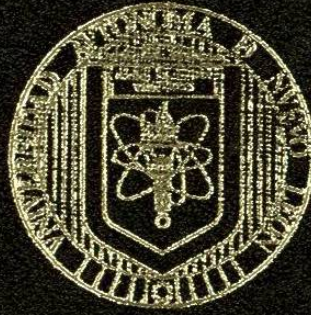


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



CARACTERIZACION, ORDENACION Y CLASIFICACION  
NUMERICA EN NOPAL (*Opuntia* spp.)  
MEDIANTE ATRIBUTOS  
MORFOLOGICOS Y FISICO-QUIMICOS

FOR

MARIANO MOLINA VELAZQUEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGRICOLAS

MARIN, N. L.

AGOSTO DE 2001



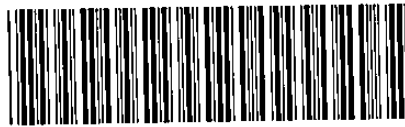
TM

Z507

FA

2001

M65



1020145982

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**CARACTERIZACION, ORDENACION Y CLASIFICACION  
NUMERICA EN NOPAL (*Opuntia spp.*)  
MEDIANTE ATRIBUTOS  
MORFOLOGICOS Y FISICO-QUIMICOS**

**POR**

**MARIANO MOLINA VELAZQUEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGRICOLAS**

**TAMPARIN, N. L.**

**AGOSTO DE 2001**

TM  
Z  
FA  
200  
M65



FONDO  
TESIS


**CARACTERIZACIÓN, ORDENACIÓN Y CLASIFICACIÓN NUMÉRICA EN  
NOPAL (*Opuntia* spp.) MEDIANTE ATRIBUTOS  
MORFOLÓGICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS**

Aprobación de la tesis



---

Dr. Rigoberto E. Vázquez Alvarado  
Asesor principal



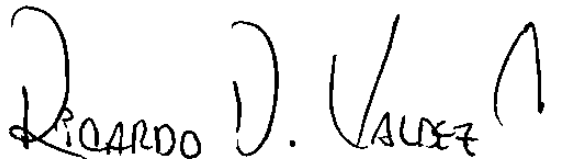
---

Dr. Gilberto E. Salinas García  
Co-asesor



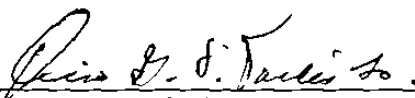
---

Dr. Rigoberto González González  
Co-asesor



---

Dr. Ricardo D. Valdez Cepeda  
Co-asesor



---

Dr. Ciro G. S. Valdés Lozano  
Subdirector de Estudios de Postgrado

## **DEDICATORIAS**

**A mis Padres** Alberto y Margarita. Les dedico esta tesis con todo mi Amor.

**A mis hermanos** Alberto, María de Jesús, Gabriel, Carlos, Margarita y Adriana. Con amor entrañable y con el deseo de que esta tesis sea un estímulo para su superación.

**A mi Compadre** Enrique Rivera por el cariño y la confianza que siempre me ha demostrado y por su entrega, ejemplar, a su familia.

**A mi Amigo** el Padre Rubén Mejía Mata por ser siempre una luz en mi camino y por compartir conmigo y mi familia su tiempo, su espacio y su oración.

**A mis cuñados:** Idalid, Blanca y José Luis, **y a mis sobrinos:** Chuy, Anahí, Lizeth, Marian y Yanetzi.

**A mis Amigos de siempre:** Adalid Vera Velázquez y Carlos Hernández Castro.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios**, por ser mi fuerza, mi esperanza, mi refugio, mi alegría, ... y mi todo.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por apoyarme con la beca crédito para la realización de mis estudios, así como por el apoyo recibido a través del proyecto: “Colección, conservación *ex situ*, estudio y aprovechamiento de la diversidad genética del nopal en el altiplano y la planicie costera del golfo de México”.

**Al Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado**, por haberme permitido colaborar en este proyecto de investigación, por la dirección del presente trabajo de tesis y por su valioso e incondicional apoyo.

**Al Dr. Gilberto Salinas García**, por sus oportunas observaciones y sugerencias para la afinación de la presente tesis.

**Al Dr. Rigoberto González González**, por toda su disponibilidad y apoyo durante mi estancia en la Facultad y durante el desarrollo de la tesis.

**Al Dr. Ricardo David Valdez Cepeda**, por todo el interés y disponibilidad mostrados durante la realización de la tesis, además de sus acertadas sugerencias que, indudablemente, influyeron en el mejoramiento de la calidad del escrito.

**A todos los Maestros del Postgrado**. Con un reconocimiento especial al Dr. José Luis de la Garza, por todas sus enseñanzas y, sobre todo, por su gran calidad humana.

**A mis grandes Amigos de la FAUANL**: Evelyn, Carmelita, Toña, Cristian, Mary Chuy, Markis, Mayela, Juany Aranda, Male, Cesar, Luis Ernesto, Thelma, Juan Carlos, Hugo Che, Juan, Noé, Antero, Elvia y todos los compañeros de la Facultad que no se citan aquí pero que tuvieron la amabilidad de brindarme su confianza y, sobre todo, la oportunidad de ser su Amigo.



**A La Familia Lozano Cruz** por abrirme las puertas de su casa en Marín, donde permanecí durante mi estancia en la Maestría.

**A Doña Tere y Don Arturo** por su gran amabilidad y por su apoyo incondicional en los momentos difíciles durante mi estancia en la Facultad.

A las personas que colaboraron activamente en los trabajos de campo y de laboratorio durante el desarrollo de esta investigación: Luis Ernesto Luque, Carmen Morales, Julián Ortiz, y José Escoto.

Al personal de los laboratorios de Biotecnología microbiana y Bromatología (Juany, Jorge e Ing. Uresti), así como al personal Administrativo de Postgrado (Korina, Juany Pineda, Anita y Chelita) y del Centro de Investigaciones de la FAUANL (Rosy y Chikis), por todo el soporte técnico recibido.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE CUADROS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE CUADROS EN EL APÉNDICE .....	x
LISTA DE FIGURAS EN EL APÉNDICE .....	xi
LISTA DE FOTOGRAFIAS EN EL APÉNDICE .....	xii
RESUMEN .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	3
1.2. Hipótesis .....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. Importancia de la Conservación de los Recursos Fitogenéticos ..	4
2.2. Estrategias de Conservación de los Recursos Fitogenéticos .....	5
2.3. Colecciones de Germoplasma .....	6
2.3.1. Justificaciones para las colecciones de Germoplasma .....	7
2.3.2. Manejo de las colecciones de Germoplasma .....	8
2.3.3. Tipos de colecta .....	8
2.3.3.1. Colecta de rescate .....	8
2.3.3.2. Colecta para uso inmediato .....	8
2.3.3.3. Colecta para uso futuro .....	9
2.3.3.4. Colecta de investigación .....	9
2.3.3.5. Colecta de oportunidad .....	9

2.4. Clasificación .....	10
2.4.1. Fundamentos Teóricos de la Ordenación y Clasificación ...	11
2.4.1.1. Selección de Especies, Variedades y Genotipos .....	11
2.4.1.1.1. Definición de atributos .....	11
2.4.1.1.2. Escalas y ponderaciones de atributos .....	12
2.4.2. Ordenación .....	12
2.4.3. Clasificación: Método y número de grupos o clases .....	13
2.5. Experiencias de Ordenación y Clasificación en Nopal .....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.1. Área de Estudio .....	18
3.2. Material de Estudio .....	18
3.3. Variables Evaluadas .....	18
3.3.1. Variables morfológicas .....	18
3.3.2. Variables fisico-químicas.....	26
3.4. Análisis Estadísticos .....	27
3.4.1. Ordenación y clasificación numérica .....	27
3.4.1.1. Análisis por componentes principales (ACP's) .....	28
3.4.1.2. Análisis por conglomerados (AC) .....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	30
4.1. Caracterización Morfológica y Físico-Química .....	30
4.2. Análisis Estadísticos .....	32
4.2.1. Análisis por componentes principales .....	32
4.2.2. Análisis por conglomerados .....	39
5. CONCLUSIONES .....	48
6. SUGERENCIA .....	50
7. LITERATURA CITADA .....	51
8. APÉNDICE .....	60

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Nombres comunes de los cultivares estudiados con sus respectivas claves de identificación. Banco de germoplasma de nopal FAUANL. ....	19
2	Descripción de las variables morfológicas y fisico-químicas evaluadas. ....	20
3	Valores máximos y mínimos de los atributos morfológicos y fisico-químicos que ayudaron mas a la diferenciación entre cultivares. ....	31
4	Valores medios y desviaciones estándar de las variables para cada una de los cultivares en estudio. ....	33
5	Correlaciones de las variables con los primeros cuatro Componentes Principales (CP's). Banco de germoplasma de nopal FAUANL. ....	37
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. ....	40
7	Cultivares miembros de cada grupo y las distancias desde el centro de su respectivo grupo. Banco de germoplasma de nopal FAUANL. ....	40
8	Estadísticos descriptivos de los grupos de cultivares para los primeros cuatro Componentes Principales (CP's). Banco de germoplasma de nopal FAUANL. ....	41
9	Análisis de varianza para las variables entre y dentro de los cuatro grupos de cultivares. Banco de germoplasma de nopal FAUANL. ....	42
10	Estadísticos descriptivos de los atributos de cladodio para los cuatro grupos o clases de cultivares. Banco de germoplasma de nopal FAUANL. ....	44



## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
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 <i>et al.</i> , 2000b). .....	17
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). .....	21
3	Esquema de la digitalización de un cladodio por medio del programa computacional IDRISI 2.0. ....	22
4	Cladodios digitalizados de nopal mostrando el patrón de medición de las variables Área (cm <sup>2</sup> ) y Perímetro (cm). .....	23
5	Representación gráfica de la estimación del índice de compacidad a partir de la relación del espacio que ocupa el área de un cladodio (Ap) en el área del círculo (Ac) que los circunscribe. ....	24
6	Esquema del conjunto X (Área cuadrículada) mostrando las magnitudes (r's) de los cuadros y la forma en la que estos son ocupados por el área ó perímetro del subconjunto A (Cladodio). .....	27
7	Distribución de 42 cultivares en un espacio tridimensional definido por los tres primeros Componentes Principales (CP's). Banco de germoplasma de nopal FAUANL. Con diferentes tipos de letra y color de círculos se denotan cuatro grupos o clases de cultivares de nopal con semejanzas afines. ....	46
8	Distribución de 42 cultivares en un espacio tridimensional definido por los Componentes Principales 1, 2 y 4 (CP's). Banco de germoplasma de nopal FAUANL. Con diferentes tipos de letra y color de círculos se denotan cuatro grupos o clases de cultivares de nopal con semejanzas afines.. ....	47

## LISTA DE CUADROS EN EL APÉNDICE

Cuadro		Página
A1	Matriz de correlaciones de los valores estandarizados de los atributos. ....	60

## LISTA DE FIGURAS EN EL APÉNDICE

Figura		Página
A1	Combinación lineal entre las variables (perímetro, área y P/A) dominantes en la estructura y el CP1. ....	63
A2	Combinación lineal entre las variables (C-B , Ancho y A-C) dominantes en la estructura y el CP1. ....	64
A3	Combinación lineal entre las variables (Largo, Li y Ls) dominantes en la estructura y el CP1. ....	65
A4	Combinación lineal entre las variables (Espareo y Longesp) dominantes en la estructura y el CP1. ....	66
A5	Combinación lineal entre las variables ( $C_A$ , $C_P$ y $D_A$ ) dominantes en la estructura y el CP2. ....	67
A6	Combinación lineal entre las variables ( $D_P$ , IC y $k$ ) dominantes en la estructura y el CP2. ....	68
A7	Combinación lineal entre la variable (L/A) dominante en la estructura y el CP2. ....	69
A8	Combinación lineal entre las variables (Cen, Agua y Msp) dominantes en la estructura y el CP3. ....	70
A9	Combinación lineal entre las variables (AreoC1, AreoC2 y Arecres) dominantes en la estructura y el CP4. ....	71

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS EN EL APÉNDICE

Fotografía		Página
1	Cultivar Alfajayucan .....	72
2	Cultivar Amarillo 2289 .....	72
3	Cultivar Amarillo 3389 .....	72
4	Cultivar Amarillo .....	72
5	Cultivar Amarilla Chica .....	73
6	Cultivar Amarilla Montesa .....	73
7	Cultivar Barrientos .....	73
8	Cultivar Blanco la Victoria .....	73
9	Cultivar Burrona .....	74
10	Cultivar Cardón Blanco .....	74
11	Cultivar Chapiada .....	74
12	Cultivar Concha del Oro .....	74
13	Cultivar Copena 5 .....	75
14	Cultivar Copena CE1 .....	75
15	Cultivar Copena CE2 .....	75
16	Cultivar Copena T12 .....	75
17	Cultivar Copena Torrija .....	76
18	Cultivar Copena Z1 .....	76
19	Cultivar Cristalina .....	76
20	Cultivar Cristalina Bola .....	76
21	Cultivar Fafayuca .....	77
22	Cultivar Jarilla Grande .....	77
23	Cultivar Liso Forrajero .....	77
24	Cultivar Mamey Grande .....	77
25	Cultivar Mango .....	78



Fotografía	Página
26 Cultivar Morada 2 .....	78
27 Cultivar Morada Grande .....	78
28 Cultivar Morada T10 .....	78
29 Cultivar Naranjona Legítima .....	79
30 Cultivar Pabellón .....	79
31 Cultivar Pabellón T .....	79
32 Cultivar Pachona T4 .....	79
33 Cultivar Palo Alteña .....	80
34 Cultivar Pico Chulo .....	80
35 Cultivar Rojo 3589 .....	80
36 Cultivar Rojo Pelón .....	80
37 Cultivar Rojo Pirámide .....	81
38 Cultivar Rojo Vigor .....	81
39 Cultivar Rubí Reyna .....	81
40 Cultivar Sandía .....	81
41 Cultivar Sangre de Toro .....	82
42 Cultivar Solferino .....	82

## RESUMEN

Durante las dos últimas décadas, algunas instituciones mexicanas se han esforzado en coleccionar genotipos de nopal cultivados, silvestres y establecidos en solares, en atención a que el conocimiento de la variación genética y fenotípica es crítica para la generación de variedades por métodos clásicos o biotecnológicos, así como para la colección de germoplasma en el futuro y la eventual definición de prioridades para la preservación del germoplasma. El propósito de ésta investigación fue caracterizar, ordenar y clasificar 42 cultivares de nopal en base a atributos morfológicos y fisico-químicos de cladodios, empleando las técnicas de análisis multivariado de análisis de componentes principales (ACP's) y de conglomerados (AC). En la estructura de los componentes principales (CP's) sobresale la correlación negativa entre la proporción Perímetro / Área y algunas de las variables de magnitud de los cladodios (*e.g.* largo y ancho) en el CP1. Cuatro diferentes clases de cultivares, en base a los atributos de los cladodios, fueron definidas. El primer grupo 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). El segundo grupo es el menos compacto, es decir, el que presenta mas riqueza genética en términos de variabilidad de los 35 atributos 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 éste grupo resalta la particular asociación de los cultivares Copena y otros sin espinas, de manera que en él predominan los cultivares con cladodios sin espinas. El tercer grupo es integrado por los cultivares Amarilla 3389, Amarilla Montesa, Burrona, Concha del Oro, Fafayuca, Jarilla, Mamey, Morada T10, Pico Chulo, Rojo Pirámide y Rubí Reyna. Éstos cultivares son los que producen los cladodios mas elongados. El cuarto grupo es el más compacto (el que presenta menor riqueza genética), y es integrado por Amarilla chica, Barrientos, Blanco la Victoria, Cardón Blanco, Cristalina Bola, Morada grande y Pachona, cultivares que se caracterizan por tener cladodios menos elongados y más compactos en términos morfológicos.

## SUMMARY

During the last two decades, several mexican institutions have made efforts to collect wild, backyard and cultivated genotypes of cactus pear, because an understanding of phenotypic and genetic variation is critical to varietal development by classical or biotechnological approaches, as well as for future germplasm collection and eventual setting of priorities for germplasm maintenance. The aim of this study was to characterize, to order, and to classify 42 cultivars from the cactus pear germplasm collection at the Facultad de Agronomía of the Universidad Autónoma de Nuevo León, México, by cladodes physical-chemical composition and morphology variation of cladodes. Multivariate analyses was used (principal components and cluster analyses, PCA and CA, respectively) to examine. It is remarkable from the principal components (PC's) structures, for instance, that in PC1 there is a negative intercorrelation between the cladodes' Perimeter/Area ratio and any of the cladodes size attributes (length of the major and minor axis, among others) exists. Four different clusters of cultivars that are distinct on the basis of cladodes morphology and physical-chemical composition were determined. In first class or group, the cultivars Amarillo, Copena Torrioja, Cristalina, Chapiada, Mango, Morada 2, Naranjona, Palo Alteña, Rojo Vigor, Sandía, Sangre de Toro and Solferino are clustered. Cultivars (Naranjona, Sangre de Toro, Sandía and Amarillo) with big cladodes were included within this group. The second cluster is the most heterogeneous, that is, it has the highest genetic richness taking into account 35 attributes of morphology and physical-chemical composition; within it are the cultivars Alfajayucan, Amarillo 2289, Copena 5, Copena CE1, Copena T12, Copena Z1, Liso Forrajero, Pabellón, Pabellón T, Rojo 3589, and Rojo Pelón. It is important to notice the association between Copena's group and other spineless cultivars. The third group is conformed by Amarilla 3389, Amarilla Montesa, Burróna, Concha del Oro, Fafayuca, Jarilla, Mamey, Morada T10, Pico Chulo, Rojo Pirámide and Rubí Reyna. These cultivars produce cladodes which are very elongated. The last and fourth class is the less heterogeneous and is composed by Amarilla Chica, Barrientos, Blanco la Victoria, Cardón Blanco, Cristalina Bola, Morada Grande and Pachona, these cultivars are characterized by their most compact and rounded cladodes.