para la descripción morfométrica mas precisa de los cladodios (Figura 2). Tales medidas son: la distancia que existe de la parte apical a la parte mas ancha del cladodio (A-C), la distancia de la parte mas ancha a la parte basal del cladodio (C-B), el cociente de largo entre ancho (L/A), la distancia que existe del centro del cladodio (E) a la parte apical, considerada como largo superior (Ls), y la distancia de la parte central del cladodio (E) a la parte basal (Li).

Con la finalidad de estimar el área exacta de los cladodios de nopal se tomaron 4 fotografías de cladodios de nopal para cada uno de las 42 cultivares en

Cuadro 2. Descripción de las variables morfológicas y fisico-químicas evaluadas.

Variable	Clave	Tipo	Unidades
Forma de planta	Forma	Ordinal	1.- aplanada 2.- redonda 3.- elongada
Grosor de cladodio	Grosor	Numérico	cm
Largo de cladodio	Largo	Numérico	cm
Ancho de cladodio	Ancho	Numérico	cm
Presencia de espinas (Cantidad)	Espinas	Ordinal	0.- ausentes 1.- pocas 2.- intermedias 3.- muchas
Longitud de la espina mas larga	Longesp	Numérico	cm
No. de espinas por areola	Espareo	Numérico	
Color de la espina	Coloresp	Binario	1.- blanca 2.- gris
Gloquídeas	Gloquid	Binario	0.- ausentes 1.- presentes
No. de areolas en la cara 1	AreoC1	Numérico	No.
No. de areolas en la cara 2	AreoC2	Numérico	No.
No. de areolas en la cresta	Areocres	Numérico	No.
Distancia A-C	A-C	Numérico	cm
Distancia C-B	C-B	Numérico	cm
Largo / Ancho	(L/A)	Numérico	cm
Largo superior	Ls	Numérico	cm
Largo inferior	Li	Numérico	cm
Área	Area	Numérico	cm ²
Perímetro	Perímetro	Numérico	cm
Perímetro / Área	P/A	Numérico	cm
Índice de compacidad	IC	Numérico	cm
Eficiencia del perímetro	K	Numérico	cm
Dimensión fractal del área	D _A	Numérico	Adimensional
Constante de proporción del área	C _A	Numérico	Adimensional
Dimensión fractal de perímetro	D _P	Numérico	Adimensional
Constante de proporción del perímetro	C _P	Numérico	Adimensional
Peso húmedo de cladodio (en base a peso total)	Ph	Numérico	%
Peso seco de cladodio (en base a peso total)	Ps	Numérico	%
Contenido de materia seca (en base a peso total)	Msp	Numérico	%
Contenido de agua (en base a peso total)	Agua	Numérico	%
Contenido de materia seca total	Mst	Numérico	%
Contenido de cenizas (en base a materia seca)	Cen	Numérico	%
Contenido de materia orgánica (en base a materia seca)	MO	Numérico	%
Contenido de Proteína total (en base a materia seca)	Proteína	Numérico	%
Contenido de fibra (en base a materia seca)	Fibra	Numérico	%

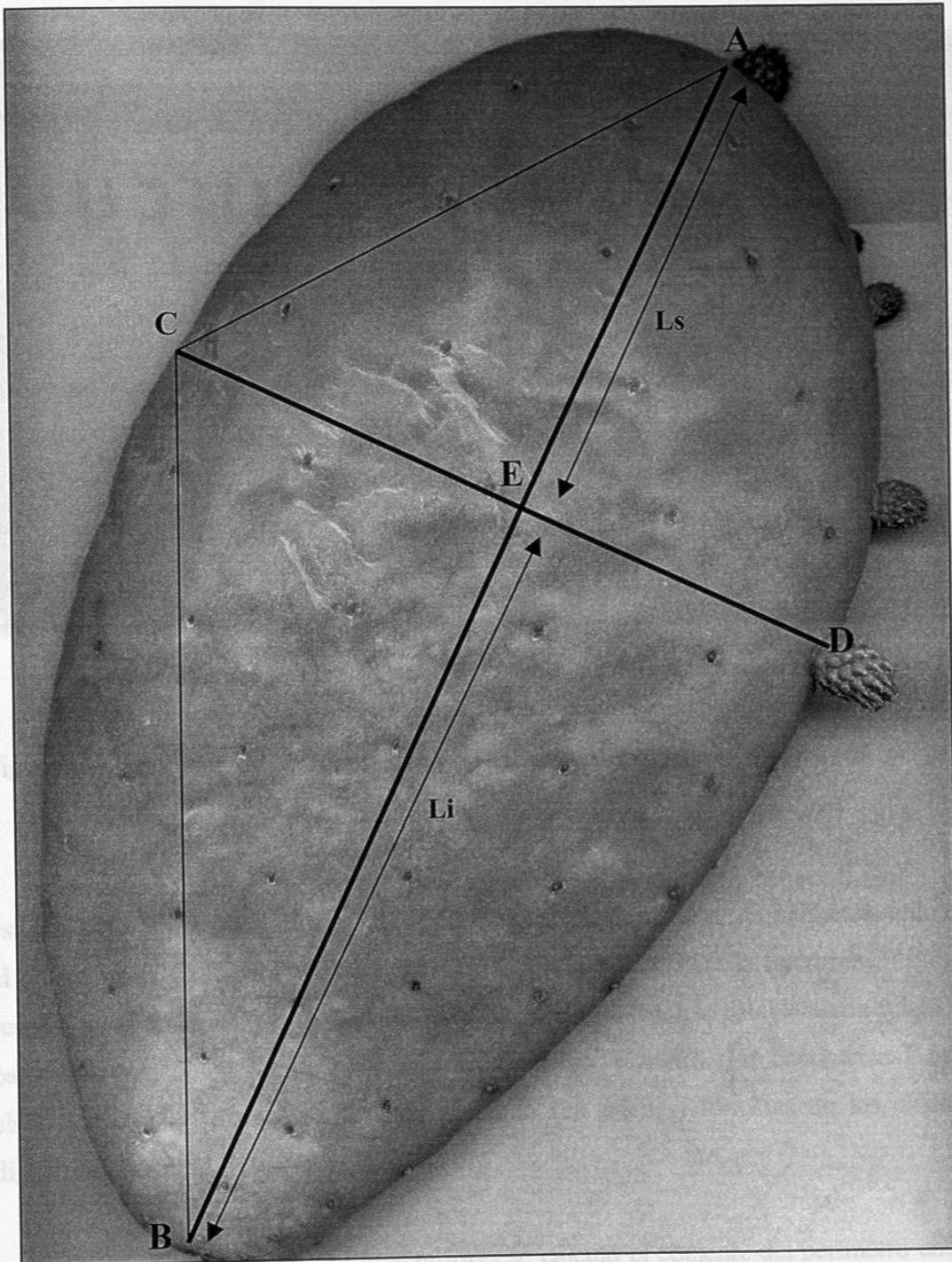


Figura 2. Imagen de cladodio de un año de edad mostrando el patrón de medición de las variables del cultivar Liso Forrajero. A-B, largo; C-D, ancho; A-C, distancia del ápice a la parte mas ancha; C-B, distancia de la parte mas ancha a la base; A-E, largo superior (Ls); y B-E, largo inferior (Li).

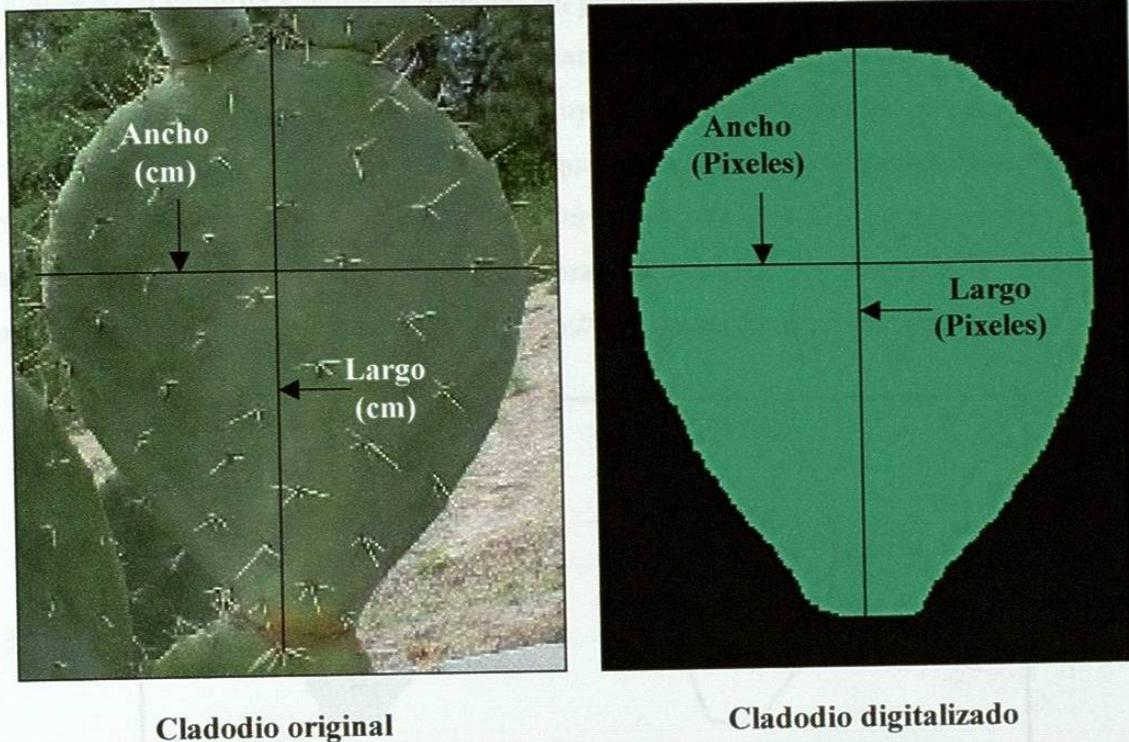


Figura 3. Esquema de la digitalización de un cladodio por medio del programa computacional IDRISI 2.0.

estudio previamente medidos en su largo y ancho, las cuales se digitalizaron utilizando el programa IDRISI para Windows versión 2.0 (Figura 3). Para la interpretación de los resultados obtenidos de la digitalización (áreas y perímetros) se establecieron relaciones, para cada repetición, entre las distancias de largo y ancho (en centímetros) de los cladodios con las distancias de largo y ancho (en píxeles) tomadas de los cladodios digitalizados en la computadora.

En base a las estimaciones anteriores se calculó el cociente del perímetro entre el área (P/A) para cada cladodio.

También se consideró la eficiencia del perímetro k de cladodios, pues es una característica matemática de su forma, calculándose en base a las medidas, obtenidas a

partir de imágenes digitalizadas por medio del programa IDRISI, de área y perímetro (Figura 4) El valor de k indica la longitud del perímetro de la forma del cladodio relativa a otras formas cerradas en la geometría plana clásica, e. g. el círculo, la elipse, etc. Cladodios con valores grandes de k son muy compactos y tienen poco perímetro con respecto al área que encierran; mientras aquellos con valores pequeños, presentan un perímetro que corresponde al área que encierran y coinciden con los principios de los objetos planos euclidianos. En otras palabras, la k puede ser usada para relacionar matemáticamente el perímetro y el área (<http://mathforum.com/>; Ecuación 1).

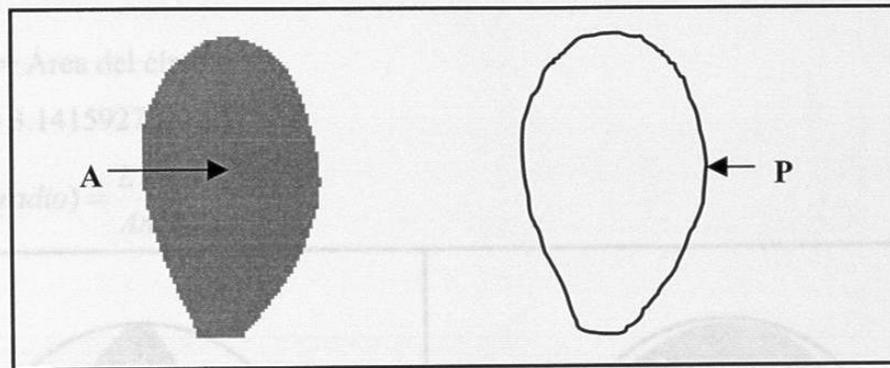


Figura 4. Cladodios digitalizados de nopal mostrando el patrón de medición de las variables Área (cm^2) y Perímetro (m).

$$k = \frac{2\sqrt{\pi A}}{P} \quad (1)$$

Donde:

k = Eficiencia del perímetro

π = Pi (3.1415927...)

A = Área del cladodio

P = Perímetro del cladodio

Por otra parte, se involucró al índice de compacidad de los cladodios (IC), el cual relaciona el área del cladodio (A_p) con el área del círculo que la circunscribe (A_c) (Figura 5). El área de la circunferencia se calculó a partir de la ecuación 2, donde se

consideró al radio de la circunferencia como la mitad de la longitud de cada cladodio (Largo).

Teóricamente el polígono con área mas compacta (que llene mas el área del círculo) presenta valores altos de IC. El IC se determinó mediante la Ecuación 3. (http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/wwwtutor/s_tools2.htm).

$$Ac = (\pi)(r)^2 \quad (2)$$

Donde:

Ac = Área del círculo

π = 3.1415927...

$r(\text{radio}) = \frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}}$

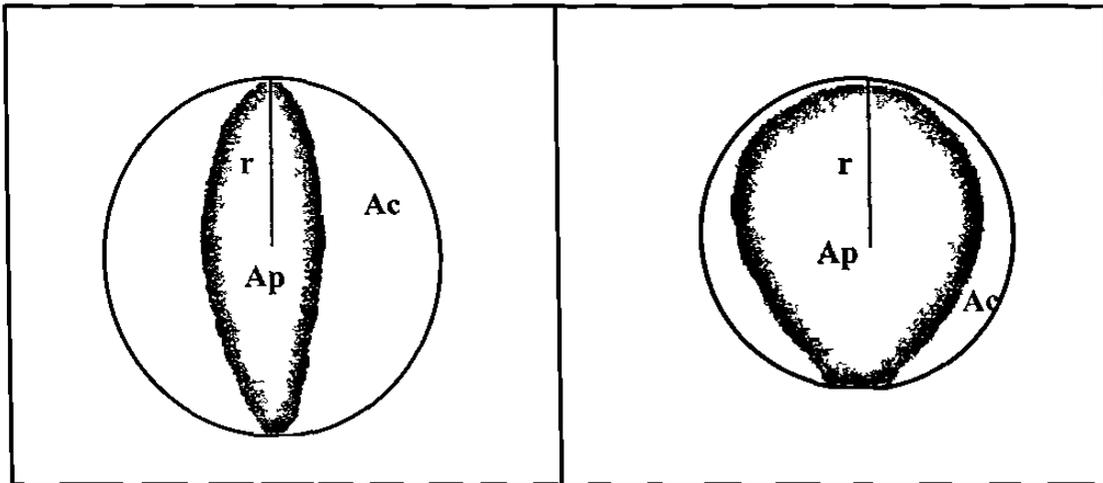


Figura 5. Representación gráfica de la estimación del índice de compactad a partir de la relación del espacio que ocupa el área de un cladodio (Ap) en el área del círculo (Ac) que los circunscribe.

$$IC = \frac{Ap}{Ac} \quad (3)$$

Donde:

IC = Índice de compactad

Ap = Área del polígono (cladodio)

Ac = Área del círculo

Asimismo, para cladodios de un año de edad se estimaron las variables: dimensión fractal del área (de una cara del cladodio) (D_A), constante de proporcionalidad del área (C_A), dimensión fractal del perímetro del cladodio (D_P), y constante de proporcionalidad del perímetro (C_P). La metodología usada para ello fue la reportada por Valdez-Cepeda y Blanco-Macías (1999, 2000ab), misma que se indica enseguida.

Suponiendo que X es un espacio métrico completo y que A (en el presente caso, el área de una cara del cladodio de nopal) es un subconjunto no vacío, el número de cuadros $N_r(A)$ de lado r ($0 < r < X$) necesarios para cubrir el subconjunto A es definido por una función potencial.

$$N_r(A) \propto C_A \left(\frac{1}{r} \right)^{D_A} \quad (4)$$

Donde:

C_A = es una constante de proporcionalidad y

D_A = es la dimensión fractal de área.

Puesto que

$$N_r(A) = \log C_A + D_A \log \left(\frac{1}{r} \right) \quad (5)$$

Entonces,

$$D_A = \lim_{r \rightarrow 0} \left[\log N_r \left(\frac{A}{\log \left(\frac{1}{r} \right)} \right) \right] \quad (6)$$

La D_P (Dimensión fractal del perímetro de cladodio) se estima mediante un procedimiento similar al descrito previamente, pero considerando el $N_r(P)$ que cubren al perímetro P del cladodio, de manera que

$$D_P = \lim_{r \rightarrow 0} \left[\log N_r \left(\frac{P}{\log \left(\frac{1}{r} \right)} \right) \right] \quad (7)$$

Los valores de D_A y D_P deben circunscribirse a valores >1 y <2 , ya que las áreas y perímetros de los cladodios ni son círculos y/o elipses, ni curvas regulares típicas, respectivamente, de la geometría euclidiana. Los principios de la geometría fractal señalan que los objetos naturales, en el presente caso los cladodios, son mejor descritos por una dimensión fraccionaria (fractal) que las dimensiones euclidianas asociadas a objetos como el círculo, la elipse, el cuadrado, cuyo valor es dos (2), pues difícilmente sus áreas son iguales a la de un círculo o elipse. Aunque el área de las caras de los cladodios se circunscribe al perímetro de un círculo o una elipse, no se ajusta exactamente a él, debido a la irregularidad de sus bordes limítrofes. Por lo tanto, se considera el supuesto de que la dimensión fractal de área y perímetro de los cladodios es un mejor descriptor morfológico. Los valores grandes de D_A y D_P son indicadores de que el área del cladodio casi ocupa la de un plano debido a la gran irregularidad de su perímetro. El lector interesado puede consultar obras como Turcotte (1992), Bunde y Havlin (1994) y Valdez-Cepeda y Olivares-Sáenz (1998), entre otros.

Para desarrollar esta metodología se fotografiaron cuatro cladodios por cultivar y sus imágenes se insertaron debajo de un plano cuadrado bidimensional "X", donde se estimó el número de cuadros (N) de tamaño (r) necesarios para cubrir el área y perímetro de los cladodios considerando cuatro escalas diferentes (r's). Las r fueron 4 (8 cm), 16 (4 cm), 32 (2 cm), y 64 (1 cm) (Figura 6). Los valores de los C_A y D_A se estimaron mediante regresión lineal (Ecuación 5) por mínimos cuadrados.

3.3.2. Variables físico-químicas

Las variables físico-químicas: contenido de materia seca, contenido de agua, contenido de cenizas, contenido de materia orgánica, contenido de proteína y contenido de fibra se determinaron en el laboratorio de bromatología FAUANL, siguiendo la metodología establecida por la AOAC (1991).

3.4.1.1. Análisis por componentes principales (ACP's)

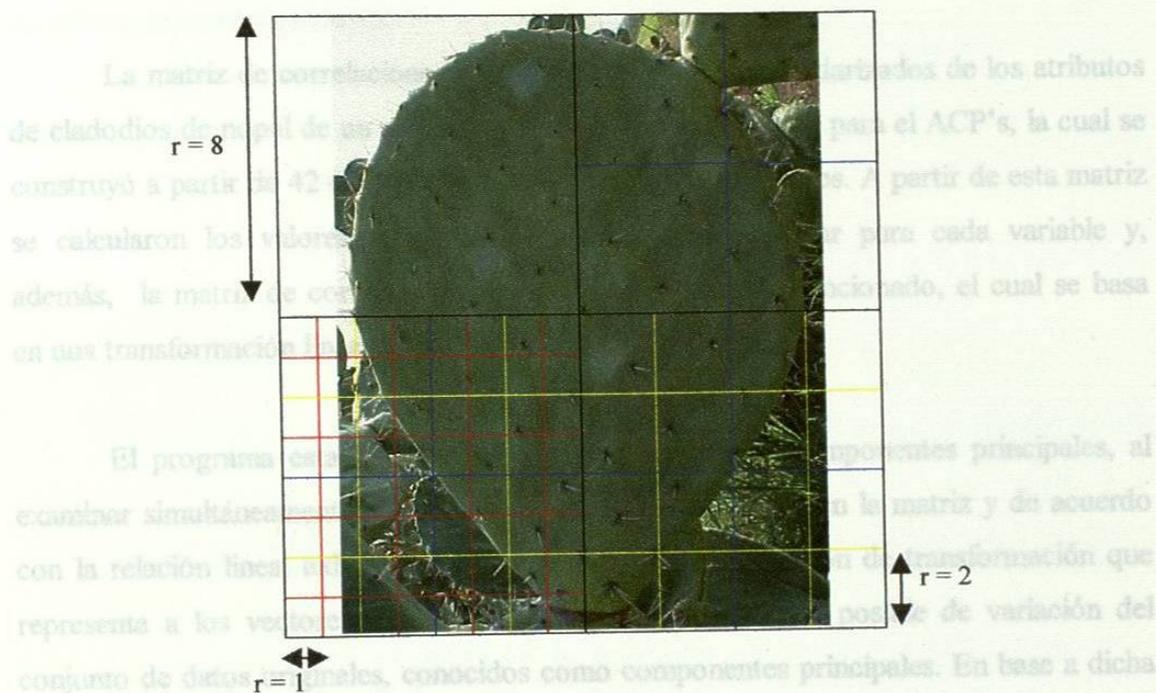


Fig. 6. Esquema del conjunto X (Área cuadriculada) mostrando las magnitudes (r 's) de los cuadros y la forma en la que estos son ocupados por el área ó perímetro de el subconjunto A (Cladodio).

3.4.1.2. Análisis por conglomerados (AC)

3.4. Análisis Estadísticos

3.4.1. Ordenación y clasificación numérica

Para atender el segundo objetivo de esta investigación se consideraron los promedios de todas las variables para definir sistemáticamente el orden y la similitud de los atributos de cladodios, así como para ordenar los cultivares en grupos relativamente uniformes mediante las técnicas de análisis por componentes principales (ACP's) y análisis por conglomerados (AC). Para hacer ambos análisis en computadora personal se usó el Programa STATISTICA versión 5.1 (StatSoft, Inc., 1998).

3.4.1.1. Análisis por componentes principales (ACP's)

La matriz de correlaciones bivariadas con valores estandarizados de los atributos de cladodios de nopal de un año de edad fue la fuente de datos para el ACP's, la cual se construyó a partir de 42 observaciones (cultivares) y 35 variables. A partir de esta matriz se calcularon los valores medios y las desviaciones estándar para cada variable y, además, la matriz de correlaciones utilizada en el análisis mencionado, el cual se basa en una transformación lineal de las observaciones originales.

El programa estadístico utilizado en el análisis de componentes principales, al examinar simultáneamente el número de variables contenidas en la matriz y de acuerdo con la relación lineal existente entre ellas, calculó una ecuación de transformación que representa a los vectores, que contienen la mayor cantidad posible de variación del conjunto de datos originales, conocidos como componentes principales. En base a dicha matriz se seleccionaron los primeros cuatro componentes que fueron los que aportaron una mayor cantidad de información útil (Rumayor, 1993).

3.4.1.2. Análisis por conglomerados (AC)

La matriz de coeficientes de las correlaciones extraída a partir de los cuatro primeros CP's, los cuales explicaron un porcentaje importante de la variación total (68%) fueron utilizados para hacer el análisis de conglomerados (AC) tal y como lo sugiere Boer *et al.* (1993). Esta estrategia ha sido utilizada por Gutierrez-Acosta *et al.* (2000ab) exitosamente.

De la salida (output) del programa STATISTICA para los AC se obtuvieron: la lista de los miembros de cada grupo o clase con sus respectivas distancias euclidianas, los análisis de varianza y los estadísticos descriptivos para los cuatro componentes principales entre y dentro de los grupos y para las variables en estudio.

Los gráficos tridimensionales se obtuvieron a partir de la matriz de coeficientes de cada componente principal.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización Morfológica y Físico-Química

Los resultados de la caracterización de cladodios de nopal a través de 35 atributos demuestran que la diferenciación entre cultivares fue posible, habiéndose encontrado grandes diferencias para cada atributo entre todos los cultivares en estudio.

En el Cuadro 3 se muestran los atributos que aportaron mas información en la diferenciación entre cultivares, así como los valores altos y bajos de los cultivares que se vieron influenciados, positiva o negativamente, por dichos atributos. Para ayudar mas a la interpretación de éste cuadro, si se observan los datos de la primera variable (LARGO) es fácilmente apreciable que los valores altos y los valores bajos se presentan en forma descendente y ascendente, respectivamente, de tal manera que en la primera línea, para los valores altos, tenemos que los cladodios del cultivar A. Mont son los cladodios mas largos y se representan por el valor longitudinal promedio de 48.88, y, en la misma línea, pero en la columna de los valores altos, tenemos que los cladodios del cultivar Pab. T son los mas pequeños y se representan con un valor longitudinal de 24.50. De la misma manera están expresados éstos valores en todas las variables que integran el Cuadro 3.

De este modo, si se consideran de manera conjunta los atributos relacionados entre sí, se puede apreciar que los cultivares de mayor magnitud, es decir los de valores altos para los atributos largo, grosor, área, perímetro, K , y los de menor P/A son: Naranja, SangreT, Sandía y Mor. 2 (Fotografías 29, 41, 40, 26, respectivamente), mientras que los cultivares que presentan los cladodios mas pequeños son: Pabellón, Pab. T y Pachona (Fotografías 30, 31, 32, respectivamente).

Los cultivares mas elongados o alargados, es decir, los que tienen valores altos para los atributos largo y L/A y valores bajos para ancho, IC, D_A y D_P son: C. CE1, Fafayuca, A. Mont y Mamey (Fotografías 14, 21, 6, 24, respectivamente).

De acuerdo con los valores altos de los atributos IC, D_A y D_P, los cultivares mas redondeados o circulares son: A. Chica, Bco. vic., Cardón bco. y Mango (Fotografías 5, 8, 25, respectivamente).

Los cultivares con cladodios que presentan un mayor número de areolas en ambas caras son: C. CE2, C. T12, C5, Barrientos y Pachona (Fotografías 15, 16, 13,7, 32, respectivamente), sucediendo lo contrario con los cultivares Mor.2 A. 3389, Cristalina y P. Chulo (fotografías 26, 3, 19, 34, respectivamente) los cuales tienen cladodios con un menor número de areolas.

Las estadísticas descriptivas de las variables evaluadas para cada uno de los cultivares en estudio se muestran en el Cuadro 4.

La matriz de correlaciones (Cuadro A1) de los valores estandarizados de los atributos es difícil de interpretar puesto que son muchas las correlaciones bivariadas significativas. Por lo tanto, a partir de ella se realizó el ACP's para reducir la dimensionalidad del problema (Pla, 1986; Valdez-Cepeda, 1997) y así comprobar las hipótesis y lograr cumplir con los objetivos en que se sustenta el trabajo.

4.2. Análisis Estadísticos

4.2.1. Análisis por componentes principales (ACP's)

Ocho CP's explican mas de la variación asociada a una variable; sin embargo, se consideró conveniente involucrar únicamente a los primeros cuatro dado que explican casi el 68 % de la variación total de las 35 variables en estudio (Cuadro 5).

Cuadro 4. Valores medios y desviaciones estándar de las variables para cada uno de los cultivares en estudio.

	Forma		Largo		Ancho		Espigas		Longesp		Espareo		Coloresp		Gloquideas		Aro C1		Aro C2	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Cultivar	2.00	0.00	29.13	4.77	19.50	1.08	2.00	0.00	2.72	0.81	4.40	0.55	1.00	0.00	4.00	0.00	38.40	7.89	39.20	8.32
Alfajayucan	2.00	0.00	30.75	7.64	16.88	1.25	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.80	4.21	37.80	4.49
A. 2289	2.00	0.00	34.63	2.87	18.25	0.96	2.00	0.00	2.44	0.71	3.20	0.45	1.00	0.00	4.00	0.00	30.60	6.58	29.80	6.06
A. 3389	2.00	0.00	29.25	7.29	22.50	2.42	2.00	0.00	2.38	0.74	3.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	37.80	9.39	41.40	7.23
A. chica	2.00	0.00	44.88	2.22	22.00	2.08	1.80	0.45	2.22	0.83	3.60	1.14	1.00	0.00	4.00	0.00	35.00	6.96	34.20	4.82
A. Mont	2.00	0.00	37.50	2.53	27.50	1.15	1.60	0.55	2.04	0.51	3.40	1.34	1.00	0.00	2.80	1.64	40.40	3.36	40.40	5.08
Amarillo	2.00	0.00	31.88	1.31	19.63	0.95	2.00	0.00	1.92	0.56	4.00	0.00	1.00	0.00	4.00	0.00	51.00	3.39	47.00	2.55
Barrientos	2.00	0.00	28.50	3.72	19.88	2.25	2.00	0.00	1.98	0.65	3.40	0.55	1.00	0.00	4.00	0.00	46.20	9.50	44.80	8.76
Beo vic.	2.00	0.00	31.88	5.60	18.50	1.00	2.00	0.00	1.78	0.43	3.00	0.00	1.00	0.00	4.00	0.00	37.20	3.70	38.80	5.40
Burrota	2.00	0.00	32.25	1.71	22.25	1.50	2.00	0.00	2.54	0.87	5.20	0.45	2.00	0.00	4.00	0.00	35.80	4.38	37.60	2.88
Cardón bo.	2.00	0.00	34.00	2.71	20.75	1.66	1.40	0.55	1.70	0.46	2.20	1.30	1.00	0.00	4.00	0.00	34.20	5.40	34.60	4.34
Con. Oro	2.00	0.00	38.50	3.19	22.75	1.26	2.00	0.00	1.76	0.63	4.60	1.34	1.00	0.00	4.00	0.00	47.00	3.81	49.80	5.72
C. 5	2.00	0.00	33.13	2.02	14.13	0.85	3.40	1.34	0.04	0.09	0.20	0.45	0.40	0.00	3.40	1.34	41.40	10.16	44.80	11.52
C. CE1	2.00	0.00	33.88	2.32	21.38	0.95	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	1.34	53.20	8.04	57.00	3.74
C. CE2	2.00	0.00	34.38	1.97	21.75	0.50	2.00	0.00	2.84	1.33	3.80	0.45	1.00	0.00	3.40	0.00	52.00	9.49	51.60	7.70
C. T12	2.00	0.00	33.75	0.50	20.63	1.80	2.00	0.00	1.98	1.27	4.00	1.00	1.00	0.00	4.00	0.00	33.80	2.07	32.60	3.05
Torrija	2.00	0.00	36.83	4.89	23.75	0.50	2.00	0.00	2.14	1.30	4.00	2.24	0.80	0.00	4.00	0.00	30.60	4.04	32.20	3.35
C. Z1	2.00	0.00	36.75	1.26	22.88	1.31	2.00	0.00	0.96	0.21	3.20	0.45	2.00	0.00	4.00	0.00	40.60	6.58	40.60	4.28
Cristalina	2.00	0.00	31.63	1.38	20.13	1.18	2.00	0.00	2.78	0.69	4.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	40.40	4.51	42.60	3.44
C. bola	2.00	0.00	33.88	1.75	22.38	1.31	2.00	0.00	1.58	0.33	4.60	0.55	1.00	0.00	4.00	0.00	46.20	9.50	44.80	8.76
Chapiada	2.00	0.00	37.13	3.94	15.75	1.32	2.00	0.00	1.98	0.65	3.40	0.55	1.00	0.00	4.00	0.00	46.80	8.79	46.20	5.12
Falfayuca	2.00	0.00	33.13	3.07	18.25	5.84	2.00	0.00	3.10	0.91	4.20	1.10	1.00	0.00	4.00	0.00	33.40	4.98	32.20	5.67
Jarilla	2.00	0.00	26.00	2.04	16.25	1.26	1.00	0.00	0.26	0.09	1.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	46.80	8.79	46.20	5.12
Liso f.	2.00	0.00	36.17	4.16	17.50	0.50	2.00	0.00	2.38	0.64	3.00	0.00	1.00	0.00	4.00	0.00	34.20	0.84	35.60	3.36
Manney	2.00	0.00	33.13	4.01	25.75	2.47	1.00	0.00	1.76	0.45	3.40	0.55	1.00	0.00	3.40	1.34	36.80	5.45	34.80	5.59
Mirango	2.00	0.00	39.63	3.47	27.00	1.47	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	30.00	4.06	29.40	4.10
Mor 2	2.00	0.00	35.50	4.43	23.38	1.25	2.00	0.00	0.00	0.38	3.60	0.89	1.00	0.00	4.00	0.00	42.60	4.83	45.20	6.26
M grande	2.00	0.00	36.00	2.12	18.63	2.14	1.40	0.55	2.60	0.44	2.40	1.14	1.00	0.00	4.00	0.00	40.00	5.70	41.80	4.15
Mor T10	2.00	0.00	43.13	3.75	29.63	3.59	1.80	0.45	1.74	0.43	3.60	0.89	1.00	0.00	4.00	0.00	35.80	5.02	38.40	3.36
Naranjona	2.00	0.00	25.88	1.89	16.63	1.11	2.20	1.64	0.22	0.23	0.60	0.55	0.60	0.00	2.00	0.00	39.40	5.27	39.00	4.90
Pabellón	2.00	0.00	24.50	0.58	15.00	0.71	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	46.60	3.44	51.00	5.10
Peñ T	2.00	0.00	27.38	2.06	16.13	1.31	2.00	0.00	2.18	0.37	5.00	1.00	1.00	0.00	1.80	1.30	42.20	4.82	40.00	5.15
Pachona	2.00	0.00	37.00	1.87	22.88	2.02	1.60	0.55	1.62	0.24	3.40	1.34	1.00	0.00	3.40	1.34	32.20	1.79	30.40	1.82
Paloalta	2.40	0.55	38.25	2.78	20.50	1.00	2.00	0.00	1.82	0.85	3.00	0.00	1.00	0.00	4.00	0.00	44.80	4.32	42.20	4.92
P chulo	2.00	0.00	32.00	4.71	19.38	1.03	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	33.40	3.36	36.00	5.52
R 3589	2.00	0.00	29.25	3.07	17.88	1.03	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	36.20	5.12	37.00	5.57
R Peñón	2.00	0.00	31.00	0.71	16.75	0.96	2.00	0.00	1.78	0.43	3.00	0.00	1.00	0.00	4.00	0.00	35.25	2.50	37.75	3.10
R pir	2.00	0.00	34.13	3.10	21.38	1.32	4.00	0.00	0.00	0.49	5.50	0.58	1.00	0.00	4.00	0.00	38.40	4.67	39.40	5.55
R vigor	1.60	0.00	40.25	3.01	21.25	5.22	2.50	0.58	2.93	0.61	3.20	0.84	1.00	0.00	2.60	1.34	36.00	5.52	35.40	5.59
Rubí reyra	2.00	0.00	39.88	1.55	27.00	1.63	1.20	0.45	2.42	0.57	4.60	0.55	1.00	0.00	3.40	1.34	34.00	3.16	33.80	4.32
Sandia	2.00	0.00	43.38	3.97	28.00	2.16	2.00	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	34.00	3.16	33.80	4.32
SangreT	2.00	0.00	31.63	0.95	19.00	0.91	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	34.00	3.16	33.80	4.32
Solferino	2.00	0.00	31.63	0.95	19.00	0.91	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	34.00	3.16	33.80	4.32

Cuadro 4. (continuación)

	Arecifes		A-C		C-B		L/A		Lacm		Lícm		areacm2		percm1		Per/Ar		Indreomp	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Cultivar	39.40	5.46	16.25	2.06	20.00	0.71	1.49	0.23	11.78	2.91	17.34	1.85	412.21	88.36	98.15	9.93	0.24	0.03	0.79	0.05
Alfajayucan	37.20	4.66	16.13	1.93	20.13	4.09	1.82	0.48	12.06	4.01	18.69	4.34	373.59	109.39	96.81	15.61	0.27	0.04	0.72	0.10
A. 2289	34.00	5.10	18.50	3.63	23.25	1.44	1.90	0.17	14.16	2.33	20.47	1.60	457.33	41.49	107.42	5.47	0.24	0.01	0.70	0.03
A. 3389	35.60	7.16	19.13	2.50	20.00	4.20	1.30	0.11	12.48	2.97	16.77	4.73	483.25	200.35	105.29	18.45	0.22	0.02	0.85	0.07
A. chca	39.20	5.45	23.25	2.36	26.88	1.78	2.04	0.11	18.37	1.46	26.33	1.71	715.99	86.89	135.79	7.52	0.19	0.02	0.67	0.05
A. Mont	45.00	8.63	21.38	3.77	29.50	1.97	1.36	0.19	14.67	0.75	22.83	1.98	753.83	44.56	131.41	7.37	0.18	0.00	0.83	0.02
Amarillo	45.60	9.81	17.25	1.26	20.25	0.87	1.62	0.06	12.64	1.99	19.24	1.33	456.93	43.42	103.68	4.48	0.23	0.01	0.76	0.01
Barrientos	43.20	8.07	15.50	3.39	22.50	4.30	1.43	0.07	12.31	1.91	16.19	1.83	523.67	236.60	106.68	23.78	0.22	0.05	0.89	0.16
Bco.vic.	39.00	5.79	16.00	2.20	24.38	2.93	1.72	0.29	13.73	3.06	18.13	3.55	433.56	90.81	100.98	10.70	0.24	0.03	0.74	0.06
Burrna	41.60	6.11	17.63	0.95	22.63	3.09	1.45	0.16	12.23	1.28	20.00	0.78	538.68	40.47	111.24	4.15	0.21	0.01	0.81	0.07
Cardón beo	37.60	5.22	15.63	0.48	23.13	4.33	1.64	0.12	14.65	0.46	19.32	2.99	526.89	75.11	110.40	7.67	0.21	0.02	0.76	0.03
Con. Oro	49.40	4.56	21.50	2.08	25.50	1.68	1.69	0.15	16.90	1.32	21.60	1.95	644.49	59.73	123.78	7.22	0.19	0.01	0.75	0.03
C. 5	32.60	9.13	15.50	1.00	22.00	0.82	2.35	0.15	12.66	2.09	20.40	3.09	350.83	33.71	96.42	6.62	0.28	0.01	0.64	0.02
C. CE1	40.20	8.41	16.63	0.75	25.13	1.03	1.58	0.17	12.68	2.37	21.19	2.15	525.18	40.09	111.93	3.86	0.21	0.01	0.76	0.04
C. CE2	50.40	3.65	17.38	1.49	22.63	3.09	1.58	0.08	15.69	0.55	18.62	1.77	550.68	41.98	113.55	4.42	0.21	0.01	0.77	0.03
C. T12	40.60	5.29	15.63	0.48	23.13	4.33	1.64	0.14	13.43	0.44	20.32	0.30	508.71	47.46	109.50	3.81	0.22	0.01	0.75	0.04
Tortroja	40.60	23.53	20.13	2.25	24.75	2.90	1.55	0.20	14.76	2.55	22.06	2.36	653.08	81.36	122.15	9.63	0.19	0.01	0.79	0.03
C. Z1	35.00	6.86	17.13	3.33	26.25	2.22	1.61	0.15	13.82	1.74	22.93	1.72	611.54	23.88	121.10	1.90	0.20	0.00	0.76	0.06
Crastalina	36.20	2.77	20.25	2.47	19.63	1.84	1.57	0.03	14.48	2.06	16.86	1.68	472.56	47.92	105.02	5.57	0.22	0.01	0.77	0.04
C. bola	41.20	2.59	20.38	1.31	21.88	3.17	1.51	0.12	13.27	1.28	20.61	1.11	555.31	47.01	113.77	4.43	0.21	0.01	0.79	0.01
Chapiada	43.20	8.07	16.38	2.36	26.00	2.83	2.36	0.16	16.58	3.70	20.53	5.74	471.82	91.58	110.25	9.81	0.24	0.03	0.66	0.04
Fatayuca	31.60	2.88	15.50	2.04	21.50	1.47	1.82	0.37	13.12	0.78	19.95	2.95	479.39	160.48	107.87	17.63	0.23	0.03	0.74	0.10
Jarilla	38.20	4.49	14.25	1.32	16.28	3.34	1.60	0.17	11.85	0.72	14.13	1.62	317.80	32.48	85.22	4.94	0.27	0.01	0.77	0.04
Liso f	33.00	2.24	20.33	1.53	22.67	5.69	2.07	0.26	14.40	2.15	21.66	2.05	487.27	69.50	109.98	7.16	0.23	0.02	0.69	0.08
Mamey	45.20	6.30	19.00	3.74	24.63	1.60	1.29	0.10	13.40	1.91	19.72	2.35	631.18	125.67	118.62	12.02	0.19	0.02	0.85	0.05
Mango	38.80	3.63	22.88	5.01	26.63	1.70	1.47	0.16	14.97	1.82	24.62	1.68	773.26	85.91	134.75	7.65	0.18	0.01	0.70	0.03
Mor 2	38.60	2.79	19.25	2.84	24.13	2.66	1.52	0.18	16.45	2.50	19.02	2.02	600.99	94.49	120.08	10.76	0.20	0.01	0.79	0.03
Mor T10	42.40	7.64	18.00	3.24	24.50	3.70	1.93	0.21	12.51	1.22	23.49	1.80	494.02	73.14	111.76	6.63	0.23	0.02	0.78	0.04
M grande	47.00	5.39	24.25	3.28	30.50	1.29	1.46	0.04	11.49	1.76	14.35	0.75	291.38	34.86	81.97	3.42	0.28	0.02	0.75	0.05
Naranjona	32.60	4.56	14.25	1.04	18.00	1.63	1.56	0.04	10.99	2.40	13.49	2.41	279.76	21.56	80.72	3.85	0.29	0.01	0.77	0.02
Pabellón	36.00	4.18	13.25	0.65	16.13	0.85	1.63	0.07	10.98	2.06	16.21	0.73	339.01	47.06	89.19	5.52	0.27	0.02	0.76	0.03
Pab. T	45.80	4.15	13.65	2.19	18.88	3.71	1.70	0.11	15.42	2.95	27.70	1.58	958.66	204.69	147.12	13.85	0.16	0.02	0.81	0.04
Pachona	41.80	7.50	17.75	1.32	27.25	0.96	1.62	0.07	13.44	1.07	23.46	2.12	627.03	90.86	121.99	8.37	0.20	0.02	0.76	0.03
Paloaiteña	35.40	2.61	21.25	4.03	24.38	4.53	1.87	0.10	14.00	2.41	24.23	4.18	583.94	53.79	121.15	7.40	0.21	0.01	0.71	0.04
P chulo	38.80	4.38	18.75	2.60	20.88	1.75	1.65	0.17	12.13	1.18	19.59	3.95	462.31	88.82	104.39	10.40	0.23	0.02	0.76	0.08
R Peñón	41.40	9.56	16.13	1.75	18.50	2.80	1.64	0.21	12.31	0.94	16.94	3.13	389.84	49.93	95.16	6.05	0.25	0.02	0.76	0.02
R pir	35.00	1.58	16.25	0.29	22.25	1.26	1.85	0.14	11.22	0.94	19.77	0.40	388.74	14.61	95.96	0.98	0.25	0.01	0.72	0.03
R vigor	41.00	2.65	14.13	2.87	24.50	1.94	1.60	0.32	13.15	0.71	20.97	3.03	546.60	72.96	111.31	7.37	0.21	0.01	0.76	0.02
Rubi reyna	40.25	2.87	19.63	2.72	28.25	2.52	1.89	0.11	14.70	1.14	25.42	1.96	615.99	179.53	123.83	16.13	0.20	0.03	0.70	0.04
Sandia	43.00	5.43	23.75	1.76	25.63	3.40	1.48	0.08	16.20	1.62	23.65	2.00	784.80	69.46	135.35	5.24	0.17	0.01	0.79	0.04
SangreT	41.20	9.01	20.13	5.48	30.75	1.19	1.55	0.06	16.49	1.76	26.80	3.01	914.96	140.35	143.53	11.30	0.16	0.01	0.79	0.04
Solferino	33.00	4.69	16.75	1.66	21.88	1.31	1.66	0.12	11.23	0.88	20.37	1.25	442.14	15.52	101.72	2.72	0.23	0.00	0.75	0.03

Cuadro 4. (continuación)

	Ejercicio		DA		CA		DP		CP		Feshúm		Pessec		MSP		H2O		MST	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Cultivar	13.07	1.63	1.64	0.04	2.08	0.04	1.16	0.02	1.70	0.01	374.67	22.28	70.83	7.16	19.00	2.82	81.00	2.82	96.87	0.36
Alajayucan	11.91	1.78	1.63	0.02	2.03	0.05	1.15	0.03	1.66	0.04	303.00	75.94	62.87	14.95	20.80	0.35	79.20	0.35	97.17	0.15
A. 3389	13.36	0.60	1.72	0.13	2.07	0.06	1.17	0.02	1.70	0.04	833.33	325.32	91.43	23.49	11.56	2.70	88.44	2.70	93.08	2.59
A. chica	14.34	2.33	1.78	0.04	2.23	0.05	1.25	0.03	1.77	0.02	750.00	86.60	62.68	8.81	8.37	0.95	91.63	0.95	94.86	0.30
A. Mont	16.56	1.58	1.60	0.02	1.97	0.01	1.17	0.01	1.64	0.00	620.00	144.14	93.82	13.66	15.37	1.61	84.63	1.61	95.08	0.64
Amarillo	17.78	0.16	1.68	0.06	2.14	0.05	1.17	0.02	1.71	0.01	731.67	135.68	113.46	20.77	15.52	0.38	84.48	0.38	94.79	0.71
Barrientos	13.82	0.74	1.67	0.02	2.12	0.02	1.18	0.01	1.72	0.01	716.67	125.83	71.74	14.00	9.99	0.30	90.01	0.30	93.76	0.22
Bco.vic.	14.86	3.36	1.74	0.04	2.27	0.16	1.21	0.02	1.74	0.02	633.33	189.30	48.13	15.22	7.58	0.75	92.42	0.75	88.54	0.54
Burrona	13.37	1.56	1.65	0.01	2.11	0.01	1.18	0.00	1.72	0.00	743.33	292.63	70.67	33.47	9.50	3.55	90.50	3.55	94.21	0.69
Cardón bco	15.20	0.77	1.75	0.07	2.20	0.06	1.23	0.03	1.76	0.02	866.67	378.59	89.85	36.75	10.44	0.55	89.56	0.55	90.24	4.96
Con. Oro	14.94	1.10	1.66	0.02	2.10	0.03	1.16	0.01	1.70	0.01	515.33	381.05	82.54	57.97	16.65	2.05	83.35	2.05	95.48	0.09
C. 5	16.33	0.58	1.64	0.02	2.08	0.02	1.16	0.01	1.70	0.01	203.33	20.82	38.95	6.03	19.24	3.04	80.76	3.04	96.21	0.07
C. CE1	11.42	0.48	1.55	0.02	1.93	0.01	1.15	0.01	1.63	0.00	378.33	36.17	125.69	22.66	33.50	7.47	66.50	7.47	97.19	0.08
C. CE2	14.73	0.63	1.70	0.03	2.15	0.02	1.20	0.01	1.73	0.01	430.67	61.04	85.69	21.12	20.25	6.15	79.75	6.15	95.09	0.78
C. T12	15.22	0.59	1.66	0.02	2.11	0.02	1.19	0.01	1.72	0.02	235.00	65.38	49.94	15.96	21.14	2.63	78.86	2.63	97.06	0.74
Torroja	14.57	0.88	1.66	0.05	2.08	0.08	1.18	0.02	1.70	0.05	383.33	149.53	80.15	32.28	20.99	2.00	79.01	2.00	96.78	0.27
C. Z1	16.75	0.74	1.63	0.02	2.06	0.03	1.17	0.02	1.57	0.27	400.00	185.20	79.41	37.50	19.83	0.67	80.17	0.67	94.59	0.82
Crustalina	15.86	0.81	1.65	0.01	2.10	0.01	1.19	0.03	1.73	0.01	395.00	113.03	66.25	19.90	16.74	1.09	83.26	1.09	94.59	0.73
C. bola	14.11	0.39	1.70	0.02	2.14	0.02	1.20	0.01	1.74	0.01	716.67	175.59	56.11	10.16	7.91	0.55	92.09	0.55	87.25	0.33
Chapiada	15.32	0.70	1.68	0.03	2.13	0.02	1.19	0.02	1.73	0.01	438.33	130.51	84.29	14.38	19.69	2.35	80.31	2.35	95.06	0.43
Fafayuca	13.35	0.81	1.59	0.03	1.98	0.07	1.17	0.01	1.66	0.04	966.67	175.59	107.38	46.72	10.82	2.78	89.18	2.78	94.51	0.84
Jarilla	13.70	1.54	1.63	0.03	2.04	0.07	1.17	0.00	1.68	0.04	583.33	76.38	57.22	7.65	9.81	0.46	90.19	0.46	87.47	0.33
Liso f	11.69	1.09	1.71	0.03	1.89	0.04	1.20	0.01	1.73	0.01	401.67	177.51	71.46	24.15	18.59	3.20	81.41	3.20	96.82	0.26
Mamey	13.87	2.16	1.61	0.02	1.97	0.02	1.17	0.00	1.64	0.00	600.00	100.00	61.18	7.06	10.39	2.03	89.61	2.03	94.67	0.29
Mango	16.58	0.56	1.69	0.03	2.14	0.03	1.17	0.04	1.71	0.03	383.33	127.70	75.01	26.47	19.50	0.47	80.50	0.47	96.69	0.32
Mor 2	13.83	1.19	1.69	0.03	2.13	0.03	1.19	0.02	1.73	0.01	336.67	11.55	59.95	4.42	17.80	0.89	82.20	0.89	96.38	0.30
M. grande	17.99	1.79	1.69	0.04	2.14	0.04	1.20	0.02	1.73	0.01	766.67	115.47	70.71	29.01	9.00	2.25	91.00	2.25	95.17	0.24
Mor. T10	15.66	1.01	1.63	0.02	1.97	0.01	1.17	0.01	1.67	0.03	498.33	27.54	89.92	8.64	18.02	0.82	81.98	0.82	96.52	1.65
Naranjona	20.30	1.00	1.66	0.03	2.09	0.06	1.19	0.02	1.71	0.04	1073.33	47.26	176.99	38.36	16.59	4.19	83.41	4.19	95.69	55.25
Pabellón	11.14	1.15	1.66	0.04	2.09	0.07	1.18	0.01	1.71	0.03	466.67	76.38	101.09	35.23	21.23	4.15	78.77	4.15	88.07	12.17
Pab. T	10.88	1.10	1.67	0.05	2.11	0.05	1.18	0.03	1.72	0.02	406.67	20.82	68.84	1.88	16.95	0.64	83.05	0.64	95.19	0.98
Pachona	11.90	1.26	1.66	0.03	2.08	0.06	1.18	0.01	1.73	0.04	600.00	50.00	45.04	3.38	7.51	0.09	92.49	0.09	93.79	0.38
Paloalteria	16.08	2.46	1.63	0.03	2.07	0.04	1.16	0.01	1.70	0.01	391.67	48.05	79.52	12.82	20.31	2.33	79.69	2.33	97.20	0.21
P. chulo	15.13	0.94	1.63	0.02	2.04	0.05	1.16	0.04	1.69	0.04	678.33	29.30	111.10	13.45	16.35	1.40	83.65	1.40	97.53	0.40
R. 3589	13.82	0.88	1.64	0.01	2.06	0.03	1.16	0.01	1.68	0.02	893.33	184.75	65.17	18.00	7.29	1.14	92.71	1.14	94.85	0.36
R. Pelón	12.83	0.32	1.70	0.08	2.13	0.09	1.20	0.03	1.73	0.04	355.00	56.35	69.13	7.84	19.61	1.57	80.39	1.57	96.84	0.50
R. pur	12.72	0.89	1.65	0.01	2.09	0.03	1.17	0.01	1.70	0.02	475.00	43.30	80.75	3.71	7.29	1.49	92.71	1.49	95.23	1.40
R. vigor	15.15	1.35	1.68	0.05	2.13	0.05	1.20	0.02	1.73	0.01	366.33	64.50	59.30	9.60	16.25	1.71	83.75	1.71	94.55	0.30
Rubí reyona	15.59	0.91	1.64	0.00	2.08	0.01	1.17	0.01	1.71	0.01	523.33	116.76	94.58	31.51	17.79	1.90	82.21	1.90	89.92	10.76
Sandía	18.20	1.34	1.72	0.03	2.16	0.03	1.20	0.02	1.74	0.02	528.33	17.56	100.26	10.37	18.95	1.41	81.05	1.41	93.30	2.87
SangreT	19.93	0.88	1.72	0.04	2.16	0.03	1.21	0.02	1.74	0.01	601.67	417.14	96.58	55.60	18.04	6.09	81.96	6.09	95.26	0.64
Solférino	13.65	0.36	1.69	0.05	2.14	0.06	1.20	0.03	1.73	0.02	390.00	36.06	77.80	1.83	20.04	1.56	79.96	1.56	96.00	0.41

Cuadro 4. (continuación)

Cultivar	Ceu		MO		Proteína		Fibra	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Alfayucan	23.85	0.34	78.61	0.60	3.82	0.44	8.98	0.37
A. 2289	22.36	0.69	79.90	0.71	4.77	0.58	8.49	0.58
A. 3389	29.60	1.72	75.71	3.96	6.22	0.39	8.74	0.58
A. chica	36.25	1.01	67.21	0.96	6.03	0.14	8.82	0.49
A. Mont	29.01	2.44	74.66	2.07	4.74	1.02	10.52	1.45
Amarillo	29.36	2.25	74.51	1.93	5.86	0.64	8.48	0.71
Barruntos	29.27	3.78	75.45	4.20	6.42	0.49	10.17	0.18
Bco vic.	40.28	3.59	67.45	4.02	6.40	0.25	11.09	1.73
Burrona	36.62	3.98	67.29	4.61	7.07	0.57	8.80	0.33
Cardón bco.	31.32	6.19	76.37	9.56	6.98	0.76	13.51	1.27
Con. Oro	30.48	6.38	72.82	6.70	5.10	0.63	7.31	0.15
C. 5	23.15	1.96	79.88	2.01	4.49	0.65	10.16	0.72
C. CE1	27.03	2.34	75.08	2.46	2.97	0.38	11.72	0.25
C. CE2	29.22	5.51	74.48	6.38	5.01	1.15	7.25	1.14
C. T12	24.94	3.70	77.35	4.14	4.28	0.57	10.00	0.77
Torrilloja	26.12	3.77	76.34	3.82	4.50	0.80	10.40	0.75
C. Z1	24.21	1.94	80.14	2.62	4.30	0.58	11.55	0.44
Cristalina	30.00	5.28	74.03	6.02	7.69	0.31	9.05	1.85
C. bole	37.05	2.46	72.15	3.02	5.17	1.28	10.06	0.68
Chapiada	26.74	2.82	77.07	3.16	5.42	0.94	10.59	1.54
Falayuca	31.14	5.95	72.88	6.46	5.48	1.07	9.86	0.91
Jarilla	34.03	3.54	75.43	6.44	6.68	0.73	8.93	0.11
Liso f.	24.00	0.94	78.50	1.11	3.74	0.69	8.77	0.65
Mamey	35.05	6.17	68.62	6.70	5.77	0.99	7.76	0.82
Mango	29.28	5.42	73.15	5.83	4.68	0.49	7.60	1.11
Mor 2	25.18	2.66	77.64	2.93	5.20	0.04	7.90	0.30
M grande	37.84	1.68	65.32	1.60	6.20	0.64	8.65	0.80
Mor. T10	25.72	5.37	77.02	6.60	3.99	0.25	8.59	0.69
Narajona	28.86	16.73	74.36	42.99	6.51	3.87	11.25	6.72
Pabelón	24.77	1.12	86.65	13.39	4.09	2.36	7.16	4.17
Pab. T	31.06	4.99	72.46	5.96	4.50	0.35	9.02	0.43
Pachona	35.36	0.86	68.92	0.63	7.07	0.75	8.49	1.70
Paloa/leña	32.62	0.33	69.32	0.38	4.60	0.99	7.25	1.26
P chulo	36.51	3.61	65.11	3.97	5.54	0.59	7.43	0.49
R 3589	35.86	0.55	67.62	0.40	6.86	0.75	8.44	0.81
R. Peñón	23.04	1.21	79.48	1.40	4.51	0.44	7.87	0.65
R pr.	28.06	1.72	75.54	0.89	3.74	0.05	8.24	0.26
R vigor	22.96	2.04	81.48	2.41	4.65	0.58	7.97	0.49
Rubi reyna	31.04	4.48	77.35	9.41	5.10	2.95	10.16	5.88
Sandía	28.36	2.53	76.81	2.72	6.38	0.64	10.02	0.91
SangreT	24.24	0.58	79.52	0.34	6.85	0.77	10.21	0.99
Solferrito	20.33	1.87	83.00	2.17	3.98	0.31	6.75	0.75

Cuadro 5. Correlaciones de las variables con los primeros cuatro Componentes Principales (CP's). Banco de germoplasma de nopal FAUANL.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4
Forma	0.052332	-0.563996	0.478451	0.047266
Grosor	-0.418790	-0.005172	0.191505	-0.124192
Largo	-0.753719	-0.456932	0.083458	0.122318
Ancho	-0.784706	0.091617	-0.404212	0.097757
Espinas	0.572616	-0.197855	-0.303453	-0.339673
Longesp	-0.668191	0.190021	0.403241	0.272372
Espareo	-0.693151	0.199867	0.328774	0.390217
Coloresp	-0.491763	0.276212	0.344258	0.281970
Gloquid	-0.261188	-0.403463	0.318142	-0.069014
AreoC1	0.056649	0.140944	-0.227325	0.818763
AreoC2	0.117438	0.174891	-0.185986	0.787206
Areores	-0.468021	0.028865	-0.391809	0.668409
A-C	-0.762541	-0.219987	-0.169104	-0.148338
C-B	-0.826501	-0.294655	-0.152857	-0.211158
L/A	0.184563	-0.633791	0.574135	0.002511
Ls	-0.744747	-0.276680	-0.043207	0.048588
Li	-0.749753	-0.493093	-0.111192	-0.296805
Área	-0.888867	-0.102244	-0.358289	-0.179938
Perímetro	-0.898379	-0.202362	-0.267576	-0.185841
P/A	0.884638	0.010813	0.358466	0.133351
IC	-0.210194	0.724232	-0.472623	0.054131
K	-0.102917	0.667027	-0.499102	0.086993
D _A	-0.004224	0.781643	-0.309283	-0.254486
C _A	-0.060308	0.810237	-0.374076	-0.196720
D _P	-0.024105	0.729745	-0.162501	-0.252190
C _P	0.015456	0.748000	-0.173288	-0.298389
Ph	-0.415784	0.324908	0.573027	-0.170378
Ps	-0.349670	-0.322450	-0.075112	-0.235722
Msp	0.209326	-0.605019	-0.627471	0.022535
Agua	-0.209326	0.605019	0.627471	-0.022535
Mst	0.043141	-0.472899	-0.336947	0.060810
Cen	-0.187302	0.483496	0.663886	-0.022116
MO	0.193025	-0.318564	-0.565388	-0.012633
Proteína	-0.499529	0.481366	0.431510	-0.222000
Fibra	-0.391087	0.091053	0.037379	0.345886
<i>Varianza explicada</i>	<i>8.876779</i>	<i>6.918422</i>	<i>4.930000</i>	<i>2.972338</i>
<i>Propn. de la varianza total</i>	<i>0.253622</i>	<i>0.19767</i>	<i>0.140857</i>	<i>0.084924</i>
<i>Varianza acumulada</i>	<i>0.253662</i>	<i>0.451331</i>	<i>0.592188</i>	<i>0.677112</i>

Las correlaciones en negritas son mayores a 0.6 y se consideran importantes

El CP1 está definido principalmente por los atributos de cladodio Largo, Ancho, Longesp, Espareo, A-C, C-B, Ls, Li, Área, Perímetro y P/A. Excepto P/A, las intercorrelaciones bivariadas entre las otras variables son positivas. Esto sugiere una diversidad de cultivares con respecto de las relaciones entre perímetro y área de cladodios, puesto que se aprecian marcadamente las interrelaciones negativas entre P/A y el resto de variables que definen la estructura del CP1, mismo que con un significado biológico (Iezzoni y Pritts, 1991) se puede denominar 'componente de magnitud de cladodio'. Este resultado también indica que se consideró una diversidad importante de cultivares de nopal en términos de su morfología de cladodios. El CP1 explica el 25.4 % de la variación total de 35 atributos y 42 cultivares.

En el CP2, los atributos de cladodio importantes son el aspecto (L/A), y los índices morfológicos IC, k , D_A , C_A , D_P y C_P . L/A se intercorrelaciona negativamente con las otras variables importantes en éste componente, mientras que las interrelaciones bivariadas entre el resto son positivas. Las estructuras de los dos primeros CP's, manifiestan que los perímetros y el aspecto de los cladodios de los diferentes cultivares no se asocia a los círculos y elipses que los circunscriben dependiendo del cultivar, lo cual es explicable porque los bordes de ellos son irregulares. Por consiguiente, a éste CP2 puede asignársele la nomenclatura de 'componente de fractalidad' o 'componente de morfometría'. Éste CP explica el 19.8 % de la variación total de 35 atributos de cladodios de un año de edad en 42 cultivares.

Por su parte, el CP3 es definido estructuralmente por los atributos de cladodio Msp, Agua y Cen. Los dos últimos se intercorrelacionan positivamente entre sí, pero negativamente con Msp. Ello sugiere que los cladodios con mayor capacidad de almacenar mas agua en sus tejidos producen mas ceniza, en cuyo caso tienen menor capacidad de retener agua cuando son deshidratados a 65 °C durante 72 horas en estufa de secado. Es decir, los cultivares cuyos cladodios retienen mas agua en esas condiciones tienen menor capacidad de almacenamiento de agua y de producción de cenizas. Así entonces, este componente se puede etiquetar como el 'componente de características físicas' y explica el 14.1 % de la variación de 35 atributos en 42 cultivares.

En el CP4 sobresalen los atributos AreoC1, AreoC2 y Arecres con intercorrelaciones bivariadas positivas. Este CP puede denominarse 'componente de areolas'. Éste CP explica el 8.5 % de la variación de 35 atributos en 42 cultivares.

En general, los resultados son consistentes en lo concerniente a la utilidad de la técnica de análisis de componentes principales y a la posible nomenclatura asignada a ellos, pues se aprecian coincidencias con respecto de los trabajos previos sobre el género *Opuntia* (Valdez-Cepeda *et al.*, 1995, 1996, 1997bcd, 1999; Gutiérrez-Acosta *et al.*, 2000ab; Fernández *et al.*, 1999ab; y Sabás-Soto, 2001), a pesar de que en ellos se involucraron atributos de fruto. En la mayoría de dichas experiencias se ha manejado al CP1 en términos de magnitud del órgano en estudio. Fernández *et al.* (1999b) encontraron también un CP definido por la presencia de espinas en frutos, lo cual coincide con el CP4 en el presente estudio en términos de areolas en cladodios maduros.

4.2.2. Análisis por conglomerados (AC)

El agrupamiento o definición de clases de cultivares, en función de los 35 atributos de cladodio, se realizó considerando los cuatro primeros CP's. El análisis de varianza al cual los cuatro CP' presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0.01$) involucra al menos cuatro grupos de cultivares (Cuadro 6). En el Cuadro 7 se presentan los cultivares integrantes de cada uno de las cuatro clases definidas por el método de Ward como técnica de amalgamiento y la distancia euclidiana como índice de similitud. En dicho cuadro se aprecian también las distancias euclidianas de cada cultivar con respecto al centro de su grupo.

El primer grupo lo conforman 12 cultivares, el segundo lo integran 12 cultivares, el tercero es conformado por 11 cultivares, y el cuarto es integrado por 7 cultivares (Cuadro 7). El cuarto grupo es el más compacto y es integrado por los cultivares A. chica, Barrientos, Bco. vic., Cardón bco., C. Bola, M. grande y Pachona con una distancia promedio de 0.54 con respecto de su centro. El tercer grupo presenta una distancia euclidiana promedio de 0.59 con respecto a su centro y esta integrado por los

Cuadro 6. Análisis de varianza para los primeros cuatro Componentes Principales (CP's) entre y dentro de los cuatro grupos de cultivares. Banco de germoplasma de nopal FAUANL.

	SC entre grupos		SC dentro de grupos		F	P
	GI	gl	gl	F		
CP1	14.45260	3	26.54740	38	6.89583	0.000806
CP2	22.40718	3	18.59282	38	15.26526	0.000001
CP3	31.40895	3	9.59105	38	41.48104	0.000000
CP4	12.56451	3	28.43549	38	5.59689	0.002797

Cuadro 7. Cultivares miembros de cada grupo y las distancias desde el centro de su respectivo grupo. Banco de germoplasma de nopal FAUANL.

Grupo 1												
12 Cultivares	Amarillo	Torrija	Cristalina	Chapiada	Mango	Mor. 2	Naranjona	Paloaltea	R. vigor	Sandía	SangreT.	Solferino
Distancia	0.45699	0.41894	0.578382	0.548716	0.5136	0.9207	0.944817	0.628675	0.71164	0.491	0.726538	1.115166
Grupo 2												
12 Cultivares	Alfajayucan	A. 2289	C. 5	C. CE1	C. CE2	C. TI2	C. Z1	Liso f.	Pabellón	Pab. T	R. 3589	R. pelón
Distancia	0.304077	0.804381	1.077449	0.951912	0.499706	1.057797	1.262729	0.671933	0.795709	0.829934	0.689204	0.662078
Grupo 3												
11 Cultivares	A. 3389	A. Montesa	Burtona	Con. Oro	Fafayuca	Jarilla	Mamey	Mor. T10	P. chulo	R. pir.	Rubi reina	
Distancia	0.552827	0.879599	0.507716	0.592131	0.556905	0.622568	0.443342	0.675799	0.448089	0.653398	0.536903	
Grupo 4												
7 Cultivares	A. chica	Barrientos	Bco. vic.	Cardón bco.	C. bola	M grande	Pachona					
Distancia	0.825746	0.676980	0.410824	0.424610	0.150025	0.481066	0.836042					

cultivares A. 3389, A. montesa, Burrona, Con. Oro, Fafayuca, Jarilla, Mamey, Mor. T10, P. Chulo, R. Pir. y Rubí reyna. El primer grupo es integrado por Amarillo, Torrija, Cristalina, Chapiada, Mango, Mor.2, Naranjona, Paloalteña, R. vigor, Sandía, SangreT y Solferino con una distancia euclidiana promedio = 0.67. El segundo grupo es el menos compacto con una distancia euclidiana = 0.8 y es integrado por Alfajayucan, A. 2289, C. 5, C. CE1, C. T12, C. Z1, Liso f, Pabellón, Pab. T., R. 3589, R. Pelón; en este grupo resalta la particular asociación de los cultivares Copena y otras sin espinas.

Por otra parte, en el Cuadro 8 se aprecian los estimadores estadísticos descriptivos básicos de los cuatro primeros CP's para cada uno de los cuatro grupos de cultivares. Al considerar las medias y las desviaciones estándar, el grupo 1 es definido primordialmente por el CP3, mientras que los Grupos 2, 3 y 4 por los CP's 1, 2 y 2, respectivamente, al considerar las medias. Sin embargo, son notorios los valores grandes de la desviación estándar en todos los casos, lo cual sugiere que los cultivares dentro de los diferentes grupos se distribuyen en espacios imbricados en el espacio definido por los diversos CP's y la definición de los grupos puede ser mayormente definida por la nomenclatura asociada a uno o varios CP's.

Cuadro 8. Estadísticos descriptivos de los grupos de cultivares para los primeros cuatro Componentes Principales (CP's). Banco de germoplasma de nopal FAUANL.

	Grupo 1 12 Cultivares		Grupo 2 12 Cultivares		Grupo 3 11 Cultivares		Grupo 4 7 Cultivares	
	Media	Desv. Estd.	Media	Desv. Estd.	Media	Desv. Estd.	Media	Desv. Estd.
CP1	-0.606154	1.063715	0.879863	0.973000	-0.256330	0.474461	-0.066412	0.489193
CP2	0.031614	0.311568	-0.434924	0.862427	-0.546905	0.796201	1.550812	0.707585
CP3	-0.856413	0.506664	-0.577850	0.476091	0.231478	0.581717	0.523556	0.385147
CP4	-0.636395	0.821075	0.654116	1.076056	-0.313101	0.620022	0.461636	0.860092

En el Cuadro 9 se aprecia que las variables más discriminantes entre y dentro de grupos de cultivares son Largo, Ancho, Longesp, Espareo, A-C, C-B, Ls, Li, Área, Perímetro, P/A, Ph, Ps, Msp, Agua, Cen, MO y Proteína. Desafortunadamente, una prueba de medias para cada una de ellas difícilmente permitiría definir grupos de cultivares. Así entonces, resulta más práctico con ese fin, la apreciación de los grupos

Cuadro 9. Análisis de varianza para las variables entre y dentro de los cuatro grupos de cultivares. Banco de germoplasma de nopal FAUANL.

Variable	SC entre Grupos	gl	SC dentro de Grupos	gl	F	p
Forma	5.99	3	34.98	38	2.17	0.1074
Grosor	0.62	3	3.31	38	2.36	0.0869
Largo	372.16	3	693.05	38	6.80	0.0009
Ancho	217.89	3	211.94	38	13.02	0.0000
Espinas	7.20	3	26.85	38	3.40	0.0275
Longesp	16.41	3	29.67	38	7.00	0.0007
Espareo	38.69	3	86.08	38	5.69	0.0025
Coloresp	1.80	3	8.86	38	2.57	0.0683
Gloquid	2.41	3	44.88	38	0.68	0.5702
AreoC1	24.75	3	1461.32	38	0.21	0.8857
AreoC2	41.77	3	1609.34	38	0.33	0.8046
Areores	230.68	3	752.84	38	3.88	0.0163
A-C	161.91	3	168.03	38	12.21	0.0000
C-B	322.20	3	171.00	38	23.87	0.0000
L/A	0.21	3	2.08	38	1.29	0.2909
Ls	74.52	3	58.68	38	16.08	0.0000
Li	237.38	3	221.94	38	13.55	0.0000
Area	771762.60	3	198005.70	38	49.37	0.0000
Perímetro	7525.53	3	2307.63	38	41.31	0.0000
P/A	0.03	3	0.01	38	41.85	0.0000
IC	0.01	3	0.10	38	0.83	0.4831
K	0.00	3	0.01	38	0.71	0.5535
D _A	0.00	3	0.06	38	0.88	0.4606
C _A	0.01	3	0.11	38	0.74	0.5349
D _P	0.00	3	0.01	38	1.28	0.2951
C _P	0.00	3	0.05	38	0.45	0.7175
Ph	1181595.00	3	511322.50	38	29.27	0.0000
Ps	7869.70	3	17148.50	38	5.81	0.0023
Msp	715.99	3	469.19	38	19.33	0.0000
Agua	715.99	3	469.19	38	19.33	0.0000
Mst	57.90	3	247.08	38	2.97	0.0439
Cen	555.28	3	462.76	38	15.20	0.0000
MO	368.28	3	608.92	38	7.66	0.0004
Proteína	26.28	3	27.22	38	12.23	0.0000
Fibra	9.48	3	78.66	38	1.53	0.2231

definidos por el análisis de conglomerados, al distribuir sus integrantes en espacios n-dimensionales definidos por los CP's importantes, como se presenta posteriormente.

En el Cuadro 10 se presentan los estimadores descriptivos de los atributos de cladodio por clase o grupo. Es apreciable que las medias de los atributos que definen la estructura del CP1 (Largo, Ancho, Longesp, Espareo, A-C, C-B, Ls, Li, Área, Perímetro y P/A) son mayores para el Grupo 4 de cultivares. Por lo tanto, los cultivares con mayor magnitud de cladodio son A. chica, Barrientos, Bco. vic., Cardón bco., C. Bola, M. grande y Pachona, el grupo mas compacto.

En promedio, los cultivares del Grupo 3 (A. 3389, A. montesa, Burrona, Con. Oro, Fafayuca, Jarilla, Mamey, Mor. T10, P. Chulo, R. Pir. y Rubí reyna) son de los mas elongados, pero resulta difícil asociarlos a un CP en particular. Asimismo, esos cultivares perdieron menos agua que los de los otros grupos, en términos de porcentaje de masa al someter a los cladodios a deshidratación en estufa durante 72 horas a 65 °C, lo cual se corrobora con un valor de 80.7 % de Agua y 77.7 % de MO en el Cuadro 9. La mayoría de estos cultivares son aprovechadas comercialmente para la producción de tuna en regiones semiáridas y áridas, lo cual explica el presente resultado.

Los cladodios de los cultivares del grupo 1 (Amarillo, Torrija, Cristalina, Chapiada, Mango, Mor. 2, Naranjona, Paloalteña, R. vigor, Sandía, Sangre T. y Solferino) fueron los que en promedio pesaron mas (750 g), perdieron mas agua (90.1 % en base a peso) y por lo tanto presentaron bajos porcentajes de materia seca (9.9%) cuando fueron sometidos a deshidratación durante 72 horas a 65 °C, y se componen de mayores porcentajes de Cenizas y Proteína (Cuadro 10). Es posible entonces indicar que son los cultivares asociados mas al CP3.

El mayor número de areolas en ambas caras de los cladodios (AreoC1 = 40 y AreoC2 = 40.8) (Cuadro 9) se aprecia, en general, en los cultivares del grupo 3 (A. 3389, A. montesa, Burrona, Con. Oro, Fafayuca, Jarilla, Mamey, Mor. T10, P. Chulo, R. Pir. y Rubí reyna), y por ello se asocian mas al CP4.

Cuadro 10. Estadísticos descriptivos de los atributos de cladodio para los cuatro grupos o clases de cultivares. Banco de germoplasma de nopal FAUANL.

Variables	Grupo 1 13 Cultivares		Grupo 2 13 Cultivares		Grupo 3 11 Cultivares		Grupo 4 7 Cultivares	
	Media	Desv. Estd.	Media	Desv. Estd.	Media	Desv. Estd.	Media	Desv. Estd.
Forma	2.3077	0.9473	1.4615	0.87706	2.2727	1.00905	1.8000	1.0954
Grosor	1.3785	0.2284	1.3312	0.24400	1.3309	0.39743	1.7160	0.3125
Largo	31.6108	4.2964	33.5712	4.74139	28.6818	4.14893	38.6400	2.7218
Ancho	18.1154	2.0391	20.1712	3.02761	16.2909	1.64284	23.6760	2.5030
Espinas	2.0000	0.0000	2.3462	1.00881	2.9091	1.19453	1.6800	0.3033
Longesp	2.2600	0.4183	1.5612	1.05461	0.7291	1.14809	2.3040	0.5104
Espareo	3.5385	0.6602	3.0538	1.93590	1.2364	1.86294	3.6800	0.5404
Coloresp	1.0769	0.2774	0.8462	0.55470	0.5455	0.65171	1.0000	0.0000
Gloquid	3.5385	1.1266	3.4000	1.09545	2.9273	1.16369	3.3600	0.6542
AreoC1	38.5538	6.3120	39.9808	7.94401	40.0364	4.42431	38.2400	2.7474
AreoC2	38.7846	5.8083	40.1808	8.69462	40.7818	5.12520	37.9600	2.9441
Arecres	37.8462	4.4024	42.4308	5.00244	37.9455	4.26998	43.0800	3.0679
A-C	17.9391	1.9792	18.2885	2.55175	15.7182	1.75514	22.5500	1.7379
C-B	22.5801	1.8948	24.8942	1.88942	19.7409	2.53407	28.6500	2.2834
L/A	1.7287	0.2897	1.5897	0.13636	1.7303	0.23677	1.5770	0.2670
Ls	13.6773	1.5933	14.2200	1.19274	11.8172	0.58375	16.2322	1.3913
Li	19.4474	2.1824	21.6041	2.03986	17.7265	3.11601	25.4622	2.1071
Area	490.6266	58.4832	597.6871	72.68404	377.5363	70.03424	825.6464	105.4973
Perímetro	108.1245	6.8875	118.2053	7.30207	94.6830	9.65095	138.6398	6.4640
P/A	0.2251	0.0136	0.2006	0.01188	0.2570	0.02240	0.1714	0.0140
IC	0.7567	0.0683	0.7693	0.03528	0.7407	0.04327	0.7778	0.0606
K	0.7254	0.0170	0.7321	0.01020	0.7254	0.01695	0.7332	0.0201
D _A	1.6863	0.0483	1.6662	0.03105	1.6635	0.03197	1.6814	0.0528
C _A	2.1155	0.0667	2.1087	0.02917	2.0838	0.04338	2.1025	0.0846
D _P	1.1925	0.0239	1.1795	0.01797	1.1796	0.01642	1.1884	0.0193
C _P	1.7177	0.0325	1.7043	0.04094	1.7028	0.02680	1.7081	0.0416
Ph	749.8718	115.3306	384.7949	91.11099	422.6667	81.71889	711.0000	215.2408
Ps	74.1049	19.8201	71.9685	15.98343	78.4949	21.27399	116.2240	34.7958
Msp	9.9241	2.3312	18.9368	1.69028	19.3024	5.99863	16.8925	1.5700
Agua	90.0759	2.3312	81.0632	1.69028	80.6976	5.99863	83.1075	1.5700
Mst	92.7795	3.2886	95.3527	1.90180	95.4265	2.65582	94.8260	.9171
Cen	34.6778	3.3846	27.3808	3.22168	25.9616	4.27645	27.9665	2.1130
MO	70.5072	4.2511	76.2330	3.39233	77.7411	4.83909	75.9737	2.2245
Proteína	6.2168	0.6014	5.0017	0.88300	4.2887	1.04017	6.0697	.8229
Fibra	9.4055	1.5900	9.0150	1.52589	8.5536	1.27444	10.0973	1.0174

En las Figuras 7 y 8 se aprecia la distribución de los cultivares y los grupos que conforman el espacio ortogonal definido por tres de los CP's importantes. Los nombres de los cultivares subrayados identifican al grupo o clase 1; con letra normal están los

nombres de los cultivares del grupo 2; con letra cursiva se aprecian los nombres de los cultivares de la clase o grupo 3; y en negritas se encuentran los nombres de los cultivares del grupo 4. En ambas figuras es notable la distribución de los cultivares en grupos, lo cual confirma las ventajas de conjuntar las ventajas de las dos herramientas de análisis multivariado: análisis de componentes principales y análisis de conglomerados con la finalidad de ordenar y clasificar cuantitativamente el material genético de nopal establecido en colecciones *ex situ*.

Asimismo, en las Figuras 7 y 8 puede apreciarse, por ejemplo, que la clase de cultivares (cuyos nombres aparecen subrayados) con cladodios de mayor magnitud y menor proporción entre perímetro y área (ver figuras A1 – A4) se ubican en el extremo izquierdo del vector asociado al CP1; mientras que en el extremo derecho de ese vector se ubican los cultivares cuyos cladodios presentan espinas de menor longitud o son sin espinas, como es el caso de L. forrajero, Pabellón, Pabellón T, C. CE1, entre otros. En lo concerniente al CP2 se aprecia también, en ambas Figuras, que en el extremo derecho de su vector se ubican los cultivares cuyos cladodios son más elongados (mayores valores de L/A); por ejemplo, C. CE1, A. montesa, A. 2289, M. T10, Rubí reyna, Mamey, Fafayuca y P. Chulo, entre otras, materiales de los grupos o clases 2 y 3 (ver figuras A5 – A7). Por otra parte, los cultivares del grupo 3 (nombres en letras cursivas en la Figura 7: R. Pir, Mamey, Jarilla, Fafayuca, Burróna, A. 3389, P. Chulo, A. montesa, Mor. T10, Rubí reyna y Con. oro) se asocian claramente al CP3 porque sus cladodios perdieron menos agua al ser deshidratados parcialmente, lo cual sugiere su mejor adaptación a ambientes secos, y son precisamente variantes que se cultivan para la producción de tuna en la Región Centro Norte de México (ver figura A8). En la Figura 8 es fácilmente apreciable que los cultivares de los grupos 2 y 4 (en letras negritas y normales) tienen cladodios con mayor número de areolas en ambas caras y en sus crestas, mientras que cultivares de las clases 1 y 3 presentan menos areolas (e. g. Mor. 2, Solferino, Amarillo 3389, Cristalina, P. Chulo, Sangre T., Jarilla, etc.) lo cual explica que se aprovechen extensivamente para la producción de tuna (ver figura A9).

5. CONCLUSIONES

- i). Las hipótesis planteadas se comprobaron satisfactoriamente, y los objetivos se cumplieron. Los 42 cultivares de nopal tienen atributos morfológicos y fisico-químicos que los describen en forma particular y permitieron la diferenciación entre ellos.
- ii). La ordenación y clasificación numérica de los 42 cultivares de nopal fue factible al considerar su similitud en base a 35 atributos mediante las técnicas de ordenación y clasificación numérica: análisis de componentes principales y de conglomerados, respectivamente. Cuatro clases de cultivares fueron definidos.
- iii). El primer grupo o clase está integrado por los cultivares Amarillo, Copena Torrija, Cristalina, Chapiada, Mango, Morada 2, Naranjona, Palo Alteña, Rojo Vigor, Sandía, Sangre de Toro y Solferino. En ésta clase resalta la inclusión de los cultivares con los cladodios mas grandes (Naranjona, Sangre de Toro, Sandía y Amarillo).
- iv). El segundo grupo es el menos compacto, es decir, el que presenta mas riqueza genética en términos de variabilidad de los 35 atributos morfológicos y fisico-químicos considerados, y es integrado por Alfajayucan, Amarillo 2289, Copena 5, Copena CE1, Copena T12, Copena Z1, Liso Forrajero, Pabellón, Pabellón T., Rojo 3589, Rojo Pelón. En este grupo resalta la asociación de los cultivares Copena y otros sin espinas, de manera que en él predominan los cultivares con cladodios sin espinas.

- v). El tercer grupo es integrado por los cultivares Amarilla 3389, Amarilla Montesa, Burrón, Concha del Oro, Fafayuca, Jarilla Grande, Mamey, Morada T10, Pico Chulo, Rojo Pirámide y Rubí Reyna. Estos cultivares son los que producen los cladodios más elongados.
- vi). El cuarto grupo es el menos heterogéneo (el que presenta menor riqueza genética) y es integrado por los cultivares Amarilla Chica, Barrientos, Blanco la Victoria, Cardón Blanco, Cristalina Bola, Morada Grande y Pachona. Estos cultivares se caracterizan por tener cladodios menos elongados y más compactos en términos morfológicos.

6. SUGERENCIA

En trabajos de investigación de esta naturaleza deberían integrarse también atributos de fruto y de nopalito para formular una clasificación de propósito general, misma que serviría de base con mayor fundamento, y así brindar la oportunidad a los posibles usuarios del acervo genético de trabajar con materiales acordes a su objetivo de uso.

7. LITERATURA CITADA

- AOAC. 1991. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 11th edition. U.S.A.
- Arkley, R. J. 1976. Statistical methods in soil classification research. *Adv. Agron.* 28: 37-70.
- Arora, R. K. 1981. Plant genetic resources explorations and collection, planning and logistics. *In: Mehra, K. L., R. K. Arora and S. R. Wadhi (eds). Plant exploration and collection. National Bureau of Plant Genetic Resources Science Monograph 3. NBPGR, New Delhi. pp. 46-54.*
- Astley, D. 1991. Exploration: methods and problems of exploration and field collecting. *Biological Journal of the Linnean Society.* 43: 11-22.
- Bajaj, M. and J. T. Williams. 1995. Healing forests – Healing people. IDRC. New Delhi. 62 p.
- Bennet, E. 1970. Tactics of plant exploration. *In: Frankel, O. H. and E. Bennet (eds). Genetic resources in plants – Their exploration and conservation. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp 157-179.*
- Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F. Vol. 1. 743 p.

- Broschat, T. K. 1979. Principal component analysis in horticultural research. *Hortscience* 14(2): 114-117.
- Bull, J. K., K. E. Basford, I. H. DeLacy and M. Cooper. 1993. Determining appropriate group number and composition for data sets containing repeated check cultivars. *Field Crops Res.* 31: 369-383.
- Bull, J. K., K. E. Basford, M. Cooper and I. H. DeLacy. 1994. Enhanced interpretation of pattern analyses of environments: The use of blocks. *Field Crops Res.* 37: 25-32.
- Bull, J. K., M. Cooper, I. H. DeLacy, K. E. Basford and D. R. Woodruff. 1992. Utility of repeated checks for hierarchical classification of data from plant breeding trials. *Field Crops Res.* 30: 79-95.
- Bunde, A. and S. Havlin. 1994. *Fractals in science*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, Germany. 298 p.
- Bye, R. A. 1985. El papel de las colecciones para el estudio de los recursos genéticos. *In: Memorias del seminario sobre la investigación genética básica en el conocimiento y evaluación de los recursos genéticos*. UNAM. México. pp 8-27.
- Chang, T. T. 1985. Collection of crop germplasm. *Iowa State Journal of Research.* 54: 349-364.
- Chang, T. T., S. D. Sharma, C. Roy Adair and A. T. Perez. 1972. *Manual for field collector of rice*. IRRI, Los Baños.
- Chessa I, and G. Nieddu. 1997. Descriptors for cactus pear (*Opuntia* spp.). Instituto Coltivazioni Arboree. Università degli Studi di Sassari. CACTUSNET, FAO

- International Cooperation Network on Cactus Pear. Università degli Studi di Reggio Calabria. Roma. 39 p.
- Clark, R. L., H. L. Shands, P. K. Bretting and S. A. Eberhart. Germplasm regeneration: developments in population genetic and their implications. Managing large diverse germplasm collections. *Crop Science*. 37(1): 1-6.
- Dale, M. B., A. B. McBratney and J. S. Russell. 1989. On the role of expert systems and numerical taxonomy in soil classification. *Journal of Soil Sciences*. 40:223-234.
- Damania, A. B. and J. P. Srivastava. 1990. Genetic resources for optimal input technology – ICARDA's perspectives. *In*: N. El-Bassam, M. Dambroth and B. C. Loughman, (eds.). Genetic aspects of plant mineral nutrition. Kluwer, Dordrecht, Netherlands. 558 p.
- Damania, A. B. 1996. Biodiversity conservation: a review of options complementary to standard *ex situ* methods. *Plant Genetic Resources Newsletter*. 107:1-18.
- Engels, J. M. M., R. K. Arora y L. Guarino. 1995. An Introduction to plant germoplasm exploration and collecting: planning, methods and procedures, follow up. *In*: Guarino L., V. Ramantha R. y R. Reid. (Eds.). Collecting plant genetic diversity. Technical guidelines. Cab International. Cambridge University Press, UK. 748 p.
- Fernández, P. G. 1994. Indigenous seeds practices for sostenible agriculture. *Indigenous Knowledge & Development Monitor*. 2(2): 9-12.
- Fernández, M.R., J. Luna, F. Gutiérrez, L.A. Sáenz, S.J. Méndez, C. Mondragón y J. Zegbe. 1999a. Evaluación de germoplasma de nopal tunero en el centro de México. *In*: Aguirre R. J. R. y J. A. Reyes A. (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI

Internacional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P., México. pp. 2-3.

Fernández, M.R., J. Luna, F. Gutiérrez, L.A. Sáenz, S.J. Méndez, C. Mondragón y J. Zegbe. 1999b. Estudio de cultivares de nopal tunero por componentes principales. *In: Aguirre R. J. R. y J. A. Reyes A. (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P., México. pp. 4-5.*

Flores V., C. A., P. P. Ramírez M., J. M. de Luna E. P. Ponce J. 1997. Diagnóstico y programa de desarrollo del sistema producto tuna. SAGAR, Universidad Autónoma de Chapingo, CIESTAAM. 150 p.

Frankel, D. H. and E. Bennett. 1970. Genetics resources in plants. International Biological Programme. Grait Britain. 554 p.

Green, D. M. 1991. Chaos, fractals and nonlinear dynamics in evolution and phylogeny. *Trends in Ecology and Evolution. 6(10): 333-337.*

Guarino, L. 1995. Assesing the threat of genetic erosion. *In: Guarino L., V. Ramantha R. y R. Reid. (Eds.). Collecting plant genetic diversity. Technical guidelines. Cab International. Cambridge University Press, UK. 748 p.*

Guarino, L., V. R. Rao y R. Reid. 1995. Collecting plant genetic diversity. Technical Guidelines. Cab International. Cambridge University Press, UK. 748 p.

Gutiérrez-Acosta, F., R.D. Valdez-Cepeda, and F. Blanco-Macias. 2000a. Multivariate analysis of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits from a germplasm collection. FAO-INRAT. Hammamet, Tunis. p. 19.

- Gutiérrez-Acosta, F., R.D. Valdez-Cepeda, and F. Blanco-Macias. 2000b. Multivariate analysis of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits from a germplasm collection. Submitted to *Acta Horticulturae*.
- Harlan, J. R. 1975. Practical problems in exploration. Seed crops. *In*: Frankel O. H. and J. G. Hawkes. (eds). *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*. Cambridge University Press, Cambridge. pp 111-115.
- Hawkes, J. G. 1980. *Crop genetic resource field collection manual*. IBPGR. And EUCARPIA. Rome.
- IDRISI v. 2.0. 1997. Clark University Graduate School of Geography. 950 Main St. Worcester, MA 01610-1477 USA. : <http://www.idrisi.clarku.edu>.
- Iezzoni, A. F. and M. V. Pritts. 1991. Applications of principal component analysis to horticultural research. *HortScience*. 26(4): 334-338.
- INIFAP. 1994. Reunión general para la definición de demandas y necesidades de investigación agrícola en el noroeste de México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos CIRNE. INIFAP.
- James, F. C. and Ch. E. McCulloch. 1990. Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's box? *Annual Rev. Ecol. Syst.* 21: 129-166.
- León, J. 1978. Información sobre bancos de germoplasma existentes en el mundo. *In*: 'P. Cervantes S. (Eds.), *Recursos genéticos disponibles a México*. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, Méx. Pp. 69-72.
- Mienie, C. M. S., M. A. Smit and P. J. Pretorius. 1995. Use of random amplified polymorphic DNA for identification of South Africa soybean cultivars. *Field Crops Res.* 43: 43-49.

- Parent, L. E., D. Isfan, N. Tremblay and A. Karam. 1994. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3): 420-426.
- Pengelly, B. C. and D. A. Eagles. 1995. Geographical distribution and diversity in a collection of the tropical legume *Macroptilium gracile* (Poeppiga ex Bentham) urban. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 569-580.
- Pla, L. 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. Sría. Gral. OEA. Washington, D. C., USA. Serie Matemática. Monografía No. 27. 94 p.
- Rumayor, R. A. 1993. Análisis multivariado de componentes en la investigación agropecuaria. *Investigación Científica.* 1 (4): 43-51.
- Sabás-Soto, C. I. 2001. Caracterización morfológica de 40 cultivares y morfoespecies de nopal tunero (*Opuntia* spp.) del banco de germoplasma del CRUCeN-UACH. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Agroecología. Chapingo., México. 91 p.
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman & Co. San Francisco, USA. 537 p.
- StatSoft, Inc. 1998. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, email: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>.
- Turcotte, D.L. 1992. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 221 p.

- 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., C. Gallegos-Vázquez y F. Blanco-Macías. 1995. Agrupamiento jerárquico de veintinueve genotipos de *Opuntia* spp. mediante características del fruto (tuna). *In*: Pimienta B., E., C. Neri, A. Muñoz y F. M. Huerta (Comps.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal: Memorias del Sexto. Congreso Nacional y 4to. Congreso Internacional. Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., México. pp. 15-18.
- Valdez-Cepeda, R. D., C. Gallegos-Vázquez y F. Blanco-Macías. 1996. Clasificación numérica de *Opuntia* spp. mediante características de su fruto (tuna). *Rev. Geografía Agrícola*. 22-23: 287-293.
- Valdez-Cepeda, R.D., C. Gallegos-Vázquez y F. Blanco-Macías. 1997a. Clasificación numérica de *Opuntia* spp.: Una propuesta. *In*: Vázquez-Alvarado, R., C. Gallegos-Vázquez, N. E. Treviño-Hernández y Y. Díaz Torres (Comps.) Memorias del VII Congreso Nacional, V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Monterrey, N. L., Mex. pp. 113-115.
- Valdez-Cepeda, R.D., C. Gallegos-Vázquez y F. Blanco-Macías. 1997b. Análisis multivariado en once variedades de nopal tunero: Atributos de fruto. *In*: Vázquez-Alvarado, R., C. Gallegos-Vázquez, N. E. Treviño-Hernández y Y. Díaz-Torres (Comps.) Memorias del VII Congreso Nacional, V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Monterrey, N. L., Mex. pp. 118-119.
- Valdez-Cepeda, R.D., C. Gallegos-Vázquez y F. Blanco-Macías. 1997c. Análisis multivariado en once variedades de nopal tunero: Atributos de crecimiento. *In*: Vázquez-Alvarado, R., C. Gallegos-Vázquez, N. E. Treviño-Hernández y Y.

Díaz Torres (Comps.) Memorias del VII Congreso Nacional, V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Monterrey, N. L., Mex. pp. 120-121.

Valdez-Cepeda, R.D., C. Gallegos-Vázquez y F. Blanco-Macías. 1997d. Clasificación numérica y ordenación en *Opuntia* spp. In: Memoria del 1er Congreso Nacional de la SOMAIRZA, A. C. URUZA-UACH. Bermejillo, Dgo., México. pp. 11-16.

Valdez-Cepeda, R.D. y E. Olivares-Sáenz. 1998. Geometría fractal en la ciencia del suelo. Terra. 16 (3): 277-288.

Valdez, C. R. D. y F. Blanco M. 1999. Morfología de cladodios: Análisis fractal y de componentes principales. In: Aguirre R. J. R. y J. A. Reyes A. (Comp.). Conocimiento y Aprovechamiento del nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P., México. pp. 10-11.

Valdez-Cepeda, R.D. and F. Blanco-Macias. 2000a. Fractal geometry of daughter cladodes of *Opuntia ficus-indica* (cactaceae). FAO-INRAT. Hammamet, Tunis. p. 31.

Valdez-Cepeda, R.D. and F. Blanco-Macias. 2000b. Fractal geometry of daughter cladodes of *Opuntia ficus-indica* (cactaceae). Submitted to *Acta Horticulturae*.

Vázquez-Alvarado, R. E., G. E. Salinas-García., C. Gallegos-Vázquez y C. Flores-Valdés. 1997. Banco de germoplasma de nopal para las condiciones ambientales del estado de Nuevo León. In: Vázquez-Alvarado, R., C. Gallegos-Vázquez, N. E. Treviño-Hernández y Y. Díaz-Torres (Comps.) Memorias del VII Congreso Nacional, V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Monterrey, N. L., Mex. pp 308-309.

Vázquez-Alvarado, R. E., G. E. Salinas-García., C. Gallegos-Vázquez y R. D. Valdez-Cepeda. 1999. Recolección y conservación *ex situ* de la diversidad genética del nopal en el noreste de México. *In*: Aguirre R. J. R. y J. A. Reyes A. (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P., México.

Villaseñor, J. L. y M. Murguía-Romero. 1992. La computadora en la identificación botánica. *Ciencia y Desarrollo*. 18(104): 130-137.

Ward, J. H. 1963. Hierarchical Grouping to optimize on objective function. *Journal of the American Statistical Association*. 58: 236-244.

Webb, D. A. 1954. Is the classification of plant communities either possible or desirable? *Saertryk af Botanisk Tidsskrift*. 51: 361-370.