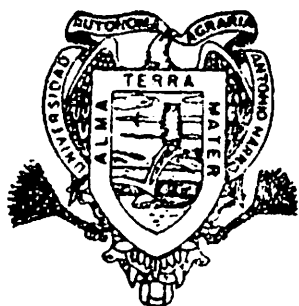


CARACTERIZACION MORFOLOGICA-BROMATOLOGICA
DEL NOPAL FORRAJERO EN DIFERENTES
AMBIENTES DE LA SIERRA DE LA PAILA, COAH.

JAVIER ESPINOSA ABURTO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN LA ESPECIALIDAD DE MANEJO DE PASTIZALES



**Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro**

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

AGOSTO DE 1987

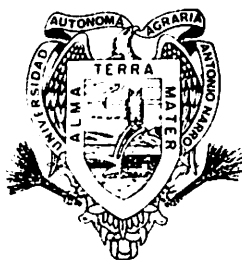
Caracterización Morfológica - Bromatológica del Nopal Forrajero
en Diferentes Ambientes de la Sierra de la Paila, Coahuila

Javier Espinosa Aburto

T e s i s

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:

Maestro en Ciencias
en la Especialidad de Manejo de Pastizales



Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro”

Programa de Graduados

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

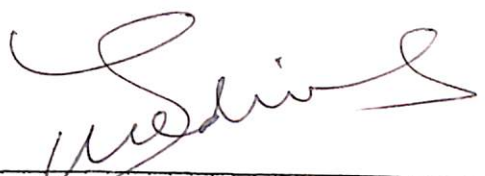
Agosto de 1987

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité Particular
de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar
al grado de

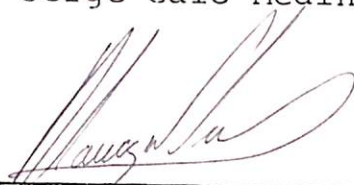
MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD
MANEJO DE PASTIZALES

C O M I T E P A R T I C U L A R

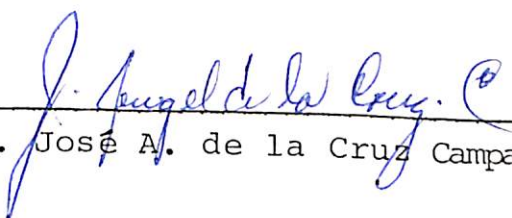
Asesor principal:

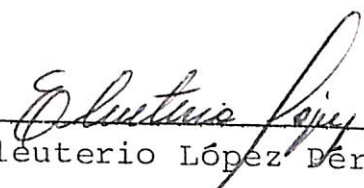

Dr. Jorge Galo Medina Torres

Asesor:


Dr. Rolando Cavazos Cadena

Asesor:


Ing. José A. de la Cruz Campa


Dr. Eleuterio López Pérez
Subdirector de Asuntos de Postgrado



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.N.

Buenavista, Saltillo, Coah. Agosto de 1987

DEDICATORIA

Con amor para mi Esposa:

Elisa

A mi Madre:

Sra. Ma. Teresa Aburto G.

A la Memoria de mi padre:

Sr. Salvador Espinosa

A mis Suegros:

Sra. Beatriz Mondragón T.

Sr. David Guzmán R.

A los demás miembros de mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jorge Galo Medina T., por su asesoría y apoyo para la concepción y realización de este trabajo.

Al Ing. José A. de la Cruz C. y Dr. Rolando Cavazos C., integrantes del Comité Particular de Asesoría por la ayuda brindada.

Al Ing. J. Concepción Loredó O., por sus observaciones y la ayuda prestada en el análisis estadístico de este trabajo.

Al Ing. Enrique Acuña, por su cooperación durante la conducción del trabajo de campo.

Al Biol. Jorge Elizondo, por su ayuda en el trabajo taxonómico.

A la Ing. Elisa Quiroga Vita, investigador del Programa de Forrajes del Campo Agrícola Experimental "La Laguna", por su valiosa cooperación en el trabajo de laboratorio.

Al Ing. Víctor Manuel Valdéz R. Director del Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte (CIAN), por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

A Lucy y Diana Castro, por su ayuda en la mecanografía y trabajo computacional de esta tesis.

A mis maestros, compañeros y personal del Depto. de Recursos Naturales Renovables.

A la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Representación Coahuila.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

COMPENDIO

Caracterización Morfológica - Bromatológica del Nopal Forrajero en Diferentes Ambientes de La Sierra de La Paila, Coahuila

POR

JAVIER ESPINOSA ABURTO

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD MANEJO DE PASTIZALES

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. AGOSTO 1987.

Dr. Jorge Galo Medina Torres - Asesor -

Palabras clave: Nopal, distribución, variación ambiental, variación bromatológica, variación morfológica, Opuntia rastrera, Opuntia lindheimeri var. tricolor, Opuntia lindheimeri var. lindheimeri, Opuntia phaeacantha var. discata.

Los objetivos del presente estudio fueron: a) identificar las características ambientales que determinan el patrón de distribución espacial de las especies de nopal forrajero nativo; b) determinar el efecto de la variación ambiental sobre la composición bromatológica y las características morfológicas de las plantas asociadas con estas variaciones; y c) definir las condiciones más propicias para el establecimiento y/o explotación de este recurso.

Las especies y/o variedades de nopal que conforman las poblaciones de esta zona son: Opuntia rastrera; O. lindheimeri vars. tricolor, aciculata y lindheimeri; O. phaeacantha var. discata y O. macrocentra.

La distribución local de las especies y/o variedades de este género en esta zona se encontró determinada por la presencia de un gradiente de disponibilidad de nutrientes minerales (Mg, K y P) y por un aspecto complejo de acumulación y descomposición de materia orgánica, asociado con la altitud y la pendiente.

La reacción de las diferentes especies y/o variedades a la específica variación ambiental no fue completamente independiente. Las características bromatológicas asociadas a variaciones ambientales fueron: contenidos de grasa, digestibilidad y proteína cruda en O. rastrera; digestibilidad y contenido de grasa en O. lindheimeri; var. tricolor; proteína cruda y fibra en O. lindheimeri var. lindheimeri y contenido de grasa, proteína cruda y digestibilidad en O. phaeacantha Var. discata. Se identificaron algunas características morfológicas de las plantas, asociadas con estas variaciones y la relación entre ambiente y algunas características indicadores de rendimiento. Considerando 17 variables ambientales relacionadas con características del sustrato, se definen las condiciones más propicias para el establecimiento y/o explotación de este recurso.

ABSTRACT

MORPHOLOGICAL AND BROMATOLOGICAL CHARACTERIZATION OF FOODER PRICKLY PEAR IN DIFFERENT ENVIRONMENTS IN THE SIERRA DE LA PAILA, COAHUILA.

BY

JAVIER ESPINOSA ABURTO

MASTER OF SCIENCE
RANGE MANAGEMENT

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, AUGUST 1987.

Dr. Jorge Galo Medina Torres -Advisor-

Key Words: Prickly pear; distribution; environmental, -
bromatological and morphological variation;
Opuntia rastrera, O. lindheimeri var. tricolor,
O. lindheimeri var. lindheimeri, O. phaeacantha
var. discata.

In 1986 a study was conducted to determine: a) the effects of environmental factors on the spatial distribution of native fooder prickly pear, b) the effects of environment on the nutritive value and morphological variation, c) and to define the most suitable conditions for establishment and cultivation of these native species.

It was found that the populations of this genus were formed by Opuntia rastrera, O. lindheimeri vars. tricolor,

aciculata y lindheimeri, O. phaeacantha var. discata and O. macrocentra.

The local distribution was mainly determined by the availability of nutrients (Mg, K and P) and by organic matter content of the soil and by its decomposition pattern, - associated with altitude and slope. Environment also - influenced the nutritive value of these species. Changes were observed in fat and protein content and IVD for Opuntia rastrera and O. phaeacantha var. discata, in IVD and fat - content for O. lindheimeri var. tricolor, and in protein and total fiber content for O. lindheimeri var. lindheimeri.

Some morphological characteristics and yield attributes were identified in association with different environments. Based on 17 environmental factors, the most suitable - conditions for the establishment and cultivation for these species of this genus were defined.

INDICE GENERAL

	PAGINA
INDICE DE CUADROS	x
INDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	6
GENERALIDADES	6
IMPORTANCIA DE LAS ESPECIES DEL GENERO <u>Opuntia</u>	9 ✓
DISTRIBUCION DE LAS ESPECIES DEL GENERO <u>Opuntia</u>	11 ✓
VARIABILIDAD MORFOLOGICA	19
VALOR NUTRITIVO	24 ✓
METODOS ESTADISTICOS MULTIVARIADOS	29
MATERIALES Y METODOS	36
DESCRIPCION DEL AREA GENERAL	36
UBICACION	36
GEOLOGIA	38
CLIMA	38
SUELO	41
VEGETACION	42
METODOLOGIA DE MUESTREO	42
SITIOS DE MUESTREO	42
MUESTREO DE DENSIDAD TOTAL Y POR ESPE- CIE DE NOPAL	47
MORFOLOGIA DEL NOPAL	48 ✓
CARACTERIZACION BROMATOLOGICA	56 ✓
CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS DE SUELO	57

METODOLOGIA DE ANALISIS	58
PATRON DE DISTRIBUCION ESPACIAL.....	58
INTERACCION AMBIENTE - MORFOLOGIA -	
BROMATOLOGIA	60
RESULTADOS	65
PATRON DE DISTRIBUCION ESPACIAL	65
INTERACCION AMBIENTE - MORFOLOGIA - BROMATOLO	
GIA	75
<u>Opuntia rastrera</u>	76
<u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>tricolor</u>	85
<u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>lindheimeri</u> .	98
<u>Opuntia phaeacantha</u> Var. <u>discata</u>	107
DISCUSION	119
PATRON DE DISTRIBUCION ESPACIAL	119
INTERACCION AMBIENTE - MORFOLOGIA - BROMATOLO	
GIA	124
<u>Opuntia rastrera</u>	124
<u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>tricolor</u>	128
<u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>lindheimeri</u> .	132
<u>Opuntia phaeacantha</u> var. <u>discata</u>	135
CONCLUSIONES	140
RESUMEN	145
LITERATURA CITADA	147

INDICE DE CUADROS

PAGINA

CUADRO 2.1.	COEFICIENTES DE CORRELACION PARA 5 CARACTERES SEGREGANTES EN LA FRACCION <u>Opuntia edwardsii</u> - <u>O. phaeacantha</u>	21
CUADRO 2.2.	COMPOSICION BROMATOLOGICA EN POR CIENTO DE DIFERENTES ESPECIES DE NOPALES, SOBRE UNA BASE DE PESO SECO.	25 ✓
CUADRO 2.3.	ANALISIS BROMATOLOGICA DE PENCAS DE DIFERENTES EDADES EN <u>Opuntia cantabrigiensis</u>	26 ✓
CUADRO 2.4.	ANALISIS BROMATOLOGICO DE PENCAS DE DIFERENTES EDADES EN <u>Opuntia engelmannii</u>	27 ✓
CUADRO 3.1.	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS 29 SITIOS MUESTREADOS EN LA SIERRA DE "LA PAILA", COAH	46
CUADRO 4.1.	DENSIDADES ESTIMADAS DE NOPAL FORRAJERO (PLANTAS POR HECTAREA) EN LOS 29 SITIOS EVALUADOS. VALORES CORRESPONDIENTES A CADA UNA DE LAS ESPECIES EVALUADAS	66 ✓
CUADRO 4.2.	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES PROMEDIO POR SITIO, CONSIDERANDO LOS 29 SITIOS EVALUADOS	68

CUADRO 4.3.	COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE - CARACTERISTICAS AMBIENTALES PROMEDIO POR SITIO Y LOS VALORES CORRESPONDIENTES A CADA SITIO EN LOS EJES X y Y DE LA ORDENACION POLAR	71
CUADRO 4.4.	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS PROMEDIO POR SITIO (10 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia rastrera</u>	77
CUADRO 4.5.	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS BROMATOLOGICAS PROMEDIO - POR SITIO (10 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia rastrera</u>	77
CUADRO 4.6.	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES POR SITIO (10 SITIOS) ASOCIADAS CON PLANTAS DE - <u>Opuntia rastrera</u>)	78
CUADRO 4.7.	PESOS AJUSTADOS DE LAS VARIABLES SOBRE LOS PRIMEROS CINCO COMPONENTES DE UN ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INFORMACION DE <u>Opuntia rastrera</u>	79
CUADRO 4.8.	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS PROMEDIO POR SITIO (13 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>tricolor</u> ..	88

CUADRO 4.9	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS BROMATOLOGICAS PROMEDIO POR SITIO (13 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>tricolor</u>	88
CUADRO 4.10	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES POR SITIO (13 SITIOS) ASOCIADAS CON PLANTAS DE <u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>tricolor</u>	89
CUADRO 4.11	PESOS AJUSTADOS DE LAS VARIABLES SOBRE LOS PRIMEROS CUATRO COMPONENTES DE UN ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INFORMACION DE <u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>tricolor</u>	91
CUADRO 4.12	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS PROMEDIO POR SITIO (10 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>lindheimeri</u>	99
CUADRO 4.13	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS BROMATOLOGICAS PROMEDIO POR SITIO (10 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>lindheimeri</u>-.....	99
CUADRO 4.14	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES POR SITIO (10 SITIOS) ASOCIADAS CON PLANTAS DE <u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>lindheimeri</u>	100
CUADRO 4.15	PESOS AJUSTADOS DE LAS VARIABLES SOBRE LOS PRIMEROS CINCO COMPONENTES	

....

CUADRO 4.15	DE UN ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INFORMACION DE <u>Opuntia lindheimeri</u> var. <u>lindheimeri</u>	102
CUADRO 4.16	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS PROMEDIO POR SITIO (12 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia phaeacantha</u> var. <u>discata</u>	109
CUADRO 4.17	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS BROMATOLOGICAS PROMEDIO - POR SITIO (12 SITIOS) EN PLANTAS DE <u>Opuntia phaeacantha</u> var. <u>Discata</u>	109
CUADRO 4.18	ESTADISTICAS ELEMENTALES DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES POR SITIO (12 SITIOS) ASOCIADAS CON PLANTAS DE - <u>Opuntia phaeacantha</u> var. <u>discata</u>	110
CUADRO 4.19	PESOS AJUSTADOS DE LAS VARIABLES SOBRE LOS PRIMEROS CINCO COMPONENTES DE UN ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INFORMACION DE <u>Opuntia phaeacantha</u> Var. <u>discata</u>	112
CUADRO 5.1	CARACTERISTICAS AMBIENTALES ADECUADAS PARA LA EXPLOTACIÓN Y/O ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES DE NOPAL FORRAJERO EN LA SIERRA DE LA PAILA, COAH. Y AREAS ALEDAÑAS. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y BROMATOLOGICAS ASOCIADAS.....	139

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
FIGURA 3.1. CROQUIS DE LA ZONA DE ESTUDIO QUE ILUSTRAS LAS PRINCIPALES VIAS DE ACCESO A LA MISMA: CARRETERAS, BRECHAS Y VIAS FERREAS.....	37
FIGURA 3.2. POLIGONOS QUE MUESTRAN LA FILIACION CLIMATICA APROXIMADA DE LA SIERRA DE LA PAILA, COAH., EN BASE A PRECIPITACION MENSUAL Y TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN DOS LOCALIDADES: SALTILLO Y RAMOS ARIZPE	40
FIGURA 3.3. PERFIL DE VEGETACION EN LA SIERRA DE LA PAILA, COAH. (CORTE TRANSVERSAL). REPRESENTA CINCO TIPOS DE VEGETACION BIEN DEFINIDOS.....	43
FIGURA 3.4. LOCALIZACION APROXIMADA DE LOS CUATRO TRANSECTOS DE MUESTREO. SE INCLUYEN LOS DOS SITIOS ADICIONALES	45
FIGURA 3.5. REPRESENTACION GRAFICA DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA DETERMINAR LA LONGITUD TOTAL Y EL NUMERO DE RAMIFICACIONES POR PLANTA.....	49
FIGURA 3.6. REPRESENTACION GRAFICA DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL NUMERO DE NIVELES, CLADOS A RASTRERO Y ALTURA DE PLANTA	50

FIGURA 3.7.	ILUSTRACION GRAFICA DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA DETERMINACION DE LA LONGITUD, ANCHURA Y FORMA DE PENCA	53
FIGURA 3.8.	PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL GROSOR DE CLADODIO.....	54
FIGURA 3.9.	ILUSTRACION GRAFICA DE LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE AREOLA, ESPINAS POR AREOLA, LONGITUD DE ESPINAS CENTRALES Y RADIALES.....	54
FIGURA 4.1.	ORDENACION POLAR EN DOS EJES. SITIOS EN FUNCION A DENSIDAD DE ESPECIES DE <u>Opuntia</u>	69
FIGURA 4.2.	ORDENACION POLAR EN DOS EJES. SITIOS EN FUNCION A DENSIDAD DE ESPECIES DE <u>Opuntia</u> . SOBREPOSICION DE GRADIENTES AMBIENTALES Y COMPOSICION ESPECIFICA EN ORDEN DE DOMINANCIA EN CADA SITIO.....	72
FIGURA 4.3.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR LOS COMPONENTES 1 Y 2. <u>Opuntia rastrera</u>	82
FIGURA 4.4.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 1 y 2. <u>Opuntia rastrera</u>	82
FIGURA 4.5.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia rastrera</u>	84

FIGURA 4.6.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia rastrera</u>	84
FIGURA 4.7.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR - LOS COMPONENTES 3 y 4. <u>Opuntia rastrera</u>	86
FIGURA 4.8.	ESPACIO DE SITIO GENERADO POR LOS - COMPONENTES 7 y 4. <u>Opuntia rastrera</u>	86
FIGURA 4.9.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR LOS COMPONENTES 4 y 5. <u>Opuntia rastrera</u>	87
FIGURA 4.10	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 4 y 5. <u>Opuntia rastrera</u>	87
FIGURA 4.11.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR - LOS COMPONENTES 1 y 2. <u>Opuntia lindheimeri</u> Car <u>Tricolor</u>	94
FIGURA 4.12.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 1 y 2. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>Tricolor</u>	94
FIGURA 4.13.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR - LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>Tricolor</u>	96
FIGURA 4.14.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>Tricolor</u>	96
FIGURA 4.15.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR - LOS COMPONENTES 3 y 4. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>Tricolor</u>	97

FIGURA 4.16.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 3 y 4. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>Tricolor</u>	97
FIGURA 4.17.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR LOS COMPONENTES 1 y 2. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>Lindheimeri</u>	104
FIGURA 4.18.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 1 y 2. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>lindheimeri</u>	104
FIGURA 4.19.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>lindheimeri</u>	106
FIGURA 4.20.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>lindheimeri</u>	106
FIGURA 4.21.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR LOS COMPONENTES 3 y 4. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>lindheimeri</u>	108
FIGURA 4.22.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 3 y 4. <u>Opuntia lindheimeri</u> Var. <u>lindheimeri</u>	108
FIGURA 4.23.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR LOS COMPONENTES 1 y 2. <u>Opuntia phaeacantha</u> Var. <u>discata</u>	115
FIGURA 4.24.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 1 y 2. <u>Opuntia phaeacantha</u> Var. <u>discata</u> ..._.....	115

FIGURA 4.25.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR - LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia phaeacan-</u> <u>antha</u> Var. <u>discata</u>	116
FIGURA 4.26.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS COMPONENTES 2 y 3. <u>Opuntia phaeacan-</u> <u>tha</u> Var. <u>discata</u>	116
FIGURA 4.27.	ESPACIO DE VARIABLES GENERADO POR - LOS COMPONENTES 3 y 4. <u>Opuntia phaeacan-</u> <u>antha</u> Var. <u>discata</u>	118
FIGURA 4.28.	ESPACIO DE SITIOS GENERADO POR LOS - COMPONENTES 3 y 4. <u>Opuntia phaeacan-</u> <u>the</u> Var. <u>discata</u>	118
FIGURA 5.1.	COMPORTAMIENTO DEL NO ₃ EN EL SUELO A TRAVES DEL PERIODO DE MUESTREO EN LOS 29 SITIOS EVALUADOS.....	122

17

CAPITULO I

INTRODUCCION

Uno de los problemas fundamentales que impiden el desarrollo de la industria ganadera nacional es la escasez de forraje. Esta se acentúa considerablemente en las zonas áridas y semiáridas del país, las que representan en su conjunto aproximadamente el 52 por ciento de la superficie total. En ellas, la fuente principal de humedad ocurre en el verano con lluvias de carácter torrencial y de baja magnitud, lo que ocasiona por un lado, que la penetración de agua al suelo sea deficiente y, por el otro, que se evapore rápidamente debido a las altas temperaturas presentes en esa época. Si a ello se aunan otras limitantes físicas, encontramos que la producción de forraje es insuficiente para mantener a las grandes poblaciones de ganado que en ellas se encuentran, magnificándose este problema durante las extensas temporadas de sequía.

Lo anterior ha originado que los productores de ganado recurran a la utilización de plantas adaptadas a la sequía, entre las que Marroquín, et al. (1964) mencionan a considerables especies del género Opuntia. De ellas, y en concordancia con Martínez (1968) el Nopal rastrero que crece en forma silvestre representa un recurso forrajero particularmente importante por su gran volumen de consumo. Es común ver las

grandes cantidades de pencas que se transportan a los establos ubicados en Saltillo, Monclova, Monterrey, etc., y el consumo de pencas (chamuscadas o no) por el ganado que se encuentra bajo un manejo de tipo extensivo; incluso se han establecido siembras comerciales de estas especies para estos fines. Sin embargo, como han puntualizado Marroquín et al. (1964) la utilización de las formas de vida silvestres de estos recursos no reúne los requisitos mínimos indispensables para la correcta explotación, y prueba de ello es la notable disminución de las áreas costeables para recolecta. Las zonas nopaleras se encuentran cada vez más retiradas de los centros de población y de las carreteras y caminos. Esa situación puede originar que en un tiempo dado ya no sea costeable acarrearlo por la distancia e inaccesibilidad, pudiendo quedar la ganadería, en estas áreas, sin este auxilio. Por otro lado, en el establecimiento de plantaciones con fines comerciales, por lo general no se cuenta con la información que permita definir los tipos de Nopales, las áreas adecuadas para su establecimiento y las técnicas requeridas para su correcta explotación; lo que ha ocasionado que en muchos de los casos su fracaso haya sido evidente.

Rzedowski (1968) considera que en estas áreas difícilmente podrá realizarse una agricultura intensiva y que la utilización más viable, durante mucho tiempo, tendrá que ser a base de especies vegetales silvestres de interés ganadero o industrial. Por ello, la posibilidad de incrementar el rendimiento de estas áreas ofrece un campo atractivo para la ciencia y la tecnología. De obtenerse resultados positivos, la

región podrá hacerse más productiva y podrá elevarse, conjuntamente, el nivel de vida de la población humana que la habita. Cualquier acción tendiente a abordar tal problema, deberá incluir, por una parte, un esfuerzo por estudiar a fondo - las características de las especies interesantes de las comunidades vegetales y del medio físico en el cual desarrollan, y por la otra, desarrollar métodos más eficientes para su explotación.

El Nopal rastrero constituye un grupo de especies forrajeras que a pesar de su largo historial de utilización, no se les ha dado la debida importancia para integrarla en los actuales programas de investigación en desarrollo de recursos naturales. Entre otras, una de las causas principales es que muchos especialistas en nutrición del ganado las consideran como un forraje de mala calidad. Sin embargo, es evidente el potencial de estas especies bajo las condiciones que caracterizan a la mayor parte de las áreas que constituyen el norte mexicano. Hasta la fecha, la información disponible sobre estas especies se restringe a generalizaciones aisladas, hechas sobre sus patrones de distribución y sobre sus características bromatológicas e información sobre algunos aspectos taxonómicos, en los cuales se destaca el problema del gran polimorfismo que las caracteriza. Sin embargo, ningún trabajo ha intentado conjuntar estos tres aspectos - con miras a hacer un mejor uso de este recurso.

Para lo anterior, los objetivos del presente trabajo son:

1. Identificar las características ambientales que determinan el patrón de distribución espacial de las especies de Nopal forrajero nativo.
2. Determinar el efecto de la variación ambiental - sobre la composición bromatológica del Nopal y - las características morfológicas asociadas con - estas variaciones.
3. Identificar las características morfológicas de las plantas de Nopal que puedan ser usadas como indicadoras de su valor forrajero
4. Identificar las condiciones ambientales más propicias para el establecimiento y/o explotación - de este recurso.

De tal forma que esta información sirva como referencia básica para posteriores acciones tendientes a: a) la localización de áreas adecuadas para el establecimiento de explotaciones comerciales y los tipos morfológicos que garantizan, además de su establecimiento, la posibilidad de suministrar un forraje de mejor calidad; b) la regeneración de las áreas propias de estas especies en su vida silvestre; c) el establecimiento de programas de mejoramiento genético que puedan interpretar y validar las relaciones entre la morfología y el valor nutritivo de estas especies.

Considerando, asimismo, que en trabajos de este tipo se registran un gran número de variables, las cuales pueden estar directamente correlacionadas entre sí, dificultando el análisis e interpretación de la información resultante, un objetivo secundario de este trabajo es probar la aplicación de

técnicas estadísticas multivariadas, particularmente del análisis en Componentes Principales, de tal forma que pueda señalarse un enfoque metodológico para trabajos con características similares.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

Generalidades

Los nopales son un grupo de plantas xerófilas de la familia Cactaceae, pertenecientes al género Opuntia y al subgénero Platyopuntia, cuyos orígenes han sido tema de muchas controversias. Rzedowski (1965) menciona a algunos autores que consideran a México como el territorio donde se originaron las plantas que conforman a esta familia, mencionando - que en el Terciario Inferior las zonas climáticas del hemisferio boreal estaban desplazadas de 10 a 15° hacia el norte, y que en esa época México estaba cubierto por bosques subtropicales, mientras que las zonas secas se localizaban en el - centro de lo que hoy es Estados Unidos, y que fue a partir del Plioceno Medio cuando alcanzaron su situación y extensión actual. Bravo (1978) coincide en parte con lo anterior, al mencionar que la vegetación Xerófila, de la cual forman parte las Opuntias, tuvo como antecesoras a plantas mesófilas - que a fines del Terciario habitaban regiones con clima subtropical más o menos cálido y húmedo y que adquirieron gradualmente sus características xerófilas al ir disminuyendo - la humedad conforme se formaban los desiertos. Douglas -

(1973) por su parte cita que las opuntias son originarias de América y específicamente en los Estados de Utah y Nebraska en el centro de Estados Unidos. Aparentemente también coincide con Rzedowski (1965) el cual ubica precisamente a las áreas secas en esa zona en el Terciario Inferior. Bazán (1968) cita en forma más generalizada, que estas especies son originarias de América y que únicamente un género de cactáceas, denominado Rhipsalis, es nativo del antiguo Continente.

No obstante esas opiniones, y debido a la ausencia de restos fósiles, no es posible definir con exactitud dónde y cuándo se originaron. Bravo (1978) cita que la única evidencia disponible es el descubrimiento de numerosos restos de granos de polen y semillas de Opuntia en arcillas carbonosas del Pleistoceno superior en la región de Tlapocoya, cercana a Texcoco, en la cuenca del Valle de México.

Bravo (1978) menciona que el subgénero Platyopuntia está formado por 17 series, de las cuales únicamente las siguientes presentan especies de hábito rastrero:

- a). Serie Polyacanthae. Esta serie sin embargo - forma un grupo natural, debido a su fruto seco, solo Opuntia depressa es de hábito rastrero.
- b). Serie Tunae. Se registra como formada por especies bajas y postradas, sin embargo, sólo - Opuntia depressa es de hábito rastrero.
- c). Serie Basilaris. Entre las especies de este - grupo, Opuntia rufida y O. pycnacantha presentan este tipo de hábito.

- d). Serie *Opuntiae*. Especies de hábito rastrero en este grupo son: Opuntia plumbea, O. compressa, etc.
- e). Serie *Phaeacanthae*. En este grupo se pueden citar a Opuntia rastrera, y algunas variedades de O. phaeacantha.
- f). Serie *Dillenianae*. Este grupo, aunque formado en su mayoría por especies de hábito arbóreo, - registra algunas variedades de Opuntia stricta de hábito de crecimiento bajo y extendido, además de especies como O. lindheimeri y O. neo-chrysacantha, las cuales presentan tanto formas rastreras como arbustivas.

Otras especies de hábito rastrero pueden encontrarse en el subgénero Stenopuntia, tales como Opuntia stenopetala y O. glaucens.

Briton y Rose (1937) citan también un gran número de especies de hábito rastrero, de las cuales mencionan como localizadas en México a Opuntia decumbens, O. basilaris e incluso nuevamente a Opuntia rastrera. Esta última la consideran como equivalente a la Opuntia lucens descrita por Griffiths y relacionada a O. engelmannii, aunque de diferente hábito.

Aún cuando diferentes autores mencionan especies de Opuntia claramente diferenciadas, el problema de su clasificación es más complejo, debido principalmente al polimorfismo que las caracteriza, lo cual ocasiona que en un momento - dado, especies analizadas no coincidan con la descripción -

hecha en la localidad tipo y a partir de la cual se definió su taxonomía. Numerosos autores mencionan este problema, y entre estos se puede citar a Ballester (1978) quien opina - que la clasificación botánica se ha llevado a cabo en fun - ción a características de la flor, no obstante que dentro de una misma especie pueden observarse diferencias en algunos - caracteres como puede ser la forma de la hoja, el color y sa - bor del fruto, las cuales dan origen a variedades y cultiva - res. Kearney y Peebles (1973) puntualizan que el género Opun - tia presenta muchas dificultades taxonómicas y que, por lo - tanto, la clasificación satisfactoria de las especies es un hecho complicado, ya que las características de diagnóstico son grandemente influenciadas y alteradas por el medio am - biente y que, aún más, los híbridos naturales no son raros. McGinnies (1981) señala que debido a estas dificultades, - los listados de especies de este género, para ciertas áreas, pueden variar dependiendo de los autores.

Importancia de las Especies del Género Opuntia

Para definir la importancia de estas especies se han considerado diferentes enfoques, tanto económicos como ecoló - gicos. Marroquín, et al. (1964) mencionan que, aún cuando - los nopales son forrajes mediocres, pueden ser usados satis - factoriamente, cuando se mezclan con alfalfa, pasta de algo - dón y otros alimentos de mejor calidad, y que en nuestro me - dio árido, a falta de una buena cantidad sostenida de forra - jes naturales, es preciso acudir al nopal como complemento -

alimenticio para el ganado. Kearney y Peebles (1973) también recalcan la importancia de este recurso en la alimentación del ganado, sin embargo, señalan que el ganado puede consumir este alimento, por un tiempo determinado sin sufrir daño, siempre y cuando las espinas sean quemadas o maceradas. Barrientos (1968) señala asimismo, la importancia que tiene para el consumo humano, además de su utilidad industrial en la manufactura de productos alimenticios y otros. Meyer y McLaughlin (1981) en una disertación sobre los usos económicos de estas especies, destacan su utilidad en la medicina, reportando que pueden ser usados, mediante diferentes procesos de preparación, en el tratamiento de úlceras, resfriados y como diuréticos, además de los usos industriales en la preparación de alcohol, cosméticos, etc.

Como se mencionó anteriormente, así como presentan usos potenciales para la industria y alimentación, estas especies revisten también particular importancia desde un punto de vista ecológico, al encontrarse en interacción continua con otras especies vegetales, así como con variadas especies animales de vida silvestre. Algunos trabajos que reportan este tipo de interacciones son, entre otros, los realizados por Monson y Kessler (1940) que reportan a las especies de Opuntia formando parte de la dieta de la rata canguro y de la rata de cuello blanco; Brown, et al. (1972) muestran, a su vez, que la densidad de ratas del tipo de Neotoma lepida, en el Desierto Sonorense, está altamente correlacionada con la densidad de especies de Opuntia, y que un 80 por ciento de la variabilidad de las poblaciones del roedor puede ser -

atribuido a variaciones en la densidad de estos cactus debido a que estos proporcionan más recursos requeridos por las ratas, como alimento, fuente de agua, materiales para la construcción de madrigueras y un medio para evitar la depredación; Reynolds (1958) señala, al estudiar la ecología de la rata canguro (Dipodomys merriami) en Arizona, que las semillas de nopal constituyen una parte importante de la dieta de esta especie; Eddy (1961) cita que las pencas y frutos de nopales fueron de los alimentos preferidos por el Pecarí (Pecari tajacu) en Arizona; Short (1979) reporta, incluso, que los coyotes (Canis latrans) se alimentan de los frutos de Opuntia engelmannii, a finales de verano, en Arizona.

Sin embargo, no todos los autores reportan la importancia de las especies de Opuntia desde un punto de vista benéfico, por ejemplo, Reynolds y Bohning (1956) señalan que el incremento de Mezquite (Prosopis spp) y cactus (Opuntia spp) en el Sur de Arizona, están causando serios daños a la industria ganadera; Barrientos (1968) señala, a su vez, que estas especies han llegado a constituir un problema en Australia y Surafrica, debido a que han invadido amplias áreas, siendo bastante difícil su erradicación.

Distribución de Especies del Género Opuntia

Uno de los aspectos más importantes a considerar, cuando se trata la ecología de una especie en particular, es el relacionado con su distribución y los factores que la determinan.. Krebbs (1972) cita que esta distribución puede

ser analizada en varios niveles, desde un nivel mundial, hasta un nivel específicamente local, planteándose, en cualquiera de los casos, la siguiente interrogante: ¿Porqué los organismos de una especie particular están presentes en algún lugar y ausentes en otros?. Para contestar a esta pregunta, este mismo autor menciona que es necesario observar las diferencias existentes entre las áreas ocupadas y las no ocupadas para detectar los factores más importantes que limitan su distribución. De estos, aparentemente, los más comunes son: a) los mecanismos de dispersión de las especies; b) las interrelaciones con otros organismos; c) factores físicos y químicos, incluyendo la temperatura, humedad, luz, factores físicos y químicos de suelo y agua; y d) los mecanismos de adaptación de las especies. Algunos de estos factores tienen una mayor influencia a un nivel global, por ejemplo; la dispersión de las especies, la humedad y la temperatura; mientras que otros actúan principalmente a niveles locales, como son las características físicas y químicas del sustrato y las interrelaciones con otros organismos. Evidencias de la influencia de estos factores en la distribución de algunas especies vegetales se muestran en los trabajos realizados por Daubenmire (1956) para humedad y temperatura, y en los presentados por Wagner (1964) y Wright y Mooney (1965) para características físicas y químicas del suelo.

La cantidad de información disponible sobre estos aspectos es altamente variable, dependiendo de las especies; algunas han sido bastante estudiadas, mientras que otras, incluso, no han sido tomadas en cuenta en este tipo de

investigaciones. En el caso de las especies del género Opuntia, aún cuando se tiene cierta información sobre cada uno de los niveles considerados, ésta no es suficiente para utilizarla convenientemente en programas encaminados a un mejor aprovechamiento de este recurso, como se verá a continuación.

Desde un punto de vista global, Good (1969) menciona que el género Opuntia se encuentra distribuída en América a través del norte al sur, a partir de los 50° de latitud norte hasta la Patagonia, Argentina, donde se puede encontrar a Opuntia darwinii. Sarmiento (1973) lo reporta presentándose en el norte de Suramérica y las Islas Caribes, en condiciones de climas secos, incluyéndose tipos climáticos semiáridos y áridos, en fisonomías vegetacionales extremadamente desérticas, determinadas por factores relacionados al sustrato y no por clima específicamente. Parker (1977) señala que se encuentra presente en Florida, a lo largo de las costas secas y en la costa del Pacífico en tipos de clima seco semidesértico en México y sur de California en los Estados Unidos, formando parte de la vegetación de dunas.

En México, Mancias (1972) señala que la distribución de estas especies tiene su origen en el estado de San Luis Potosí, manifestándose en una alta densidad y abundancia de especies, siendo favorecidas en terrenos calizos que tienen una escasa elevación sobre el nivel del mar y no presentándose altas densidades bajo temperaturas muy bajas y exceso de humedad. Bravo (1978) considera que se pueden encontrar en: a) las zonas áridas del Altiplano, las cuales incluyen a las zonas áridas Chihuahuenses (Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, -

Zacatecas, Durango, Aguascalientes y San Luis Potosí), Quere-
tana e Hidalguense, y la zona árida Tamaulipeca; b) las zonas
áridas de Baja California y Sonora; c) las zonas semiáridas -
del sur y suroeste de México, en Selva baja caducifolia espi-
nosa y selva baja caducifolia inerme; d) tipos especiales de
vegetación de zonas áridas, tales como las comunidades halófi-
tas, vegetación de dunas costeras, desiertos arenosos y pasti-
zales áridos; y e) incluso en zonas de vegetación con clima
cálido y altas precipitaciones fluviales, tales como la selva
mediana o alta subcaducifolia en la vertiente del Pacífico,
donde puede encontrarse Opuntia excelsa, O. puberula y O. -
Wilcoxii.

➤ En el territorio norte centro del país, Marroquín, et
al., (1964) distinguen tres zonas nopaleras: a) la zona no-
palera Potosino Zacatecana, que incluye parte de Aguascalien-
tes, Jalisco, Durango y parte de Coahuila, con temperaturas
medias mensuales de 12 a 20 °C y con sustrato de origen ígneo;
b) la zona nopalera del noreste de México, la cual comprende
la región norte de la planicie costera nororiental, es decir,
el norte de Tamaulipas y norte y oriente de Nuevo León, la -
cual es una zona de llanuras y colinas de poca elevación con
vegetación de Mezquite - Opuntia - Pastizal, con una variación
mensual de 5 mm de precipitación, en la época seca, a 100 mm
en la época lluviosa, y temperaturas medias mensuales de 11 a
más de 30 °C y c) la zona nopalera difusa, en la cual se en-
cuentra localizada la mayor parte de las zonas nopaleras del
Estado de Coahuila, y que constituye la zona de mayor exten-
sión, aunque con menos densidad de individuos por hectárea.

Zacatecas, Durango, Aguascalientes y San Luis Potosí), Queretana e Hidalguense, y la zona árida Tamaulipeca; b) las zonas áridas de Baja California y Sonora; c) las zonas semiáridas - del sur y suroeste de México, en Selva baja caducifolia espinosa y selva baja caducifolia inerme; d) tipos especiales de vegetación de zonas áridas, tales como las comunidades halófitas, vegetación de dunas costeras, desiertos arenosos y pastizales áridos; y e) incluso en zonas de vegetación con clima cálido y altas precipitaciones fluviales, tales como la selva mediana o alta subcaducifolia en la vertiente del Pacífico, donde puede encontrarse Opuntia excelsa, O. puberula y O. Wilcoxii.

➤ En el territorio norte centro del país, Marroquín, et al., (1964) distinguen tres zonas nopaleras: a) la zona nopalera Potosino Zacatecana, que incluye parte de Aguascalientes, Jalisco, Durango y parte de Coahuila, con temperaturas medias mensuales de 12 a 20 °C y con sustrato de origen ígneo; b) la zona nopalera del noreste de México, la cual comprende la región norte de la planicie costera nororiental, es decir, el norte de Tamaulipas y norte y oriente de Nuevo León, la cual es una zona de llanuras y colinas de poca elevación con vegetación de Mezquite - Opuntia - Pastizal, con una variación mensual de 5 mm de precipitación, en la época seca, a 100 mm en la época lluviosa, y temperaturas medias mensuales de 11 a más de 30 °C y c) la zona nopalera difusa, en la cual se encuentra localizada la mayor parte de las zonas nopaleras del Estado de Coahuila, y que constituye la zona de mayor extensión, aunque con menos densidad de individuos por hectárea.

Esta última zona se extiende desde las partes calizas de San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango. Como especies importantes de esta zona - sobresalen Opuntia cantabrigiensis y O. rastrera, la primera en suelos algo profundos, mientras que la segunda en cerros y lomeríos calizos de suelo somero bien drenado. Los tipos de vegetación predominantes son el matorral desértico micrófilo y rosetófilo.

Gómez (1965) reporta, en su descripción de vegetación de zonas de clima árido o semiárido, la presencia de nopales en: a) matorral espinoso en la asociación de Larrea - Allionia, con carpetas frecuentes de zacatecas perennes de los géneros Sporobolus, Buchloe, Scleropogon, Bouteloua, Muhlenbergia, Tridens, etc.; b) matorral espinoso con espinas terminales, asociados con géneros característicos de este tipo como Condalia, Koeberlinia, Lycium, Acacia, Castela, Mimosa, Agave y Fouquieria; y c) matorral espinoso con espinas laterales, asociados con géneros tales como Prosopis, Acacia, Mimosa, - Fouquieria y Castela, entre otros.

Para el Estado de Coahuila, COTECOCA (1979) reporta la presencia del género Opuntia en la mayor parte de los tipos de vegetación que conforman el estado, excepto en tipos de - vegetación de bosque, tales como el aciculifolio, aciculiescuamifolio, latifoliado esclerófilo caducifolio y escleroaciculifolio; y en tipos de vegetación de pastizal como el amacollado arborescente, amacollado abierto y amacollado arbosufrutecente. Señala la presencia de Opuntia rastrera como especie característica de los matorrales inerme parvifolio, mediano espinoso y mediano subinerme.

En relación a los factores que limitan la distribución de estas especies desde un punto de vista local, destaca la importancia que tienen el clima y las características del suelo. CONAZA - INIF (1981) reportan que las poblaciones silvestres de nopal encuentran condiciones propicias para su desarrollo en cualquier tipo de fisiografía o topografía, desde altitudes cercanas al nivel del mar, hasta 2700 m, en suelos de origen, tanto ígneo como calcáreo, pero de textura arenosa, profundidad media, con un pH de preferencia neutro o bien ligeramente alcalino, pero nunca ácido y en climas con temperatura media anual de 23 °C y extremas de 10 a 50 °, - mínima y máxima, respectivamente. Mancias (1972) considera que la distribución de estas especies se ve favorecida en suelos calizos y de escasa elevación sobre el nivel del mar, y se restringe en áreas con temperaturas muy bajas y exceso de humedad. Bement (1968) estudiando las relaciones entre la intensidad de apacentamiento y los rendimiento de Bouteloua gracilis con las variaciones en cobertura de Opuntia polyacantha en las grandes planicies centrales de Estados Unidos, encontró que la intensidad de apacentamiento de estas áreas no tuvo efecto sobre las variaciones en cobertura de la cactácea, sino que estuvieron involucradas, principalmente, condiciones de suelo, fluctuaciones climáticas y factores asociados. Conclusiones similares fueron obtenidas por Houston (1963). Yeaton y Cody (1979) en un estudio para comparar dos comunidades de cactus similares, una correspondiente al Desierto de Sonora en Arizona, con precipitaciones de 230 mm y la otra al desierto de Mohave en California, - -

con precipitación menor de 230 mm, encontraron que algunas especies como Opuntia fulgida, O. bigelovii y O. chlorotica, estuvieron confinadas al Desierto de Sonora, debido a la utilización de porciones del gradiente ausentes en el de Mohave. Velásquez (1962) destaca también la influencia del clima y el sustrato en la distribución y abundancia de Opuntia streptacantha y O. leucotricha en la región árida de Zacatecas y San Luis Potosí, y menciona que la topografía tiene poco efecto, ya que se encuentran presentes, tanto en llanuras como pies de monte. Otra evidencia de la influencia del sustrato en la distribución de las especies del género Opuntia es mostrada por Rzedowski (1955) quien incluso muestra que algunas de ellas pueden ser utilizadas como indicadoras de tipos de suelo, por ejemplo, Opuntia stenopetala para suelos calizos y O. streptacantha, O. leucotricha y O. robusta para suelos de origen ígneo.

Además de los anteriores factores, existen otros que juegan también un papel importante en la distribución de estas especies como es la exposición de la pendiente, directamente relacionada con los niveles de radiación que reciben las plantas. Algunas evidencias de este fenómeno son mostradas por McCleary (1968) quien señala que Opuntia bigelovii muestra una preferencia decidida por las orientaciones al este que sobre las oeste.

La influencia del tipo de dispersión de la semilla en la distribución de las especies de Opuntia es mencionada por Barrientos (1968) quien además incluye otros factores, tales como la presión selectiva natural y la presencia de formas -

sexuales y asexuales de reproducción. El efecto de la presión selectiva natural es, asimismo, señalada por Ballester (1978) quien además menciona que como norma práctica a seguir: las especies provistas de pelos, espinas muy fuertes o densa y cerrada espinosidad generalmente se encuentran bajo pleno sol, mientras que por el contrario, especies con pocas espinas se localizan en áreas de cierto sombreado.

Humphrey (1958) y Reynolds y Bohning (1956), aunque de una forma generalizada, destacan también la influencia del patrón de utilización de la vegetación, incluyéndose el fuego, en la distribución de estas especies. Humphrey (1958) recalca asimismo la importancia de las interrelaciones entre las especies vegetales, fundamentalmente la competencia, y la escala de los agentes de disturbio animal, principalmente roedores. Este último factor (agentes de disturbio animal) también ha sido reportado por Loucks, Plumb-Mentjes y Rogers (1985) como un factor que limita la distribución y la abundancia de Opuntia compressa, específicamente.

A partir de lo anteriormente mencionado, se puede observar que gran parte de la información sobre la distribución de estas especies y los factores que la determinan son generalizaciones hechas a partir de trabajos aislados, algunos no específicos sobre este tema, o bien, a partir de los registros de colectas o estudios florísticos más generales, lo cual hace evidente la necesidad de obtener información más específica, sobre todo relacionada a especies potencialmente útiles para el humano.

Variabilidad Morfológica

Uno de los aspectos importantes a considerar en este trabajo es el relacionado con el extenso polimorfismo que caracteriza a las especies de este género. Maddams (1972) alude a este problema, mencionando que en las cactaceas es particularmente importante, debido, por un lado, a que esas plantas muestran una marcada plasticidad de características y, por el otro, a que muchos investigadores que han trabajado en ellas no han estado conscientes de ese hecho. En general, - este autor considera que la plasticidad morfológica de estas especies está determinada por dos grupos de factores, uno relacionado directamente con la genética de los individuos, por su particular combinación de genes, y el otro con el ambiente en el cual desarrollan estas plantas. Señala, a este respecto, que la influencia de la intensidad de la luz, temperatura mínima y máxima, pH del suelo y la ausencia o presencia de - elementos traza pueden ocasionar una variación considerable - en las características de las plantas. Este último tipo de - variabilidad es conocido como variación fenotípica y en algunas especies es fundamentalmente importante. Sin embargo, - considera que en realidad la variabilidad morfológica es debida a una combinación de variaciones genéticas y fenotípicas, existiendo poca duda de este hecho en algunas especies del género Mamillaria.

No obstante lo anterior, el enfoque del problema no - es suficientemente simple, debido a que es difícil evaluar - la contribución de los dos tipos de variación al total, y es

difícil, asimismo, definir cómo tratar taxonómicamente este problema. No es posible decidir si la variación encontrada en colonias de una especie en diferentes localidades, justifica considerarlas como especies diferentes. Maddams (1972) señala que la variación fenotípica y genotípica ocurre en muchos géneros de cactaceas y es, por lo tanto, necesaria más información para dividir la variabilidad total en esas dos categorías, e igualmente para poder evaluar su significancia ecológica.

Entre las variaciones genéticas, uno de los factores que posiblemente determinen en mayor medida las variaciones morfológicas encontradas en plantas de Nopal, presumiblemente de la misma especie, es la hibridación, y de la cual existen algunas evidencias. Grant y Grant (1971) encontraron - que las especies de Opuntia spinosior y O. versicolor hibridan naturalmente en Arizona para producir híbridos o poblaciones retrogresivas segregantes y con un alto grado de variabilidad individual. Sin embargo, mencionan que estos híbridos no pueden mostrar variaciones cuando se reproducen clonalmente. McLeod (1974) menciona que la serie Opuntiae en Arizona consiste de tres complejos, uno formado por Opuntia compressa, y los dos restantes formados por O. violacea y O. phaeacantha, respectivamente. Menciona que el complejo de O. phaeacantha fue formado vía hibridación entre los miembros de los otros complejos. Posteriormente Grant y Grant (1979a) en un análisis del número de cromosomas de algunas de las especies del grupo phaeacantha en Texas, reportan la presencia - de poblaciones con diferentes grados de ploidía dentro de -

una misma especie o subespecie. Las especies que se incluyeron en el estudio fueron: Opuntia lindheimeri, O. discata, O. phaeacantha y O. edwardsii. Los resultados indicaron que muchas de las especies tuvieron poblaciones tetraploides ($2n=44$) o hexaploides ($2n=66$) y que O. lindheimeri generalmente poliploide, presentó formas diploides ($2n=22$). Estos mismos autores, mencionan que el descubrimiento de esa amplia poliploidía ayuda a explicar la facilidad de hibridación natural entre las especies o semiespecies y las diferencias morfológicas entre razas locales o geográficas de una misma especie.

Otros resultados obtenidos por Grant y Grant (1979b) que avalan la hipótesis de que existe variación genética entre los caracteres que forman una planta, son los coeficientes de correlación obtenidos al comparar cinco caracteres morfológicos por pares en plantas seleccionadas de poblaciones segregantes de Opuntia edwardsii y O. phaeacantha, los cuales se muestran en el Cuadro 2.1.

CUADRO 2.1. Coeficientes de correlación para 5 caracteres segregantes en la fracción Opuntia edwardsii - O. phaeacantha.

Caracteres	EDW - PHAEA	Híbridos
	r	Prob
Hábito de crecimiento - forma de penca	.364	menor 0.05
Hábito de crecimiento - color de espinas	.680	0.01
Hábito de crecimiento - longitud de espinas	.355	0.05
Hábito de crecimiento - distribución de espinas	.506	0.01
Forma de penca - color de espinas	.494	0.01
Forma de penca - longitud de espinas	.262	
Forma de penca - distribución de espinas	.243	
Color de espinas - longitud de espinas	.465	0.01
Color de espinas - distribución de espinas	.512	0.01
Longitud de espinas - distribución de espinas	.436	0.01
NOTA: EDW - <u>Opuntia edwardsii</u> PHAEA - <u>Opuntia phaeacantha</u>		

En el Cuadro 2.1 puede observarse que se obtuvieron coeficientes de correlación positivos y significativos en la mayoría de las comparaciones, sin embargo, cuando se eliminaron las observaciones correspondientes a los tipos parentales, analizándose únicamente las observaciones correspondientes a los híbridos, se obtuvo únicamente una correlación significativa ($P < 0.01$) correspondiente a la comparación entre hábito de crecimiento con el color de las espinas ($r = -.63$). Asimismo, al estar comparando pares de características registradas en una población introgresiva de O. lindheimeri, resultante de retrocruzamientos naturales de esta especie con los híbridos de O. edwardsii x O. phaeacantha, encontraron valores de correlación positivos y altamente significativos entre altura de la planta y longitud de penca ($r = .707$), longitud de penca y el radio de la longitud de penca entre peso de la penca ($r = .762$), entre largo de la penca y orientación de las espinas ($r = .644$), entre orientación de las espinas y color de las espinas ($r = .658$). La última evidencia de hibridación de estas especies es reportada por Grant y Grant (1982) al demostrar que pueden presentarse casos de pentaploides a partir de las combinaciones en todas direcciones de especies hexaploides y tetraploides de Opuntia lindheimeri, O. phaeacantha y la especie diploide O. edwardsii, los cuales pueden ser sumados a los pocos casos registrados de ocurrencia natural en angiospermas.

En el caso de las variaciones fenotípicas (influenciadas por el medio ambiente), aún cuando no se presentan evidencias experimentales concluyentes, han sido mencionadas -

entre otros autores por Kearney y Peebles (1973) quienes - consideran que el medio ambiente altera significativamente las características taxonómicas de diagnóstico de los nopales. Una situación similar se presenta en relación al efecto combinado de las dos categorías de variaciones (genéticas y fenotípicas), ya que la única evidencia disponible es la aseveración de Grant y Grant (1979a) quienes consideran con bastante lógica que, si bien está clara la ocurrencia de la hibridación en el grupo de especies bajo estudio, la presencia o ausencia de estos en una área determinada parece ser controlada por las oportunidades ecológicas del híbrido para desarrollar en ellas y que la abundancia de diferentes especies en un orden de dominancia afecta la naturaleza de la población híbrida.

Algunos otros autores, tales como Mauseth y Halperin (1973) y Schroeder (1975) citan además otro tipo de variaciones morfológicas, las cuales pueden ser explicadas satisfactoriamente con bases fisiológicas. Sin embargo, no se entrará en detalle debido a que este tipo de variaciones no han sido consideradas en el presente trabajo.

Es evidente, a partir de la información presentada, que la variabilidad morfológica de estas especies constituye un reto digno de ser tomado en cuenta por los investigadores que tratan de elevar la productividad de las zonas áridas y semiáridas, en las que los Nopales revisten fundamental importancia.

Valor Nutritivo

La calidad nutritiva de los forrajes en general es - el resultado de la combinación de diferentes factores, cada uno de los cuales presenta una mayor o menor influencia, dependiendo de la especie de que se trate y de las condiciones específicas de los sitios en los que desarrollan las plantas. Algunos autores mencionan que el valor nutritivo está determinado principalmente por aspectos genéticos relacionados - tanto a las diferentes especies (Demolón, 1972; Snaydon, - 1981) como al biotipo o variedad dentro de cada uno (Demolón, 1972; Beddows, 1967).

Al considerar las variaciones encontradas dentro de una misma especie, biotipo o variedad en particular, algunos las atribuyen fundamentalmente al estado de madurez de la - planta, estación del año y a la intensidad de utilización - (Cook, 1972; Short, Blair y Burkart, 1972; Morrison, 1977). Sin embargo, al considerar el efecto del clima y principalmente de los factores asociados al suelo (físicos y químicos) sobre la composición química de los forrajes, a la fecha los resultados y opiniones son altamente conflictivos. Algunos trabajos reportan este tipo de interacciones en algunas especies, mientras que en otras, o bien son menos marcadas o incluso no se presenta. Entre otros, los que mencionan e incluso muestran evidencias de la relación del clima con la calidad forrajera de las plantas son: Short, Blair y Burkart - (1972) y Demolón (1972). Asimismo, sobre la influencia de - los factores físicos y químicos del suelo, se pueden encontrar

resultados de estas interacciones, sobre algunas especies vegetales, en los trabajos presentados por Russell (1961); - Sims, Lovel y Hervey (1971); Cook (1972); Welch (1978); Chorney, Wallace y Rommey (1978); Sturges y Trlica (1978) y Barrett (1979), entre otros.

En Nopal, las diferencias bromatológicas entre especies han sido mencionadas por Palomo (1963) quien presenta la composición en porciento de diferentes especies, las cuales se resumen en el Cuadro 2.2.

CUADRO 2.2. Composición bromatológica en porciento de diferentes especies de Nopales, sobre una base de peso seco.

Especie	Ceniza	Proteína	Grasa	Fibra Cruda
<u>O. crysacantha</u>	20.65	3.57	1.10	4.30
<u>O. lucens</u>	30.44	3.67	0.57	2.62
<u>O. tenuispina</u>	29.81	4.42	1.09	5.12
<u>O. rastrera</u>	40.13	2.81	0.79	6.15
<u>O. azurea</u>	30.13	3.79	1.05	3.68
<u>O. cantabrigiensis</u>	31.64	3.79	1.05	3.68
<u>O. engelmannii</u>	31.64	3.43	1.05	3.68
<u>O. engelmannii</u>	31.64	3.43	1.05	3.68

CONAZA - INIF (1981) muestran, asimismo, los contenidos de proteína en por ciento de diferentes especies y variedades de Nopal, reportados por diferentes autores. En este trabajo se observa que los contenidos más altos de estos elementos se presentan en Opuntia megacantha (7.71 por ciento) y los más bajos en Opuntia rastrera (2.78 por ciento). Los correspondientes a esta última especie son muy similares a los reportados por Palomo (1963). En el caso de Opuntia ficus indica, los contenidos varían entre 3.11 y 6.88 por ciento entre las diferentes variedades, lo cual es una evidencia clara

de la influencia de factores genéticos sobre estos aspectos.

Villarreal, et al. (1963) presentan, a su vez, las diferencias en contenidos de celulosa en pencas de seis especies de Nopal, los cuales varían de 18.57 a 81.88 por ciento sobre base seca, en Opuntia streptacantha y O. ficus indica respectivamente.

Por otro lado, Bazan (1968) señala que los análisis de la composición química del Nopal indican resultados muy variables de acuerdo a la edad de la penca, la época del año y las lluvias más o menos recientes. En relación a la edad de la penca, Martínez (1980) presenta los resultados del análisis bromatológico en pencas de Opuntia cantabrigiensis y O. engelmannii, considerando diferentes edades. Estos resultados se presentan en los Cuadros 2.3 y 2.4.

CUADRO 2.3. Análisis bromatológico de pencas de diferentes edades en Opuntia cantabrigiensis.

Componente	Tallo suberificado	Cladodio maduro	Renuevo
Materia seca	27.40	23.10	10.00
Energía Kcal/gr	2.76	2.22	3.10
Proteína	1.39	2.28	4.44
Grasa	4.42	2.06	6.40
Fibra cruda	22.96	17.08	11.04
E.L.N.	57.07	42.32	61.42

CUADRO 2.4. Análisis bromatológico de pencas de diferentes edades en Opuntia engelmannii.

Componente	Tallo suberificado	Cladodio maduro	Renuevo
Materia seca	32.07	19.18	13.67
Energía Kcal/gr	2.07	2.48	2.78
Proteína	1.77	3.00	3.52
Grasa	3.77	3.03	3.90
Fibra cruda	19.50		
E.L.N.	44.46	61.70	62.48

En ambos casos se observa que el contenido de proteína tiende a disminuir conforme se incrementa la edad de las pencas, mientras que la fibra se comporta en forma contraria, es decir, tiende a incrementarse conforme la edad de la peca es mayor.

La relación que se presenta entre el contenido químico de las plantas de Nopal y la humedad presente ha sido señalada por Barrientos (1968) quien cita que algunos autores - presentan datos de contenidos de carbohidratos de Opuntia - phaeacantha desarrollados en lugares secos y húmedos, observándose un aumento de azúcares totales de casi el doble en las condiciones secas.

Además de los factores anteriormente mencionados, algunos autores mencionan que los nutrientes digestibles del Nopal varían, asimismo, en relación a los factores ambientales a que están expuestos, incluyéndose en este caso el efecto de la radiación solar y las características asociadas con el suelo. Para ilustrar el efecto de la radiación solar se

puede citar el trabajo realizado por Becerra (1975) quien - encontró que, cuando los cladodios se orientaban de norte a sur, acumulaban más calor durante el día y que este comportamiento evidenciaba que estos realizan una mayor captación de luz solar directa que los orientados de este a oeste. Los cladodios orientados norte sur produjeron mayor número de - frutos, los cuales tuvieron un mayor contenido de ácidos solubles, además de una mayor acumulación de materia seca. Por otro lado, aún cuando algunos autores lo mencionan, el efecto del suelo sobre la composición de estas plantas no ha sido aún avalado por resultados concluyentes. Hasta la fecha, la única evidencia disponible es presentada por Bazan (1968) al mencionar que aún cuando el análisis cualitativo de minerales en el Nopal forrajero registró la presencia de importantes elementos como Fe, Zn, Ca y Mg; en algunas muestras de - variedades provenientes de otras localidades no se detectó - la presencia de Zn como en las otras, por lo que se inclina a creer que existan deficiencias de este elemento en el suelo donde se cultivaron estas variedades.

Si realmente se presentaran interrelaciones entre - las características físico - químicas de los suelos y la calidad forrajera de las especies de este género y si estas pudiesen ser identificadas, representaría un avance considerable en las necesidades de información requerida para la explotación racional de este recurso.

Métodos Estadísticos Multivariados

En muchos trabajos de investigación en los cuales se involucra el registro sistemático de observaciones o "individuos" sobre un amplio número de variables, se tienen generalmente dos objetivos: el primero de ellos le corresponde estudiar la cercanía entre individuos u observaciones para, eventualmente, clasificarlos y agruparlos en clases de "individuos cercanos" y el segundo, precisar la forma de las relaciones entre variables, determinando aquellas para las que existe una relación de causa a efecto.

Guevara (1983) considera que normalmente la primera aproximación al logro de estos objetivos, consiste en estudiar la matriz de correlaciones, sin embargo, para poder darle alguna significancia a los coeficientes de correlación, hay que estudiar simultáneamente los

$$\frac{P(p-1)}{2}$$

gráficos respectivos, teniendo además la limitación de solo poder estudiar las variables dos a dos. Otra aproximación sería mediante el análisis de regresión o correlación múltiple, sin embargo, en muchos de los casos puede ocurrir que algunas de las variables que pudiesen ser utilizadas como independientes, están íntimamente correlacionadas entre sí, no pudiéndose cumplir los requisitos de ortogonalidad entre ellas y dificultando, por lo tanto, la interpretación de este tipo de procedimientos (Isebrands y Crow, 1975).

A partir de esas consideraciones, se han generado una serie de procedimientos estadísticos multivariados que permiten que este tipo de información sea más manejable. Diferentes autores mencionan diferentes métodos; por ejemplo, Anderson (1958) cita entre otros el Análisis de Componentes Principales y las Correlaciones Canónicas; Dagnelie (1971) incluye además el Análisis Factorial, e incluso, Stroup y Stubbendieck (1983) mencionan el Análisis de Varianza Multivariado, el cual puede usarse cuando los registros han sido obtenidos bajo un diseño experimental previamente establecido.

De los anteriores procedimientos, uno de los más utilizados, tanto en investigaciones ecológicas como agronómicas, es el Análisis de Componentes Principales, el cual, según Anderson (1958) son combinaciones lineales de variable estadísticas o aleatorias, las cuales tienen especiales propiedades en términos de varianzas, que puede ser usado para reducir el número de variables a ser tratadas, descartando las combinaciones lineales que tengan varianzas pequeñas, estudiando únicamente aquellas con grandes varianzas.

Gnánadesikan (1977) señala que la idea básica del análisis de Componentes Principales es describir la dispersión de un arreglo de n puntos en un espacio p dimensional, mediante la introducción de una nueva serie de coordenadas lineales y ortogonales, de tal forma que las varianzas de los puntos dados con respecto a esas coordenadas, están en un orden decreciente de magnitud. Ciertamente, el primer componente principal es tal que las proyecciones de los puntos dados tengan máxima varianza entre todas las posibles coordenadas lineales;

el segundo componente tiene a su vez máxima varianza, pero sujeta al requisito de ortogonalidad con respecto al primero; y así sucesivamente.

Broschat (1979) considera que el procedimiento involucra primeramente al cálculo de una matriz simétrica de correlaciones, aunque Gnanadesikan (1977) indica que puede utilizarse igualmente una matriz de dispersión (varianza y covarianza), entre todos los pares de variables. En base a esa matriz, las variables son transformadas en componentes principales, los cuales son, como se mencionó anteriormente, combinaciones lineales de variables estandarizadas y constituyen nuevas variables ortogonales entre sí. Para definir esas variables, a partir de la matriz simétrica de correlaciones o de varianzas - covarianzas, se calculan los valores propios (también llamados Eigenvalores) y los vectores propios o eigenvectores asociados a cada eigenvalor. Cada eigenvalor indica la proporción de la información (varianzas) explicada por cada uno de los componentes generados. Guevara (1983) señala que cuando un conjunto de datos contiene variables correladas, ocurre, generalmente, que con pocas variables "hipotéticas" o Componentes principales de varianzas maximales se explica la mayor parte de la información y esto se traduce en una gran simplicidad para el análisis de los datos. Por otro lado, sobre los vectores asociados a cada eigenvalor, los valores o "pesos" correspondientes a cada una de las variables indican la contribución relativa de esas variables sobre cada uno de los componentes así generados. Comunmente se considera que las variables que tengan las más altas cargas o pesos positivos -

sobre un componente, están positivamente correlacionadas entre sí, y las que presenten pesos negativos se consideran negativamente correlacionadas con las positivas y positivamente entre sí.

Para ilustrar este procedimiento, Poole (1974) presenta un ejemplo en el cual se consideran únicamente dos variables y cuyo desarrollo es el siguiente:

Supongase que la matriz de dispersión (varianzas y covarianzas) entre las observaciones de dos variables sea:

$$S = \begin{bmatrix} 17.903 & -19.959 \\ -19.959 & 23.397 \end{bmatrix}$$

Las raíces latentes (eigenvalores) de la matriz S ; λ_1 y λ_2 , son calculados a partir de la ecuación $[S - \lambda I] = 0$, ahora bien:

$$[S - \lambda I] = \begin{bmatrix} 17.903 - \lambda & -19.959 \\ -19.959 & 23.397 - \lambda \end{bmatrix}$$

y por lo tanto, la ecuación característica de S es:

$$\lambda^2 - 41.3 \lambda + 20.5148$$

que al ser igualada a cero tiene las raíces: $\lambda_1 = 40.979$ y $\lambda_2 = .503$, las cuales corresponden precisamente a los valores propios (eigenvalores) de los dos componentes principales. Nótese cómo la transformación toma dos variables de casi igual varianza y las convierte en dos variables matemáticas, la primera explica casi el 99 por ciento de la varianza total de las dos variables (en este caso, la varianza total

corresponde a $17.903 + 23.397 = 41.3$). La proporción de la varianza explicada por cada componente equivale a la proporción entre cada eigenvalor y la varianza total.

Si se denota como A a la matriz de eigenvectores

$$A = [A_1, A_2]$$

donde:

$$A_k = \begin{bmatrix} A_{k1} \\ A_{k2} \end{bmatrix}$$

El k -ésimo eigenvector, A_k , es el vector de soluciones a la ecuación homogénea $(S - \lambda_i I) A_k = 0$

El procedimiento para encontrar el vector de soluciones puede ser revisado en cualquier texto de álgebra de matrices.

En este ejemplo:

$$A = \begin{bmatrix} .6571 & .7538 \\ -.7538 & .6571 \end{bmatrix}$$

observe que podemos escribir S como:

$$S = \lambda_1 A_1 A_1' + \lambda_2 A_2 A_2'$$

y por lo tanto:

$$S = \begin{bmatrix} 17.615 & -20.207 \\ -20.207 & 23.181 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} .2858 & .2491 \\ .2491 & .21708 \end{bmatrix}$$

Nótese como la mayor parte de la información de S está representada por $[\lambda_1 A_1 A_1']$ y la baja contribución de $[\lambda_2 A_2 A_2']$, lo cual evidencía que para fines prácticos, el segundo componente puede ser ignorado. Puede observarse, asimismo en A , que la suma del cuadrado de los valores en cada eigenvector es igual a 1, ya que el método debe satisfacer la relación $AA' = I$.

El resumen de este análisis se puede presentar como:

Variable	CP ₁	CP ₂
1	.6571	.7538
2	-.7538	.6571
% de la varianza	98.8	1.2
% acumulado	98.8	100.0
Eigenvalor	40.797	503

Cuando se analiza un número determinado de variables con este tipo de procedimientos, pueden generarse tantos componentes como variables se tengan, sin embargo, no todos se analizan, debido a que, como se mencionó anteriormente, posiblemente con unos cuantos componentes se explique la mayor parte de la información de la matriz original. Guevara (1983) señala que la decisión de cuantos componentes analizar es generalmente difícil de hacer, pues no son claros los criterios a seguir para calcular un vector propio más o para desechar alguno. Aunque así sea, para hacer la selección, se debe estudiar el comportamiento de los valores propios y del porcentaje de varianza ("inercia") absorbido por cada uno. En este caso, un alto descenso de estos valores indicará (si la inercia global es "buena") que no vale la pena calcular más, pero, siempre será el contexto el que determine esto.

Isebrands y Crow (1975) señala que el último paso de este tipo de análisis involucra la interpretación de los componentes derivados. Para lo cual, primero debe tomarse la decisión de qué número de componentes considerar, en este caso señala que, únicamente aquellos que tengan significancia biológica. Mencionan que, aunque existen varios criterios de

ayuda en esta decisión, la eliminación de aquellos vectores que no reúnan las características puede ser hecha por convicción. Es evidente que se involucra cierta subjetividad en el proceso, pero esta subjetividad es inherente a cierto tipo de problemas estadísticos. El siguiente paso del proceso de interpretación es el análisis de los componentes que han sido considerados como significativos, sin embargo, debe tenerse precaución de que aún permanece la interrogante de si pueden derivarse interpretaciones biológicas a partir de ese proceso matemático. //

Los usos en los cuales ha resultado satisfactorio este análisis son muy variados. Algunos autores lo han usado como una técnica adecuada de ordenación ecológica para el estudio de las relaciones entre la vegetación y el medio ambiente (Austin, 1968; Berkham y Norris, 1970; Walker y Wehrhahn, 1971; Dye y Walker, 1980; etc.). Otros lo han aplicado en investigaciones agronómicas, para la evaluación de la calidad de los frutos o cosechas de productos hortícolas (Broschat, 1979) o para seleccionar líneas y variedades de especies introducidas (Farías, Thomas y Quiroga, 1981). Guevara (1983) lo reporta como la técnica de análisis utilizada para la caracterización de fincas agrícolas en base a datos de rendimiento, utilización de insumos, mano de obra, costos e ingresos.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Area General

El presente trabajo se realizó en la zona conocida como Sierra de la Paila, en la porción sureste del Estado de Coahuila, correspondiente a la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y a la subprovincia de la Sierra de la Paila (SPP, 1979). En general, esta área presenta las siguientes características:

Ubicación

Se encuentra localizada en su mayor extensión en el Municipio de Ramos Arizpe y una pequeña porción sur en el de General Cepeda, encuadrándose dentro de los $25^{\circ} 43'$ y $26^{\circ} 12'$ de latitud norte y los $101^{\circ} 23'$ y $101^{\circ} 49'$ de longitud oeste (Figura 3.1). Las altitudes, registradas con barómetro aneroide, no muestran amplia variación y la diferencia máxima entre las llanuras y serranías es de 1100 m, aproximadamente. Los declives, por otra parte, son más bien suaves con excepción del Cañón de Loma Prieta, el cual presenta relieves casi verticales y notablemente escarpados en la mayor parte de su curso (Cano y Marroquín, 1967).

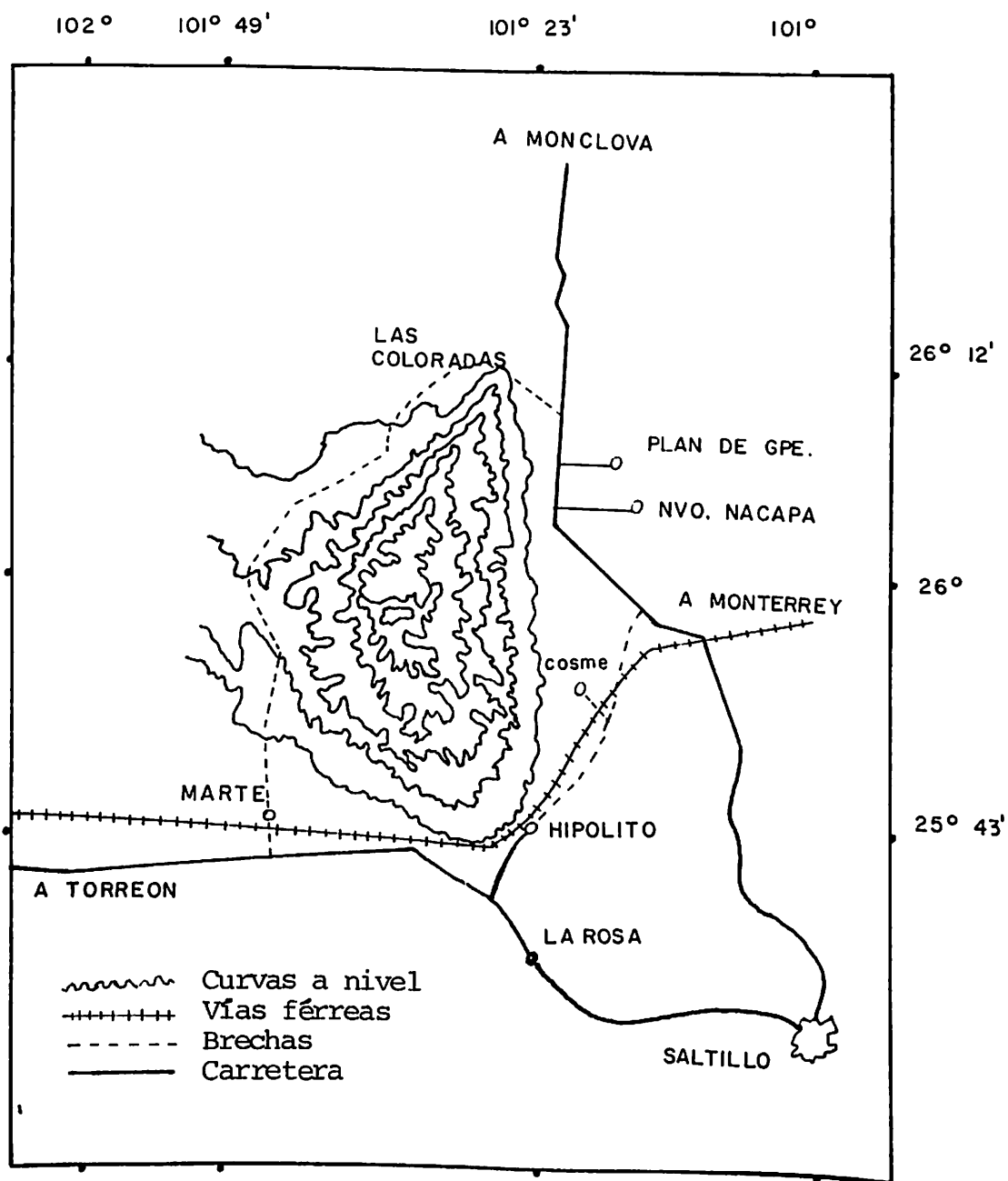


FIGURA 3.1. Croquis de la zona de estudio que ilustra las principales vías de acceso a la misma: Carretera, Brechas y Vías Férreas.

Geología

Cano y Marroquin (1967) consideran que la Sierra de La Paila es una estructura dómica y ligeramente asimétrica, que desde un punto de vista geomorfológico se considera como una sola unidad. Señalan, asimismo, que su drenaje es de tipo arborescente y de arroyos subsecuentes y que la erosión ha modelado cañones de longitudes variables y cuya anchura promedio es de 100 m. La forma general, aproximada, es la de un paralelogramo, cuyo eje principal o longitud en dirección N-S es de 60 km y su máxima anchura, localizada en el centro de la unidad, alcanza 35 km, por lo que su superficie aproximada es de 1700 km^2 . La cima de mayor altitud se encuentra a 2360 m, cerca del centro de la estructura.

El territorio en el cual se enclava esta zona corresponde a, lo que se piensa fuera, una península de Coahuila sobre un mar del período Jurásico. Los suelos son de origen sedimentario marino con abundancia de calizas, formados posiblemente en el Cretácico del Mesozoico (SPP, 1979).

Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen, se puede decir que los climas de la región pertenecen al grupo de los secos (tipo BS) y a los muy secos (Tipo BW). La SPP (1979) reporta principalmente los siguientes:

- a) Bso hw(x'). Clima seco muy cálido con lluvias en verano y escasas todo el año, con más del 10.2 por ciento de precipitación invernal. Se

localiza en la periferia de la Sierra, en las áreas correspondientes a los Pie de Monte.

- b) $BS_1 kw(x')$. Clima semiseco templado, con lluvias en verano y más del 10.2 por ciento de precipitación invernal y veranos cálidos. Presente en las partes más altas de la Sierra.
- c) $BW hx(x')$. Clima muy seco semicálido, con lluvias en verano, más del 10.2 por ciento de precipitación invernal e invierno fresco. En las llanuras circundantes a la Sierra, por el sur y sureste.
- d) $BW hx'$. Clima muy seco semicálido, con lluvias escasas todo el año, y más de 18 por ciento de precipitación invernal. Se presenta sobre todo en las llanuras al este de la Sierra.

Cano y Marroquín (1967) señalan que, en términos generales, se puede afirmar que las precipitaciones en la Sierra de la Paila no se suceden con una periodicidad definida, sino que son esporádicas y en cantidades variables, de tal manera que se alternan meses de escasa o abundante precipitación con períodos breves o prolongados de intensa sequía. Las características termopluviométricas se presentan en el climograma elaborado en base a información de las estaciones meteorológicas de Saltillo y Ramos Arizpe (Figura 3.2), el cual evidencia que la humedad insuficiente en estos sitios (promedio entre 350 y 450 mm) viene a ser el principal factor limitante en el desarrollo y distribución de las formas vivientes. La evaporación es mayor que la precipitación.

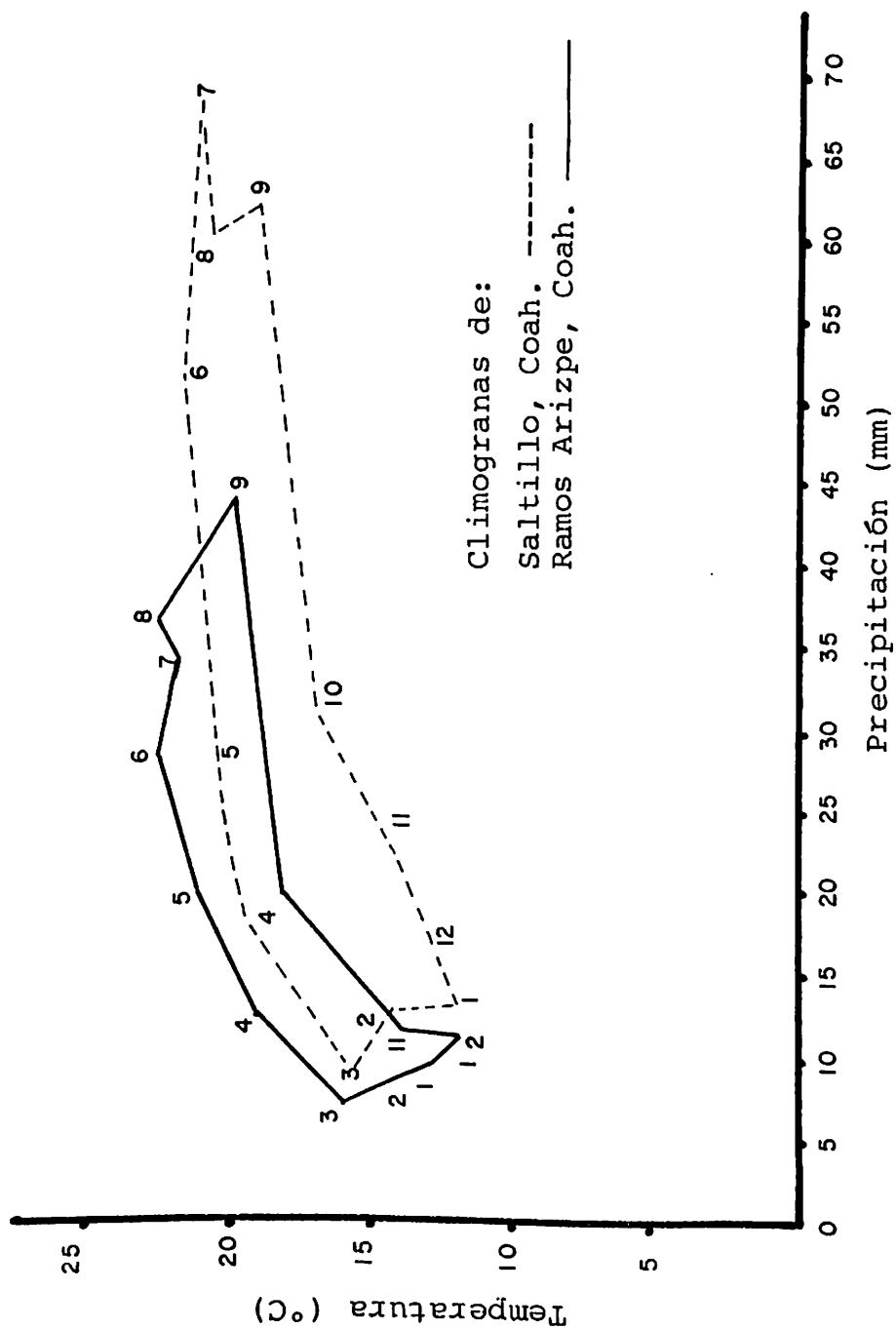


FIGURA 3.2. Polígonos que muestran la filiación climática aproximada de la Sierra de La Paila, Coah., en base a precipitación mensual y temperatura media mensual de dos localidades: Saltillo y Ramos Arizpe, Coah. (tomado de Cano y Marroquín, 1967).

Suelo

La naturaleza y distribución de los suelos de esta - región, al igual que en otras de la entidad, dependen por un lado del clima y por el otro de la morfología general de los terrenos. En la parte superior de la Sierra, por arriba de los 1600 m de altitud, los suelos son arcillosos y ricos en materia orgánica, de color pardo oscuro o negro, clasificados como Litosoles y Rendzinas. Estos últimos no sobrepasan los 30 cm de profundidad y descansan sobre calizas, son fértiles y en ocasiones calcáreos. En los llanos altos y valles intermontanos se pueden encontrar suelos más profundos, clasificados como Xerosoles, encontrándose además suelos de origen aluvial ricos en materia orgánica, como los Castañozem y Feozem. En las bajadas que rodean a la Sierra predominan suelos gravosos o que sobreyacen a caliche, entre los que dominan - los Xerosoles háplicos de color claro y textura media, y los regosoles calcáricos, muy similares a los anteriores, pero - sin desarrollo de estructura en el horizonte B. En zonas más estables, el pie de las bajadas, existen suelos del tipo Xerosol cálcico, con una capa enriquecida de carbonatos (SPP, 1979).

Cano y Marroquín (1967) consideran, que puesto que la roca madre es casi enteramente de naturaleza calcárea, el sustrato ocupado por las plantas es casi uniforme en cuanto a - constitución química, sin embargo, señalan que no ocurre lo - mismo en relación a otros factores. Reportan que la profundidad de los suelos es variable, encontrándose en llanuras suelos profundos y someros en la serranía; el porcentaje de

saturación se mantiene entre 30 y 40 en las planicies y asciende hasta 73 en los valles de la serranía; la materia orgánica fluctúa entre 1.3 y 6.34 por ciento según mediciones hechas en las llanuras y serranía, respectivamente; la textura de los suelos es variable, encontrándose en las laderas - abundancia de gravas y afloración de rocas voluminosas, el pH no se aparta mucho del punto neutro, aunque en ciertas áreas es claramente alcalino, según se deduce, por encontrarse en ellas asociaciones más o menos grandes de Sporobolus airoides.

Vegetación

Cano y Marroquín (1967) y SPP (1979) coinciden al afirmar que dentro de la Sierra se pueden distinguir claramente cuatro tipos de vegetación bien definidos, los cuales de la periferia al anticlinal, son los siguientes: matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, chaparral, y bosque de pino - enebro; aunque Cano y Marroquín (1967) incluyen además pastizales, casi en el centro del anticlinal, y SPP (1979) cita además al matorral submontano (Figura 3.3)

Metodología de Muestreo

Sitios de Muestreo

En el desarrollo del trabajo, a partir del 19 de Abril, hasta el 25 de Julio de 1986, se muestrearon un total de 27 -

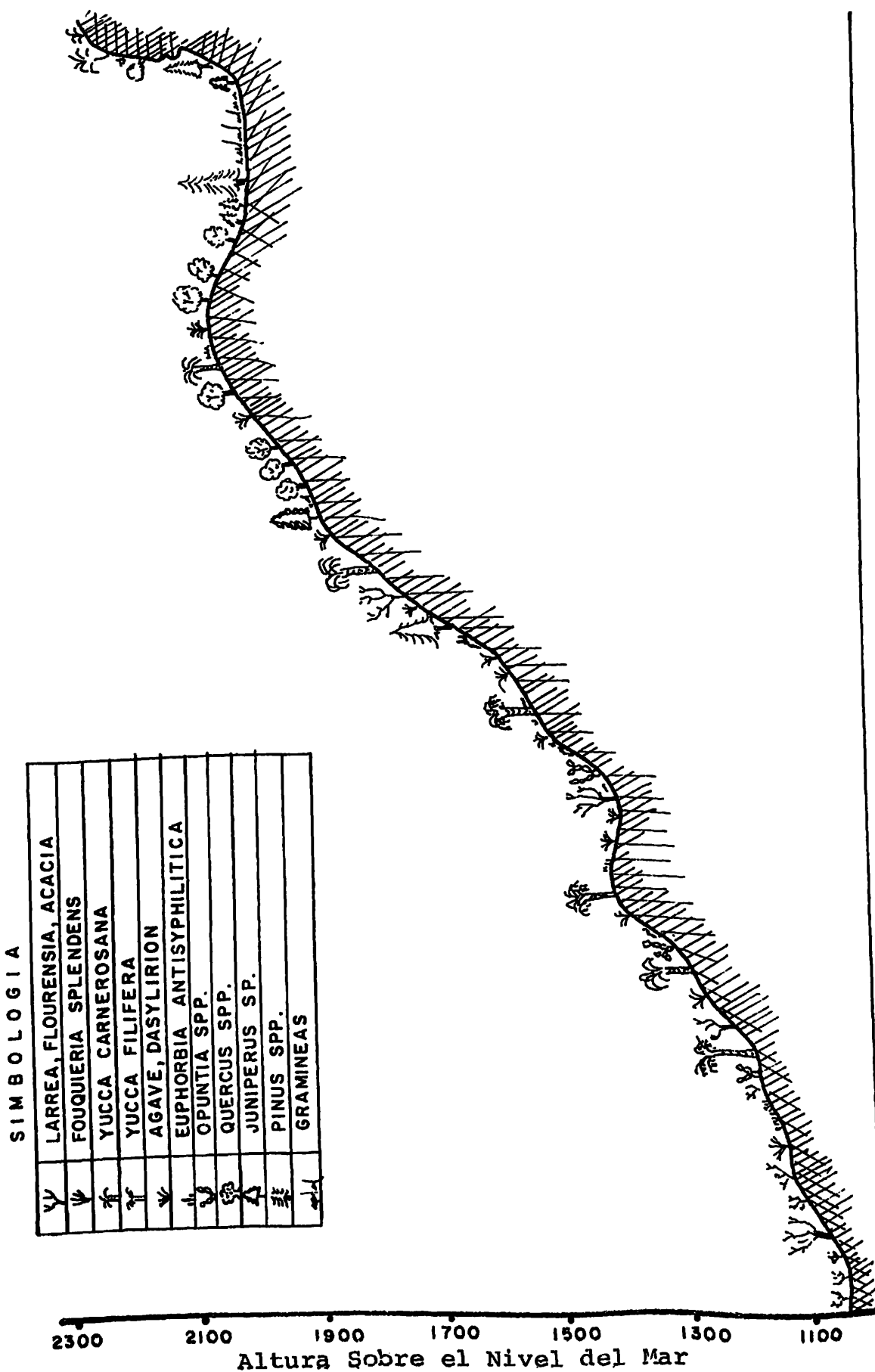


FIGURA 3.3. Perfil de vegetación en la Sierra de La Paila, Coah (corte transversal).
Representa cinco tipos de vegetación bien definidos (Cano y Marroquín, 1967).

sitios sobre cuatro transectos ascendentes; además de dos -
sitios adicionales; uno frente a la prominencia denominada -
Loma Prieta y el otro en el Valle de San Marcos, frente al -
Rancho El Papalote en Las Coloradas (Figura 3.4).

- I. Transecto La Saucedá. Este, inicia en el Este de la Sierra con un muestreo en la llanura, en el Ejido Cosme, a 1060 msnm, y se extiende hasta los 1550 m frente a Corazón del Toro (nueve sitios).
- II. Transecto Nuevo Yucatán. Por el Oeste de la Sierra se inicia nuevamente con un muestreo en la llanura, aproximadamente a 1 km antes de Nuevo Yucatán por el camino de Marte a las Coloradas, a 1370 msnm, extendiéndose hasta la localidad denominada Cuesta de Parreños a 1800 msnm (seis sitios).
- III. Transecto Valle de la Nopalera. El primer muestreo se realiza en la ladera baja de la Sierra, frente a Hipólito, a 1250 msnm y continúa hasta el Valle de La Nopalera a 1560 msnm (siete sitios).
- IV. Transecto Las Palomas. Se inicia también al Este de la Sierra con un muestreo en la llanura a 1148 msnm continuando hasta la localidad del Cedral, a través del Cañón que forma el arroyo El Carmen. La máxima elevación que se alcanzó en este transecto fue de 1650 m (cinco sitios).

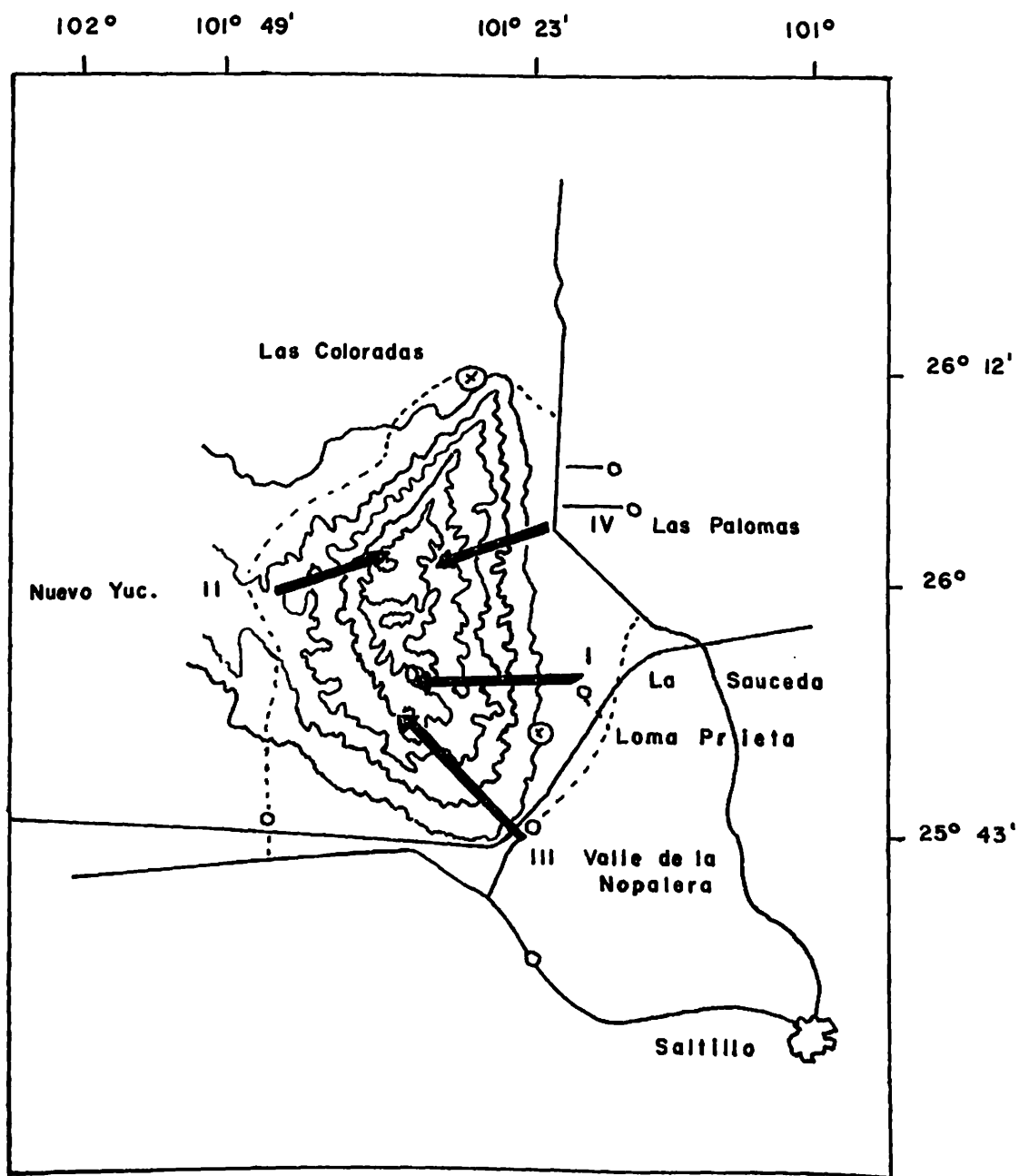


FIGURA 3.4. Localización aproximada de los cuatro transectos de muestreo. Se incluyen los dos sitios adicionales.

Muestreo de Densidad Total y por Especie de Nopal

Mediante la utilización de 50 cuadrantes contiguos de 2 x 2 m (4 m²), en cada sitio se estimó, primeramente, la densidad total de plantas de nopal por hectárea, excluyéndose en esta determinación el Nopal "cegador" (Opuntia microdasys) - (Lehmann) Pfeiffer) y a las especies de Opuntia de tallos cilíndricos (Opuntia leptocaulis De Candolle y Opuntia imbricata (Haworth) De Candolle), debido a que no son especies reportadas de importancia forrajera. Posteriormente se estimó la abundancia relativa de cada una de las especies encontradas - en cada sitio, utilizándose para tal efecto una escala variable de 0 a 100 por ciento. Ciertamente, cuando en algún sitio se presentó una sola especie, independiente de la densidad total registrada, se le asignó un valor de abundancia relativa de 100 por ciento, y así sucesivamente. Finalmente se estimó la densidad de individuos de cada especie en cada sitio, utilizando la siguiente relación:

$$Dsp = \frac{DT \times ARsp}{100}$$

Dónde:

Dsp = Es la densidad de cada especie en cada sitio

DT = Es la densidad total de plantas de nopal en cada sitio

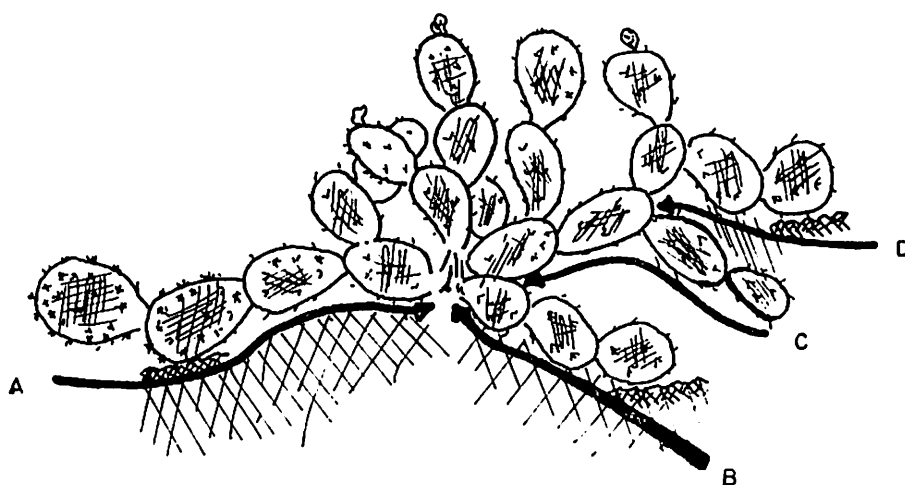
ARsp = Abundancia relativa de la especie en el sitio.

Morfología del Nopal

Para evaluar la variabilidad morfológica del nopal en cada sitio, se seleccionaron al azar de cinco a siete plantas individuales distribuidas en cada especie en base a la abundancia relativa de sus poblaciones. Cada planta se caracterizó mediante el registro de las siguientes variables:

A. Morfología general de la planta. Para caracterizar la forma global de la planta se realizaron - las siguientes determinaciones:

1. Longitud total de la planta (cm). Incluyó la longitud horizontal de la planta sobre el terreno, considerandose cada una de las ramificaciones a partir del tronco parental (Figura 3.5).
2. Número de ramificaciones. En forma similar al anterior, pero únicamente se registra el número de ramificaciones que dieron origen a la longitud total de la planta (Figura 3.5).
3. Número de niveles. Involucró el registro - del número de cladodios sobrepuestos al más inferior sobre cada ramificación y sobre el tronco parental, lo cual permitió determinar el número promedio de niveles por planta - Figura 3.6).



$a, b, c,$ y d = longitud horizontal de cada ramificación.
 $a+b+c+d$ = longitud total horizontal de la planta.
 Número de ramificaciones = 4.

FIGURA 3.5. Representación gráfica del procedimiento utilizado para determinar la longitud total y el número de ramificaciones por planta.

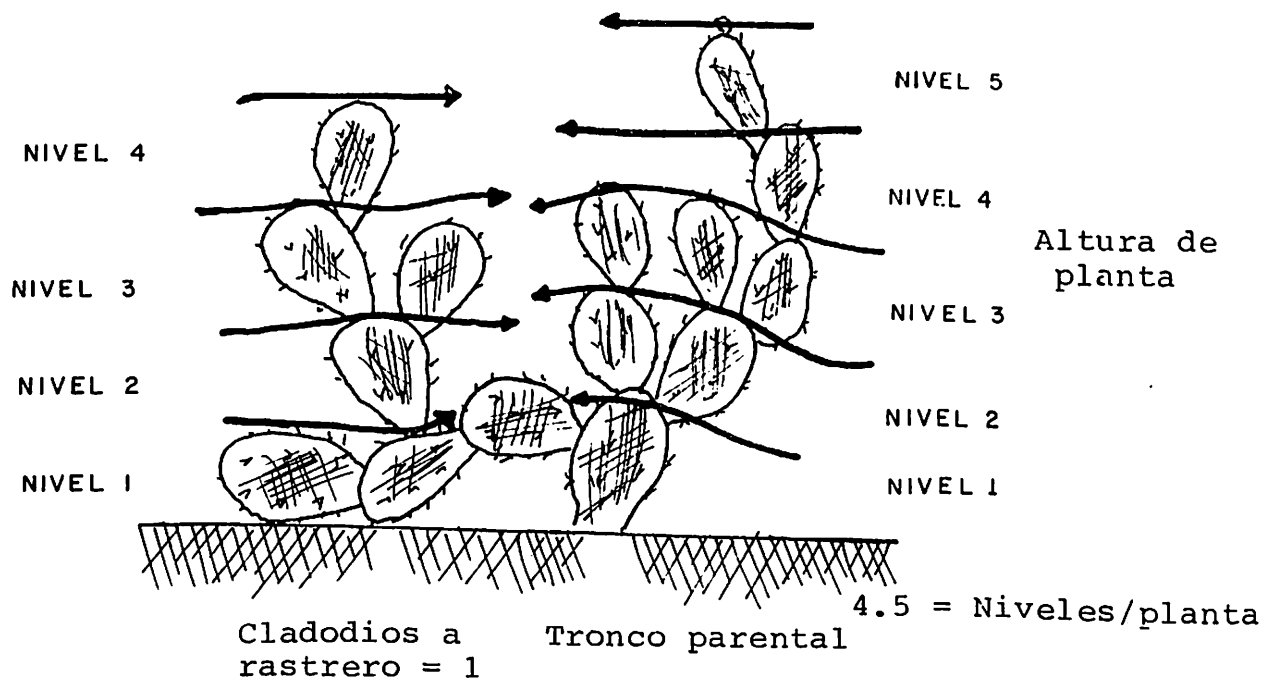
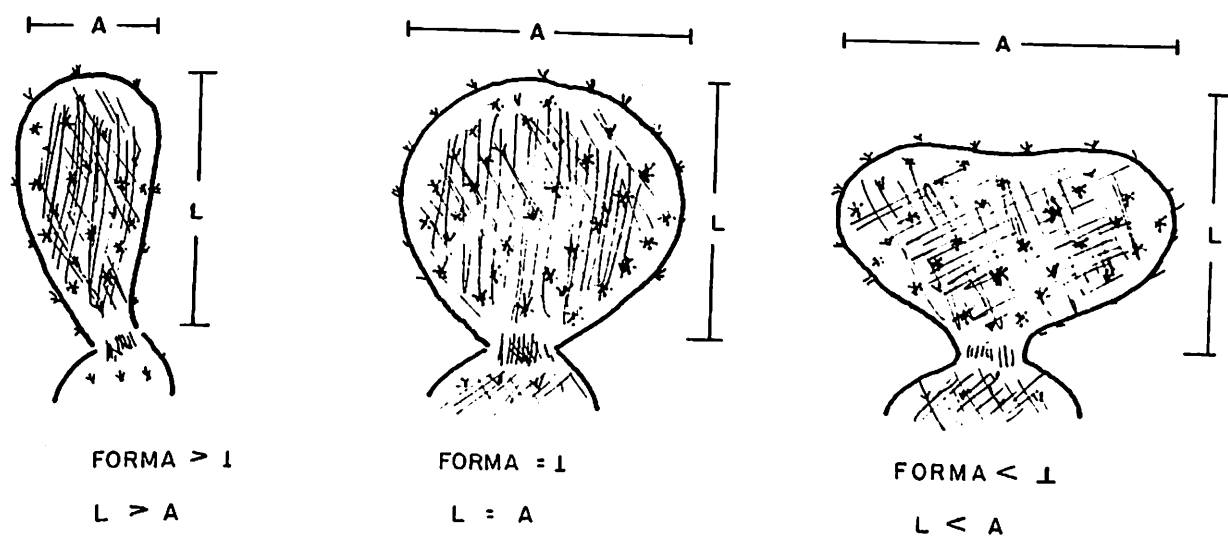


FIGURA 3.6. Representación gráfica del procedimiento utilizado para determinar el número de niveles, cladodios a rastrero y la altura de planta.

4. Cladodios a rastrero. A partir del tronco parental se registró el número de pencas a partir de las cuales la planta hace nuevamente contacto con el suelo (Figura 3.6).
 5. Número de cladodios total. En este caso, se realizó un conteo total de las pencas que conforman cada planta.
 6. Altura de planta (cm). Esta medida se obtuvo en cada planta sobre el tronco parental, dado que generalmente es donde se registra el crecimiento vertical más pronunciado en las especies con hábito de crecimiento rastrero (Figura 3.6).
 7. Hábito rastrero. Este valor se determinó como el cociente resultante de dividir la longitud horizontal total (Var. 1) entre la altura (var. 6) de las plantas. Expresa la proporción en que una planta crece en forma horizontal con respecto a la forma vertical. Ciertamente, entre mayor sea este valor, indica una mayor tendencia de crecimiento lateral.
- B. Morfología de la Penca. En este caso, para obtener un espectro general de la morfología de los cladodios, se seleccionaron, en cada planta, tres pencas, procurando, para fines de uniformidad en los datos, no escoger pencas jóvenes que pudieran ser resultado del crecimiento inmediato

de las plantas. El criterio que se siguió fue seleccionar aquellas pencas inmediatas a las terminales. En cada penca se tomó la siguiente información:

8. Longitud de cladodio. Considerada como la distancia en cm entre las dos juntas de la penca (Figura 3.7).
9. Anchura de cladodio (cm). En forma perpendicular a la anterior, considerando la máxima dimensión en este sentido (Figura 3.7).
10. Forma de cladodio. Se registra como el valor resultante de dividir la longitud entre la anchura del cladodio. Ciertamente, valores de 1 indican una forma circular, mientras que mayores o menores de 1 señalan formas ensanchadas o alargadas, respectivamente (Figura 3.7).
11. Grosor de penca (cm). Esta determinación se realizó con la ayuda de un vernier, registrando el máximo grosor de la penca sobre los dos bordes laterales (Figura 3.8).
12. Peso de cladodio (gr). Cada una de las pencas seleccionadas sobre cada planta fue pesada, únicamente en verde.
13. Diámetro de areolas (cm). En cada penca, se seleccionaron al azar cuatro areolas, procediéndose a medir el diámetro correspondiente a cada una (Figura 3.9).



L. Longitud de cladodio

A. Anchura de cladodio

FIGURA 3.7. Ilustración gráfica del procedimiento utilizado para la determinación de la longitud, anchura y forma de penca.

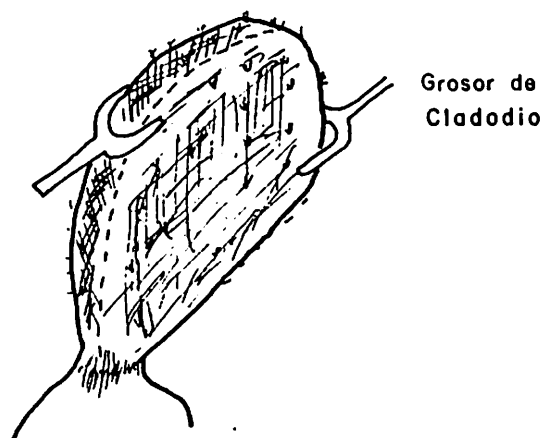
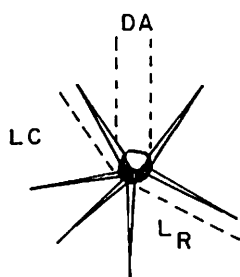


FIGURA 3.8. Procedimiento utilizado para determinar el grosor de cladodio

AREOLA TIPICA



Número de espinas por areola = 6
 DA = Diámetro de areola
 LR = Longitud de espinas radiales
 LC = Longitud de espinas centrales

FIGURA 3.9. Ilustración gráfica de la determinación del diámetro de areola, espinas por areola, longitud de espinas centrales y radiales.

14. Espinas por areola. Sobre cada una de las areolas seleccionadas se realizó un conteo del número total de espinas, tanto radiales como centrales (Figura 3.9).
 15. Longitud de espinas radiales (cm). Nuevamente, sobre cada areola, se determinó la longitud promedio de espinas radiales, las cuales son generalmente más cortas y delgadas y dispuestas en la periferia de las areolas (Figura 3.9).
 16. Longitud de espinas centrales (cm). Estas generalmente se localizan en el centro de la areola y son más largas y gruesas que las anteriores (Figura 3.9).
 17. Areolas por penca. Sobre cada penca, se determinó el número total de areolas. Esta determinación se realizó únicamente sobre una de las caras planas del cladodio.
 18. Orientación de espinas. Finalmente se determinó, mediante la ayuda de un transportador graduado, la orientación promedio de las espinas con respecto al plano horizontal de la penca. La orientación se registró en grados con respecto al plano.
- C. Morfología del fruto. Sobre cada planta se seleccionó un número variable de frutos, dependiendo de la cantidad total presente, en los cuales se hicieron las siguientes determinaciones:

19. Longitud de fruto (cm).
20. Diámetro de fruto (cm).
21. Forma de fruto. Al igual que la forma del cladodio, esta variable se registró como el cociente resultante de dividir la longitud y el diámetro del fruto. En este caso, también un valor superior a uno indica una forma alargada de fruto.

Por otro lado, sobre cada una de las plantas evaluadas, se colectó material representativo para su herborización, el cual fue posteriormente utilizado en la corroboración de su identidad taxonómica y se incluyó finalmente a la colección del Herbario de la U.A.A.A.N.

Caracterización Bromatológica

Se obtuvieron muestras de forraje correspondientes a cada planta, utilizándose para este efecto las plantas seleccionadas en cada una, las cuales fueron secadas a 75 °C hasta peso constante y posteriormente molidas para su análisis en el laboratorio. Las determinaciones incluyeron:

1. Proteína cruda (porciento)
2. Fibra ácido detergente (porciento)
3. Extracto etéreo (porciento)
4. Digestibilidad de la materia seca (porciento)

Características Físico - Químicas de Suelo

Estas características fueron determinadas a partir - de muestras de suelo obtenidas en el área específica en la cual desarrollaba cada planta, en un radio no mayor de 50 cm del tronco parental. Es decir, se obtuvieron tantas mues - tras de suelo como plantas se evaluaron en cada sitio. El - análisis físico - químico en el laboratorio incluyó:

1. pH
2. Conductividad eléctrica (mmhos/cm)
3. Cationes solubles (Me/l)
 - a) calcio
 - b) Magnesio
 - c) Sodio
 - d) Potasio
4. Potasio intercambiable (mg/100 gr)
5. Fósforo (ppm)
6. Nitrato (NO_3) (ppm)
7. Materia orgánica (porciento)
8. Carbonatos (CO_3) totales (porciento)
9. Arena (porciento)
10. Limo (porciento)
11. Arcilla (porciento)
12. Porcentaje de saturación de humedad

Las anteriores determinaciones, además de la altura - sobre el nivel del mar y la pendiente, permiten definir en - total 17 variables ambientales para cada sitio.

Metodología de Análisis

Patrón de Distribución Espacial

Para analizar la distribución espacial de las especies de nopal detectadas en este trabajo, se utilizó la técnica de Ordenación Polar de Bray y Curtis, en la forma descrita por Mueller-Dombois y Ellenberg (1974) y Gauch (1982). Mediante esta técnica cada sitio es graficado de tal forma que su posición se aproxime directamente al grado de similitud con los otros sitios.

Este análisis inició de la matriz de datos de densidad de especies por sitios, a partir de la cual se construyó una matriz simétrica de disimilaridad (distancias) de sitios por sitios, teniéndose un valor para cada uno de los posibles pares de sitios. La medida que se utilizó fue la Distancia Euclideana Estandar, calculada en base a la fórmula descrita por Orloci (1966) como:

$$DE_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^s (x_{ij} - x_{ik})^2}$$

Donde:

DE_{jk} = Distancia entre los sitios j y k

s = Número de especies presentes en cualquiera de los sitios j y k

x_{ij} = Densidad de la especie i en el sitio j

x_{ik} = Densidad de la especie i en el sitio k

Posteriormente, para cada sitio se calcularon la suma de sus disimilaridades (distancias) con todos los otros sitios, seleccionandose como primer punto polar del eje X - (AX) a aquel sitio con la mayor suma, y como segundo punto polar (BX) de este mismo eje a aquel sitio que presentó la DE mayor con el primero seleccionado. Inmediatamente después se posicionaron los sitios restantes sobre este mismo eje, utilizando la siguiente fórmula:

$$X(i) = \left(\frac{L^2 + dA(i)^2 - dB(i)^2}{2L} \right)$$

Donde:

$X(i)$ = Localización del sitio i sobre el eje x ,

L = DE entre AX y BX (corresponde a la longitud del eje x)

$dA(i)$ = DE entre el sitio i y AX

$dB(i)$ = DE entre el sitio i y BX

Habiendo localizado cada sitio sobre el eje X, se procedió a construir el eje Y, calculando las distancias $e(i)$ de cada sitio al eje x , mediante la ecuación dada por el teorema de Pitagoras como:

$$e(i) = \sqrt{dA(i)^2 - x(i)^2}$$

El sitio con el mayor valor $e(i)$ se seleccionó nuevamente como el primer punto polar (AY) del eje Y, condicionado además a estar localizado dentro del rango del 50 por ciento del eje X, es decir entre $.25 L$ y $.75 L$. El segundo punto polar (BY) de este eje, nuevamente corresponde al sitio que

presenta el mayor valor DE con el definido como AY, equivaliendo también DE a la longitud (L) de este eje.

El paso final del análisis fue la construcción de la gráfica de sitios sobre los ejes generados, para poder identificar las tendencias de variación cuantitativa de las especies que pudiesen llevar a una explicación en términos de - gradientes ambientales. Para facilitar este proceso, adicionalmente, se calcularon los coeficientes de correlación para los valores correspondientes a cada sitio sobre cada eje, como variables dependientes y los valores correspondientes a los promedios de cada una de las 17 variables ambientales en cada uno de los 29 sitios como variables independientes. Un procedimiento similar ha sido mencionado por Gauch (1982).

Interacción Ambiente - Morfología - Bromatología

Para el desarrollo de este análisis, primeramente se separó la información correspondiente a cada una de las especies y/o variedades detectadas, considerándose únicamente - aquellas que se presentaron en un mínimo de 10 sitios. Esa información se agrupó básicamente en tres rubros: a) morfología de las plantas (21 variables); b) composición bromatológica (cuatro variables) y c) características ambientales en las que se desarrollan (17 variables). Posteriormente se obtuvieron, para cada especie, los promedios por sitio de los - tres grupos de variables. Es conveniente señalar que los promedios de las características ambientales, fundamentalmente - de aquellas obtenidas mediante análisis de laboratorio, pueden

variar de las utilizadas en el análisis de la distribución espacial, dado que en ese análisis los promedios fueron obtenidos a partir de la totalidad de las muestras tomadas en cada sitio, mientras que en este caso se consideró únicamente las muestras obtenidas bajo las plantas de cada especie en particular.

Una vez realizada esa concentración de información - se procedió a desarrollar un análisis de componentes principales para las series de datos correspondientes a cada especie o variedad. El análisis se desarrolló a partir de la matriz de correlaciones muestrales, empleándose una computadora Televideo Xt y el paquete estadístico NCSS (Number Cruncher Statistical System, por sus siglas en inglés) versión 4.2, desarrollado por Hintze (1985).

Para interpretar la variación morfológica y bromatológica en plantas de nopal en términos de las medidas ambientales, se incluyeron en un análisis conjunto las tres series de variables de cada especie, en una forma similar a la utilizada por Walker y Wehrhahn (1971) para estudiar la variación de la vegetación en términos de variables ambientales. Se utilizaron los datos originales sin ninguna estandarización, siguiendo el criterio dado por Seal (1964), quien considera que este tipo de datos tienen mayor significancia biológica.

En el análisis correspondiente a cada especie, una vez obtenidos los eigenvalores y los vectores asociados con cada eigenvalor, se procedió a ajustar los "pesos" de cada variable sobre cada componente, de tal forma que la suma del

cuadrado de los "pesos" de cada variable sobre los componentes generados sea proporcional a la varianza total de cada variable explicada por esos componentes. En este caso, el ajuste se realizó utilizando:

$$\sqrt{\lambda_k} U_{kj}$$

Donde: λ_k es la varianza total (eigenvalor) explicada por el k-ésimo componente y U_{kj} es el "reso" para la j-ésima variable en el k-ésimo componente (Guevara, 1983). Según Walker y Wehrhahn (1971) esos "pesos ajustados" son realmente coeficientes de correlación entre variables y componentes principales. Cuando los pesos han sido ajustados, la suma del cuadrado de los correspondientes a cada variable sobre todos los componentes debe ser igual a la unidad, es decir:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k U_{kj}^2 = 1 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, s$$

Donde:

n = No. total de componentes

s = No. de variables

Por lo tanto, si toda la varianza de una variable es explicada por un solo componente, el peso de la variable sobre ese componente deberá ser igual a uno.

Los valores definidos como h^2 representan la proporción de la varianza de cada una de las variables que ha sido explicada por los componentes seleccionados, es decir:

$$h_j^2 = \sum_{k=1}^{n'} \lambda_k u_{kj}^2 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, s$$

Donde: n' = No. de componentes seleccionados

Para la interpretación de los resultados se construyeron dos tipos de gráficas, en uno de los cuales se graficaron cada una de las variables consideradas (espacio de variables), utilizándose en este caso las cargas ajustadas (coeficientes de correlación entre variables y componentes) para analizar las "cercanías" entre variables, en el otro tipo, se graficaron cada uno de los sitios en los cuales ocurrió - cada especie (espacio de sitios), para analizar las "cercanías" entre ellos. En el segundo caso, los valores correspondientes a cada sitio sobre cada uno de los componentes (las nuevas variables generadas) se obtuvieron utilizando el procedimiento delineado por Isebrands y Crow (1975), en el cual:

$$s_{ij} = \sum_{k=1}^{n'} [(x_{ik} - \bar{x}_k / s_k) u_{kj}]$$

Donde:

n' = Número de variables

s_{ij} = Es el valor correspondiente para el componente j en el sitio i .

x_{ik} = Es el valor original de la variable k en el sitio i .

$\bar{x}_k$ = Media de la variable k .

s_k = Es la desviación estandar de la variable k .

u_{kj} = Es el "peso" (no ajustado) de la variable k sobre el componente j .

En este caso, el término $((X_{ik} - \bar{X}_k)/S_k)$ representa una estandarización de los valores originales, la cual tiende a asignar la misma importancia a todas las variables, algunas de las cuales fueron registradas en diferentes unidades de medida y con diferentes magnitudes.

El análisis conjunto de los dos tipos de gráficas permitieron definir los sitios que presentan condiciones más propicias para el desarrollo de cada una de las especies, las características ambientales con las que se asocian, y su influencia en la morfología y contenido bromatológico de las plantas que en ellos desarrollan.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Patrón de Distribución Espacial

Los muestreos realizados en los 29 sitios permitieron identificar cuatro especies: Opuntia rastrera Weber, Opuntia phaeacantha Engelman Var. Discata (Griff.) Benson. et Wal kington, Opuntia macrocentra Eng. y Opuntia lindheimeri Engelman. En esta última especie se diferenciaron, asimismo - tres variedades: Opuntia lindheimeri Engelman var. tricolor (Griff.) Benson y Opuntia lindheimeri Engelman var. aciculata (Griff.) Bravo y Opuntia lindheimeri Engelman var. lin dheimeri.

Las densidades estimadas por especie en los 29 sitios fluctuaron entre 1400 y 40 plantas por hectárea para O. phaeacantha var. discata y O. rastrera, respectivamente. Las especies que se presentaron en el mayor número de sitios fue - ron: O. lindheimeri var. tricolor y O. phaeacantha var. discata, representados en 13 y 12 sitios, respectivamente. La especie más rara en los sitios evaluados fue O. macrocentra, - presente en solo dos sitios (Cuadro 4.1).

En relación a las características ambientales promedio por sitio, la máxima variabilidad se presentó en el -

CUADRO 4.1. Densidades estimadas de nopal forrajero (plantas por hectárea) en los 29 sitios evaluados. Valores correspondientes a cada una de las especies detectadas.

Número de Sitio	R	Lt	La	Ll	p	m
1	360	90				
2	800		200			
3	655			494		
4				150		
5		300		300		
6		480			320	
7				360	240	
8	40				60	
9					1400	
10	320				480	
11	90	360				
12		600			400	
13		160			240	
14	200				200	100
15	520				130	
16	110	440				
17		1260				840
18		600				
19		150				
20		360	90			
21				250		
22				100		
23				350		
24				150		
25			80	320		
26				200	50	
27	190	380	380			
28		200	200		100	
29					150	

(R) Opuntia rastrera; (Lt) Opuntia lindheimeri var. tricolor; (La) Opuntia lindheimeri var. aciculata; (Ll) Opuntia lindheimeri var. lindheimeri; -
(P) Opuntia phaeacantha var. discata y (m) Opuntia macrocentra.

contenido de cationes solubles (me/l) de sodio y el contenido de nitratos (ppm), con coeficientes de variación de 165.8 y 113.1 por ciento, respectivamente. Por otro lado, las características más estables por sus porcentajes de variación fueron: pH, arena y limo (Cuadro 4.2.).

La ordenación polar de los 29 sitios, en base a las densidades de las diferentes especies y/o variedades de Opuntia, anteriormente señaladas, se presenta en la Figura 4.1., en la cual pueden observarse las diferencias marcadas en composición específica presentes entre el sitio 9 y el 17, representando los polos de ordenación sobre el eje X, con los puntos máximos extremos de densidad de O. phaeacantha var. discata (1400 plantas por hectárea) y O. lindheimeri var. tricolor (1260 plantas por hectárea), respectivamente. En el eje Y se presentan los mayores contrastes entre el sitio 12 y el 2, este último representando también el punto máximo extremo de densidad de O. rastrera. Los sitios restantes tienden a agruparse, en diferentes tendencias, hacia el centro de la ordenación por efecto de las densidades intermedias que presentan de las diferentes especies. Es evidente la similitud en composición específica que presentan los sitios 21, 22 y 23, los cuales se agrupan alrededor de un punto señalado en la ordenación como "A" y los sitios 4 y 24 representados en el punto "B", los cuales presentan únicamente individuos de O. lindheimeri var. lindheimeri con densidades muy similares.

Como se mencionó anteriormente, además del reconocimiento de sitios, la ordenación sirve para identificar tendencias en variación de las densidades de las especies, las cuales pueden llevar a una explicación en términos de -

CUADRO 4.2. Estadísticas elementales de las características ambientales promedio por sitio, considerando los 29 sitios evaluados.

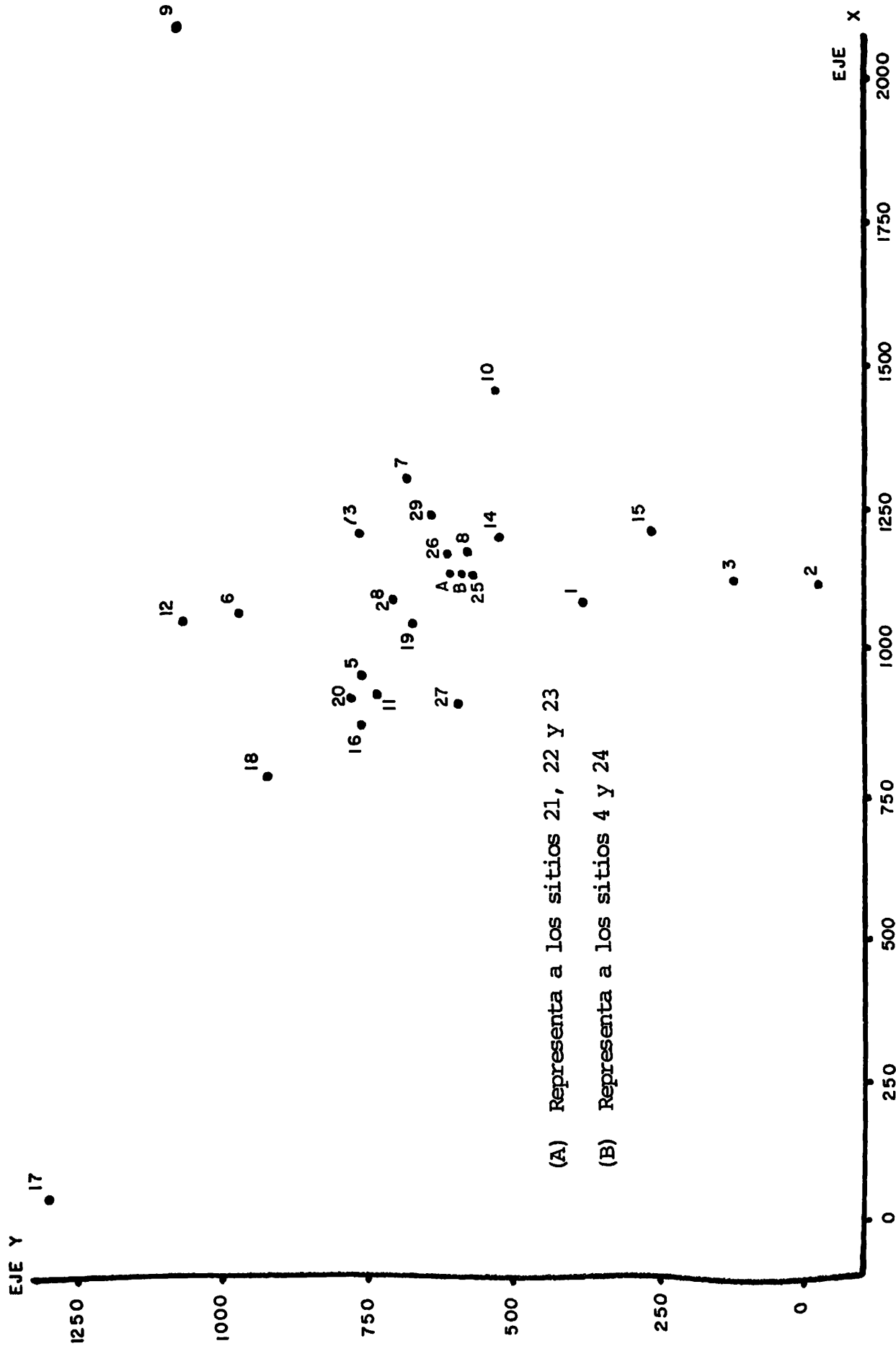
Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coeficiente de variación
pH	8.16	7.26	7.697	0.067	3.36
C.E. (mmhos/cm)	2.70	0.53	1.074	0.257	47.20
Ca (Me/l)	17.54	3.44	7.588	9.970	41.60
Mg (Me/l)	3.42	0.29	1.417	0.592	54.29
Na (Me/l)	5.08	0.08	.711	1.391	165.87
K (Me/l)	1.48	0.06	.583	.176	71.96
K (Mg/100 gr)	61.80	12.90	33.330	204.920	42.98
P (ppm)	43.60	4.26	16.860	77.600	52.25
NO ₃ (ppm)	104.75	2.70	24.850	790.196	113.12
M.O. (%)	7.90	1.68	4.212	3.859	46.60
CO ₃ (%)	34.64	2.25	21.355	95.386	45.73
Arena (%)	55.40	39.50	46.219	19.080	9.45
Limo (%)	44.00	26.00	37.724	14.525	10.10
Arcilla (%)	28.10	9.70	15.866	14.990	24.40
Sat. de H (%)	78.50	43.80	58.478	83.349	15.61
Asnm (m)	1800.00	1060.00	1426.138	34249.700	12.97
Pendiente (°)	35.00	0.00	7.724	49.579	91.16

(C.E.) Conductividad eléctrica

(M.O.) Materia orgánica

(Sat. de H.) Porcentaje de saturación de humedad

(Asnm) Altura sobre el nivel del mar



(A) Representa a los sitios 21, 22 y 23

(B) Representa a los sitios 4 y 24

FIGURA 4.1. Ordenación polar en dos ejes, Sitios en función a densidad de especies de Opuntia

gradientes ambientales. En este caso, estos gradientes pueden ser identificados a partir de la información que se presenta en el Cuadro 4.3., el cual muestra los coeficientes de correlación (r) de cada una de las variables ambientales con los dos ejes de la ordenación.

En base a esos resultados, resulta evidente que el eje X de la ordenación representa un gradiente complejo de suplementación de nutrientes, como lo muestran los elevados valores de correlación positivos, de este eje, con magnesio soluble, potasio intercambiable, fósforo y carbonatos; y negativamente correlacionado con materia orgánica y el porcentaje de saturación de humedad del suelo.

Los coeficientes de correlación de las variables ambientales con el eje Y, muestran un gradiente de acumulación de materia orgánica, directamente relacionado con el porcentaje de saturación de humedad del suelo, altitud, pendiente del terreno y con el contenido de nitrógeno en el suelo, e inversamente relacionado con el contenido de carbonatos.

La Figura 4.2. muestra la misma ordenación de sitios pero con la sobreposición, tanto de los gradientes ambientales detectados como de la presencia de las diferentes especies en un orden de dominancia dentro de cada sitio. Dentro de los límites extremos de las variables ambientales señalados en el Cuadro 4.2, pueden observarse las siguientes tendencias:

- A) La distribución de Opuntia rastrera (R ó r) se presenta más influenciada por el gradiente representado en el eje Y, tendiendo a

CUADRO 4.3. Coeficientes de correlación entre características ambientales promedio por sitio y los valores correspondientes a cada sitio en los ejes X y Y de la ordenación polar.

Variable	Eje X		Eje Y	
	r	Probabilidad	r	Probabilidad
pH	-.04		-.16	
C.E. (mmhos/cm)	.34		.06	
Calcio (me/l)	.32		.11	
Magnesio (me/l)	.51	menor 0.01	.04	
Na (me/l)	.20		-.13	
K (me/l)	.06		-.22	
K (mg/100 gr)	.47	0.01	-.21	
P (ppm)	.51	0.01	-.19	
NO ₃ (ppm)	.20		.46	menor 0.05
MO (%)	-.43	0.05	.52	0.01
CO ₃ (%)	.53	0.01	-.36	0.05
Arena	-.14		-.01	
Limo	.16		-.14	
Arcilla	.01		.15	
Sat. de H. (%)	-.36	0.05	.53	0.01
asnm	-.16		.53	0.01
Pendiente	-.27		.36	0.05

(C.E.) Conductividad eléctrica

(M.O.) Materia orgánica

(Sat. de H.) Porcentaje de saturación de humedad

(Asnm) Altura sobre el nivel del mar

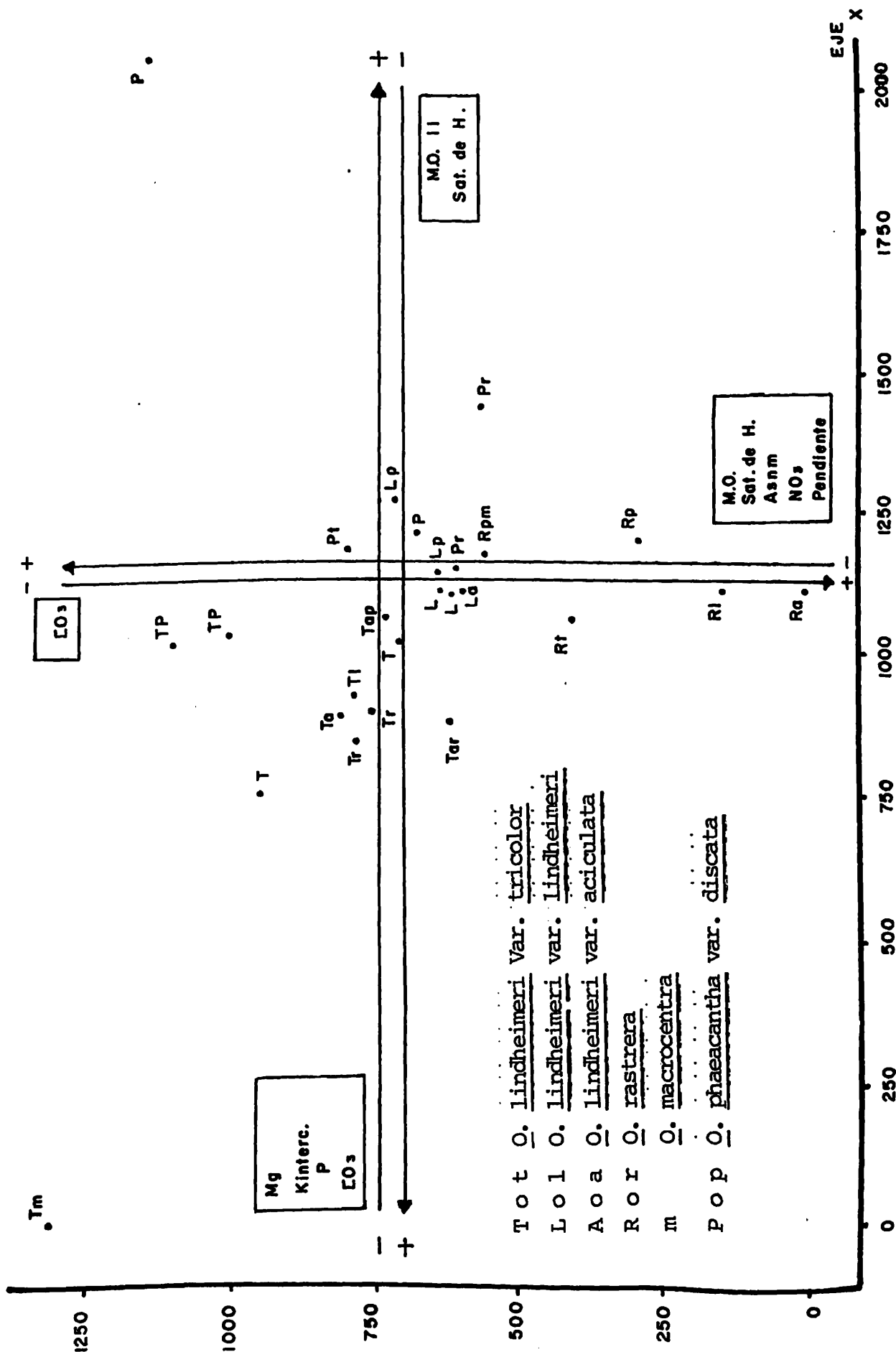


FIGURA 4.2. Ordenación polar en dos ejes. Sitios en función a densidad de especies de Opuntia. Sobreposición de gradientes ambientales y composición específica en orden de dominancia en cada sitio (para simbología ver Cuadro auxiliar).

sus poblaciones en suelos con escasa acumulación de materia orgánica (3 por ciento) bajo porcentaje de saturación de humedad (45 por ciento), poco contenido de NO_3 (5 ppm), en áreas de menor elevación sobre el nivel del mar (1170 m), pendientes relativamente planas y contenidos medios a elevados de CO_3 (19.8 a 33.7 por ciento). Generalmente, sus poblaciones se distribuyen en suelos con contenidos variables de Mg (.50 a 3.1 me/l), potasio intercambiable (15.2 a 52.4 mg/100 gr) y fósforo (12.5 a 33.5 ppm).

- B) Opuntia lindheimeri var. tricolor (T o t) parece ser afectada en su distribución por ambos gradientes, presentándose las mayores densidades en suelos con altos porcentajes de materia orgánica (7 por ciento) y porcentajes de saturación de humedad (70 por ciento); contenidos bajos a medios de Mg (.29 a 1.4 me/l) y fósforo (12.2 a 19.3 ppm), bajo potasio intercambiable (12.9 a 17.3 mg/100 gr); medios a elevados contenidos de NO_3 (35.5 a 76.8 ppm); en áreas con pendientes pronunciadas (14 °), mayor altitud sobre el nivel del mar (1650 m) y contenidos bajos a medios de CO_3 (5.7 a 27.6 por ciento).
- C) Opuntia phaeacantha var. discata, al igual que la especie anteriormente mencionada, parece estar también determinada en su distribución por -

ambos gradientes, solo que con una tendencia - opuesta, ya que sus mayores poblaciones se presentan en suelos con poca acumulación de materia orgánica (2.9 a 3.68 por ciento) y porcentajes de saturación de humedad (56.9 a 59.2 por ciento) en pendientes intermedias (5 °) y alturas medias sobre el nivel del mar (1400 m); con contenidos altos de Mg (2.38 a 3.14 me/l), potasio intercambiable (45.4 a 52.4 mg/100 gr), fósforo (29 a 43.6 ppm) y carbonatos (29 a 30.4 por ciento).

- D) *Opuntia lindheimeri var. lindheimeri* (L. ó l). Esta especie se distribuye aparentemente en la parte intermedia de ambos gradientes, pero influenciada en mayor magnitud por el definido en el eje Y de la ordenación. En este caso, presenta poblaciones en magnitudes más similares que las de las demás especies, distribuidas en suelos con contenidos de materia orgánica fluctuantes entre 1.68 y 4.68 por ciento, porcentajes de saturación de humedad entre 44.05 y 68.9 por ciento, alturas sobre el nivel del mar entre 1160 a 1800 m, pendientes desde planas hasta de 13 °, contenidos de Mg de .74 a 3.42 me/l, K intercambiable entre 21.8 a 58.8 mg/100 gr, fósforo de 4.26 a 25.6 ppm, NO₃ variable entre 2.7 a 64.6 ppm y CO₃ fluctuando de 19.8 a 34.6 por ciento. Las máximas poblaciones se presentan en las áreas con características intermedias entre estos límites.

E) Opuntia lindheimeri var. aciculata. Las plantas de esta especie se distribuyen en una forma similar a la de Var. lindheimeri, pero sus mayores poblaciones se presentan en suelos con contenidos bajos a medios de Mg (.50 a 1.14 me/l), medios a altos de K intercambiable (24.8 a 61.8 mg/100 gr), fósforo (13 a 33.5 ppm), bajos a medios de NO_3 - (1.86 a 14.3 ppm), poca materia orgánica (1.86 a 3 por ciento), medios a altos en CO_3 (17.5 a 33.3 por ciento), porcentajes de saturación de humedad del suelo entre 43.8 a 49.5 por ciento en pendientes planas y escasa elevación sobre el nivel del mar.

F) Opuntia macrocentra. En esta especie, resulta difícil hacer generalizaciones sobre su tendencia de distribución, dado el poco número de sitios en los cuales se presentó. Esta especie se encontró asociada como subdominante en poblaciones de Opuntia rastrera y O. phaeacantha var. discata y en las áreas con mayores densidades de O. lindheimeri var. tricolor.

Interacción Ambiente - Morfología - Bromatología

De las seis especies o variedades anteriormente señaladas, solamente Opuntia rastrera, O. lindheimeri var. tricolor, O. lindheimeri var. lindheimeri y O. phaeacantha var. discata se presentaron en un mínimo de 10 sitios del total

evaluados. Por lo anterior, únicamente se analizó la información correspondiente a estas plantas, excluyéndose a O. lin-dheimeri var. aciculata y O. macrocentra presentes en únicamente cinco y dos sitios, respectivamente.

Opuntia rastrera

Los Cuadro 4.4, 4.5 y 4.6 muestran las estadísticas básicas de los datos promedio por sitio correspondientes a esta especie para las variables morfológicas, bromatológicas y ambientales, respectivamente. Dentro de las morfológicas, las que presentan un comportamiento más estable son la longitud, ancho y forma de los cladodios y el número de areolas por penca, todas con coeficientes de variación menores de 10 por ciento, mientras que en las bromatológicas únicamente la digestibilidad de la materia seca presentó esa misma tendencia. Por otro lado, dentro de las características ambientales asociadas con plantas de esta especie, la menor variabilidad se presenta en el pH del suelo, altura sobre el nivel del mar y en las características asociadas con textura; tendiendo hacia una ligera alcalinidad (pH medio = 7.56) y texturas francas y suelos de escasa elevación (1330 m).

El Cuadro 4.7 muestra los resultados obtenidos a partir del análisis de Componentes Principales desarrollado sobre los tres grupos de variables considerados, en el cual se presentan los eigenvalores y la proporción de la varianza explicada por los primeros cinco componentes generados, así como los "pesos" ajustados (correlaciones) de las variables en

CUADRO 4.4. Estadísticas elementales de las características morfológicas promedio por sitio (10 sitios) en plantas de Opuntia rastrera.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
Longitud de planta (cm)	987	194	546.4	62250.2	45.6
Número de niveles	2.6	1.4	2.16	0.16	18.5
Número de ramificaciones	10.0	3.0	6.03	3.67	31.7
Cladodio a rastrero	4.0	1.0	2.31	0.60	33.5
Cladodios total	127.0	23.0	57.8	1018.2	55.2
Altura de planta (cm)	73.0	30.0	58.1	156.7	21.5
Hábito rastrero	13.8	3.9	9.38	13.36	38.9
Ancho de cladodio (cm)	23.6	18.2	20.33	2.07	7.1
Forma de cladodios	1.28	1.0	1.13	.007	7.4
Grosor de cladodio (cm)	2.25	.84	1.37	.148	28.0
Peso cladodio (gr)	923	347	555	31184	31.8
Diámetro de areola (cm)	.65	.44	.53	.005	14.1
Espinas por areola	6.1	3.0	4.1	.69	20.3
Longitud espinas radiales (cm)	2.8	1.2	1.7	.23	28.2
Longitud espinas centrales (cm)	3.45	1.93	2.54	.26	20.0
Areolas por penca	33.0	26.5	29.6	5.06	7.6
Orientación de espinas	57.0	22.2	35.31	80.1	25.3
Longitud de frutos (cm)	3.45	2.4	2.95	.123	11.9
Diámetro de fruto (cm)	3.45	2.28	2.76	.11	12.9
Forma de fruto	1.48	.83	1.07	.028	15.8
Longitud de cladodios (cm)	25.3	19.6	22.85	2.60	7.0

CUADRO 4.5. Estadísticas elementales de las características - bromatológicas promedio por sitio (10 sitios) en plantas de Opuntia rastrera.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
Proteína (%)	3.04	1.06	2.29	.53	31.8
Digestibilidad (%)	95.0	82.0	89.87	14.36	4.3
Fibra (%)	11.43	3.09	6.48	7.48	42.2
Extracto etéreo (%)	7.99	4.09	5.63	2.09	25.7

CUADRO 4.6. Estadísticas elementales de las características ambientales por sitio (10 sitios) asociados con plantas de Opuntia rastrera.

Variables	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
pH	8.10	7.27	7.56	.076	3.6
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	5.25	.50	1.32	1.81	102.0
Calcio (me/l)	32.7	3.2	9.57	65.61	84.6
Magnesio (me/l)	5.75	.48	1.50	2.30	100.9
Sodio (me/l)	10.3	.30	1.43	8.77	207.5
Potasio (me/l)	1.15	.10	.49	.084	58.9
Potasio (mg/100 gr)	52.50	15.0	28.63	178.75	46.7
Fósforo (ppm)	41.80	10.2	21.14	95.56	45.5
Nitratos (ppm)	64.5	2.6	27.01	534.99	85.6
Materia orgánica (%)	5.50	1.5	3.54	2.22	42.1
Carbonatos (%)	36.60	6.0	21.65	54.31	34.0
Arena (%)	55.50	38.5	46.18	31.36	12.1
Limo (%)	48.00	33.0	38.67	19.00	11.2
Arcilla (%)	20.50	9.4	15.05	10.02	21.0
Porcentaje de saturación de humedad	63.60	41.0	53.80	61.46	14.5
Altura sobre el nivel del mar (m)	1550.00	1060.00	1313.5	22740.6	11.5
Pendiente (°)	14	0	5.2	19.7	85.5

CUADRO 4.7. Pesos ajustados de las variables sobre los primeros cinco componentes de un análisis de Componentes Principales de la información de Opuntia rastrera.

Variables	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	h^2
<u>Morfológicas</u>						
Longitud de planta (Lp)	-.07	-.71*	-.53	-.14	.29	.95
Número de niveles (Nn)	-.00	-.04	.14	-.62	.15	.42
Número de ramificaciones (Nr)	.49	-.51	-.44	.35	.07	.83
Cladodios a rastrero (Cr)	.48	-.49	.48	-.36	.20	.88
Cladodios totales (Ct)	.19	-.34	-.57	-.44	.34	.79
Altura de planta (Alp)	.51	-.62	.11	-.29	.04	.75
Hábito rastrero (Hr)	-.05	-.31	-.70*	.09	.42	.77
Longitud de cladodios (Lc)	-.02	-.42	.59	.36	.51	.92
Ancho de cladodio (Ac)	.43	-.40	.13	.67*	.18	.85
Forma de cladodio (Fc)	-.67*	.21	.36	.14	.44	.84
Grosor de cladodio (Gc)	.71*	.52	-.14	.27	.31	.96
Peso de cladodio (Pc)	.55*	.46	.05	.55	.37	.95
Diámetro de areola (Da)	.65*	-.27	.41	.56	-.01	.98
Espinas por areola (Ea)	-.10	-.91	.14	.29	-.13	.97
Longitud de espina radial (Er)	.38	.11	.80*	-.26	.09	.87
Longitud de espina central (Ec)	.52	.20	.74*	-.12	-.14	.89
Areolas por penca (Ap)	-.05	.33	.29	.25	.84*	.96
Orientación de espinas (Oe)	-.75*	.14	-.18	-.04	.08	.62
Longitud de fruto (Lf)	.73*	.04	-.35	-.18	-.42	.87
Diámetro de fruto (Df)	-.35	-.01	-.47	.20	-.38	.53
Forma de fruto (Ff)	.87*	.15	.12	-.31	-.05	.90
<u>Bromatológicas</u>						
Proteína	.40	-.70*	-.05	-.53	-.13	.95
Digestibilidad	.09	.45	.41	-.63*	.01	.78
Fibra	.47	.09	-.16	-.44	.64*	.86
Extracto etéreo	.71*	-.38	-.23	.19	.19	.78
<u>Ambientales</u>						
pH	.11	-.84*	.32	.09	-.03	.82
Conductividad eléctrica (CE)	.77*	.59	.01	.06	-.11	.96
Calcio soluble (Ca)	.70*	.67	-.03	.06	-.15	.97
Magnesio soluble (Mg)	.78*	.55	-.13	.11	-.01	.95
Sodio soluble (Na)	.76*	.53	.14	.14	-.12	.91
Potasio soluble (Ks)	.96*	.08	-.08	-.03	-.10	.94
Potasio intercambiable (Ki)	.88*	-.26	.16	.26	-.02	.94
Fósforo (P)	.75*	.01	.15	-.06	-.05	.59
Nitrógeno (NO ₃)	.71*	-.09	-.48	.23	-.09	.81
Materia orgánica	-.31	.79*	.05	.15	-.42	.93
Carbonatos (CO ₃)	.23	-.09	-.07	-.65*	-.06	.49
Arena	.65*	.41	-.38	-.32	.14	.86
Limo	-.53	-.20	.57	.09	.06	.66
Arcilla	.00	-.64*	.08	.13	-.57	.76
% de saturación de humedad	-.44	.79*	-.01	.17	.00	.84
Altura sobre el nivel del mar	-.03	.63*	-.19	-.15	.23	.51
Pendiente	-.63*	.57	-.13	.16	.07	.78
Eigenvalor	12.5	9.2	5.1	4.4	3.4	
% de Varianza	29.7	21.9	12.2	10.4	8.1	
% acumulado	29.7	51.7	63.9	74.3	82.4	

cada uno. Estos componentes explican en su conjunto el 82.4 por ciento de la variación total y la mayor porporción de la varianza de la mayoría de las variables como se evidencía - por los altos valores en la columna h^2 .

El primer componente (CP1) representa, claramente, un aspecto de disponibilidad de nutrientes minerales y salinidad, redundando en altos "pesos" para conductividad, Ca, Mg, Na, Ks, Ki, P, NO_3 y arena, positivamente correlacionado con características de las plantas, tales como grosor y peso de cladodios, longitud y forma de frutos, diámetro de las areolas y contenido de grasa en las pencas; y negativamente con la forma de los cladodios y la orientación de las espinas con respecto al plano horizontal de los mismos. El valor negativo para la pendiente indica que las condiciones de mayor fertilidad y salinidad tienden a presentarse bajo condiciones planas del terreno.

El segundo componente (CP2) indica un gradiente de acumulación y descomposición de materia orgánica como lo muestran los altos valores positivos asignados a los "pesos" para materia orgánica, porcentaje de saturación de humedad y la altura sobre el nivel del mar, y los valores negativos para el contenido de arcilla y el pH. Este gradiente se asocia inversamente con el contenido de proteína y la longitud total de las plantas.

En el tercer componente (CP3) se muestra básicamente una correlación positiva entre el tamaño de las espinas y el patrón de crecimiento de las plantas (hábito rastrero), sin influenciar el contenido bromatológico, ni ser afectada por -

ningún factor ambiental. Este componente indica que las plantas con mayor crecimiento horizontal, generalmente presentan espinas más pequeñas.

El cuarto componente (CP4) señala una correlación positiva entre la digestibilidad de la materia seca y el contenido de carbonatos en el suelo y una correlación negativa entre estas variables con las dimensiones de las pencas, fundamentalmente con la anchura.

Finalmente, el quinto componente (CP5) muestra una correlación positiva entre el número de areolas por penca y su contenido de fibra. Teóricamente, las pencas con el mayor número de areolas presentan mayor contenido de este tipo de compuestos. En este componente tampoco se presenta ninguna relación con las características ambientales.

El espacio de variables generado por los primeros dos componentes en la Figura 4.3., permite, además de analizar más en detalle las relaciones entre variables, dar significado al espacio de sitios generado en base a esos mismos componentes en la Figura 4.4., en la cual se pueden observar claramente los siguientes grupos de sitios: El primer grupo se forma únicamente por el sitio 10, el cual se separa drásticamente de los demás, debido a que presenta los más elevados valores de CE (5.25 mmhos/cm), Ca (32.7 me/l), Mg (5.75 mc/l), Na (10.3 me/l) y arena (55.5 por ciento) presentando, asimismo, las plantas con cladodios más gruesos (2.25 cm), más pesados (923 gr), con contenidos de medios a altos de grasa (6.47 por ciento) y los frutos más grandes (3.45 cm de longitud) y de forma más bien alargada (1.48). El segundo -

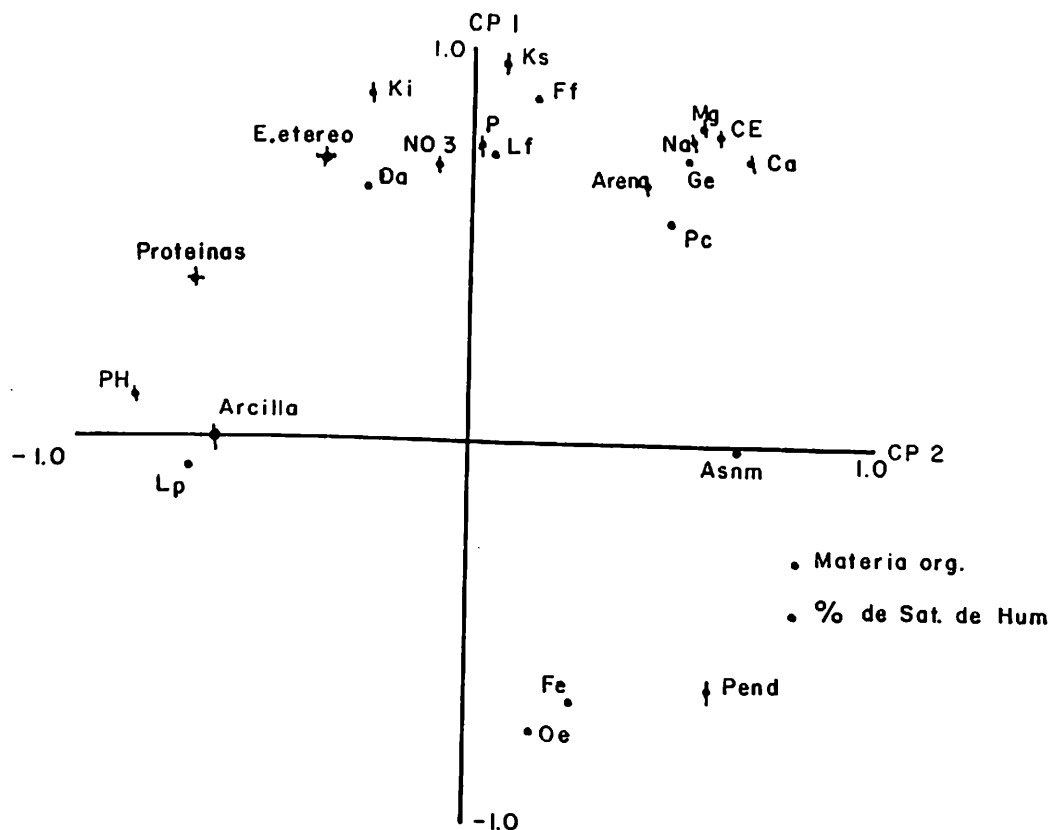


FIGURA 4.3. Espacio de variables generado por los componentes 1 y 2 Opuntia rastrera.

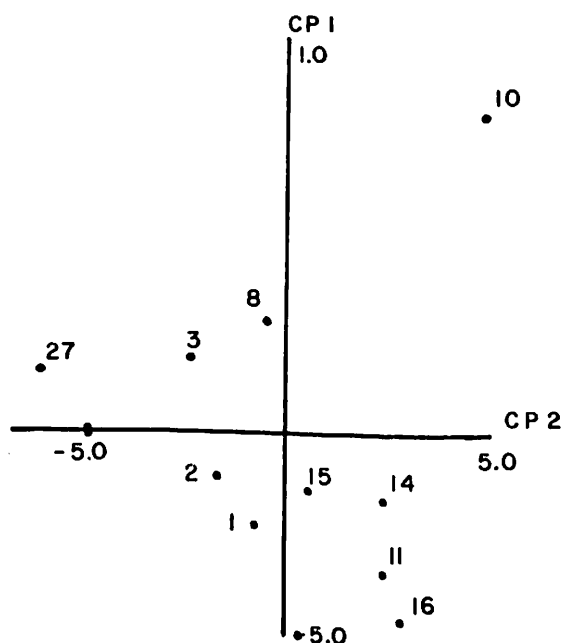


FIGURA 4.4. Espacio de sitios generado por los componentes 1 y 2 Opuntia rastrera.

grupo formado por los sitios 27, 3 y 8 es separado de los restantes fundamentalmente por los altos contenidos de proteína (3 por ciento) y grasas en las plantas (7.5 por ciento) y tamaños de fruto intermedios (± 3 cm de longitud), en suelos bajos en materia orgánica (± 1.6 por ciento) y por ciento de saturación de humedad (± 43.8), escasa elevación sobre el nivel del mar (± 1250 m) y pendientes fundamentalmente planas. El tercer grupo, compuesto por los sitios 1 y 2, contiene plantas con porcentajes intermedios de proteína (± 2.7 por ciento), suelos ligeramente alcalinos (± 7.6), contenidos medios de materia orgánica (± 3 por ciento) y porcentaje de saturación de humedad (± 53.4 por ciento); este grupo representa el extremo inferior de las condiciones que generaron el grupo del sitio 10, ya que presentan los valores más bajos en cationes solubles y las plantas con cladodios menos pesados (± 350 gr) y de menor grosor ($\pm .88$ cm). El último grupo formado por los sitios 11, 14, 15 y 16 localizado en suelos con la mayor acumulación de materia orgánica (4 a 5.5 por ciento), mayor porcentaje de saturación de humedad (± 60 por ciento) y pendientes más pronunciadas ($\pm 10^\circ$) soportan plantas con los menores contenidos de proteína (± 1.6 por ciento) y grasas (4.8 por ciento), aunque presentan cladodios de pesos intermedios.

Los espacios de sitios y variables generados por los componentes 2 y 3 en las Figuras 4.5 y 4.6, además de presentar las mismas tendencias definidas por el CP 2, únicamente muestran la relación directa que se presenta entre la longitud de las espinas radiales y centrales correlacionadas

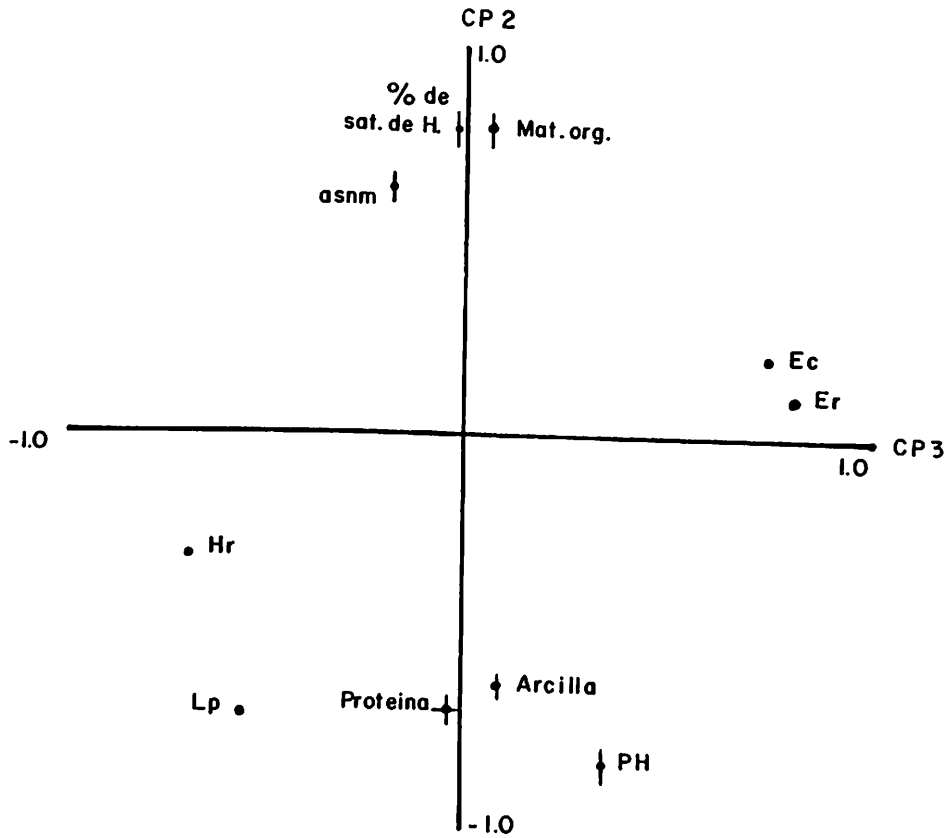


FIGURA 4.5. Espacio de variables generado por los componentes 2 y 3 Opuntia rastrera

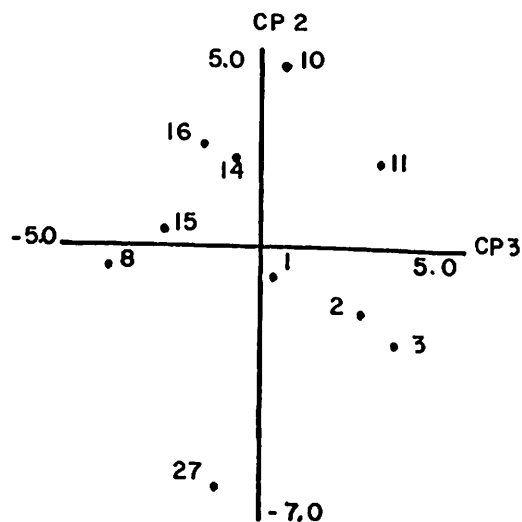


FIGURA 4.6. Espacio de sitios generado por los componentes 2 y 3 Opuntia rastrera.

negativamente con el patrón de crecimiento de las plantas - (hábito rastrero), sin embargo, la representación de los sitios (Figura 4.5) claramente muestra que estas variables no se relacionan con el contenido bromatológico de las plantas ni con las características ambientales. Estas gráficas únicamente señalan que los sitios 1, 2, 3 10 y 11 contienen - plantas con un patrón de crecimiento más vertical y mayor - longitud de espinas que los sitios 8, 14, 15, 16 y 27.

Las figuras 4.7 y 4.8, presentan los espacios de variables y de sitios generados por los componentes 3 y 4, en los cuales se muestra la separación entre los sitios 1, 2, 3 y 14 con plantas que presentan valores de digestibilidad generalmente mayores del 90 por ciento y suelos con altos contenidos de carbonatos (CO_3) (± 25.7 por ciento) con respecto a los sitios 10, 11, 15, 16 y 27 con valores relativamente menores para esas variables y plantas con mayores anchuras de cladodios.

Finalmente, las Figuras 4.9 y 4.10 representando los espacios de variables y sitios formados a partir de los componentes 4 y 5, nuevamente separan a los sitios 3 y 8 de los demás, debido a los altos contenidos de fibra (10 a 11 por ciento) que acumulan las plantas en estas áreas, y se caracterizan por contener un mayor número de areolas por penca.

Opuntia lindheimeri var. tricolor

En los Cuadros 4.8, 4.9 y 4.10, se presentan las estadísticas básicas de los datos promedio por sitio en los -

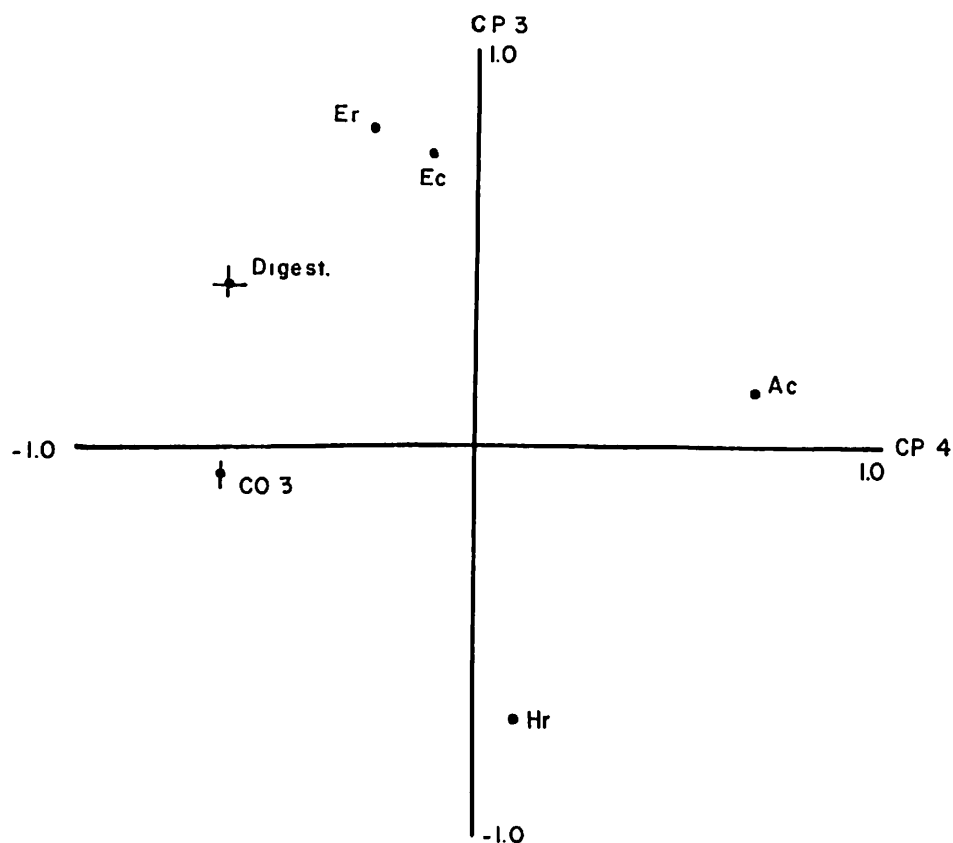


FIGURA 4.7. Espacio de variables generado por los componentes 3 y 4 Opuntia rastrera.

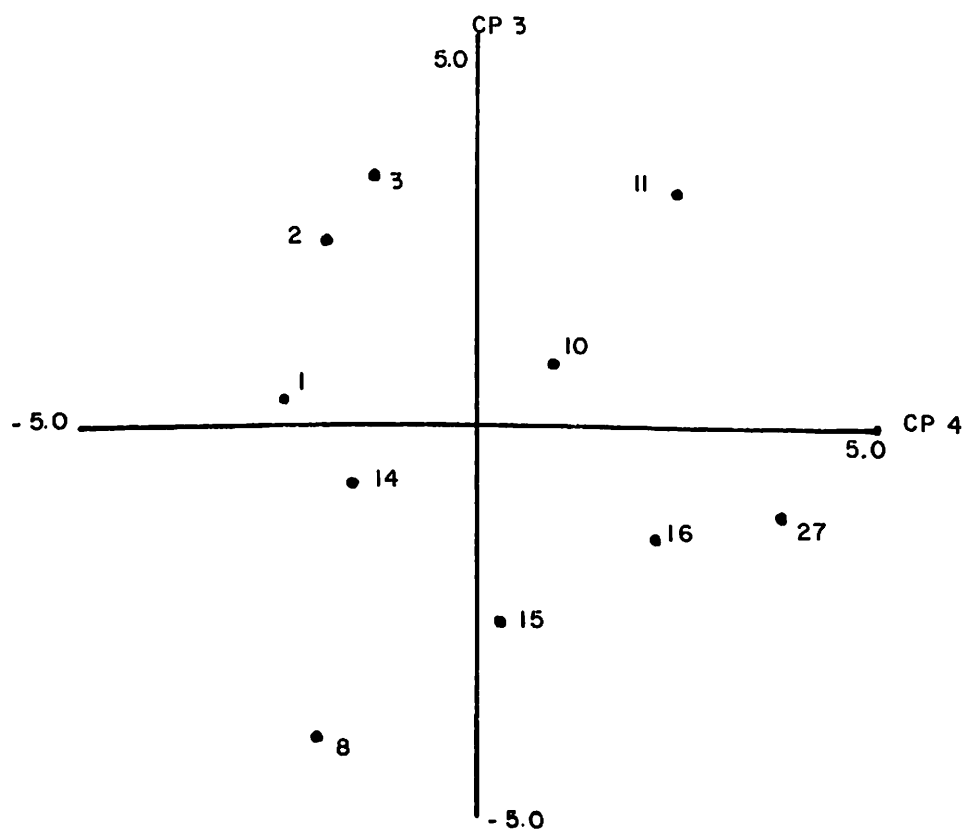


FIGURA 4.8. Espacio de sitios generado por los componentes 3 y 4 Opuntia rastrera.

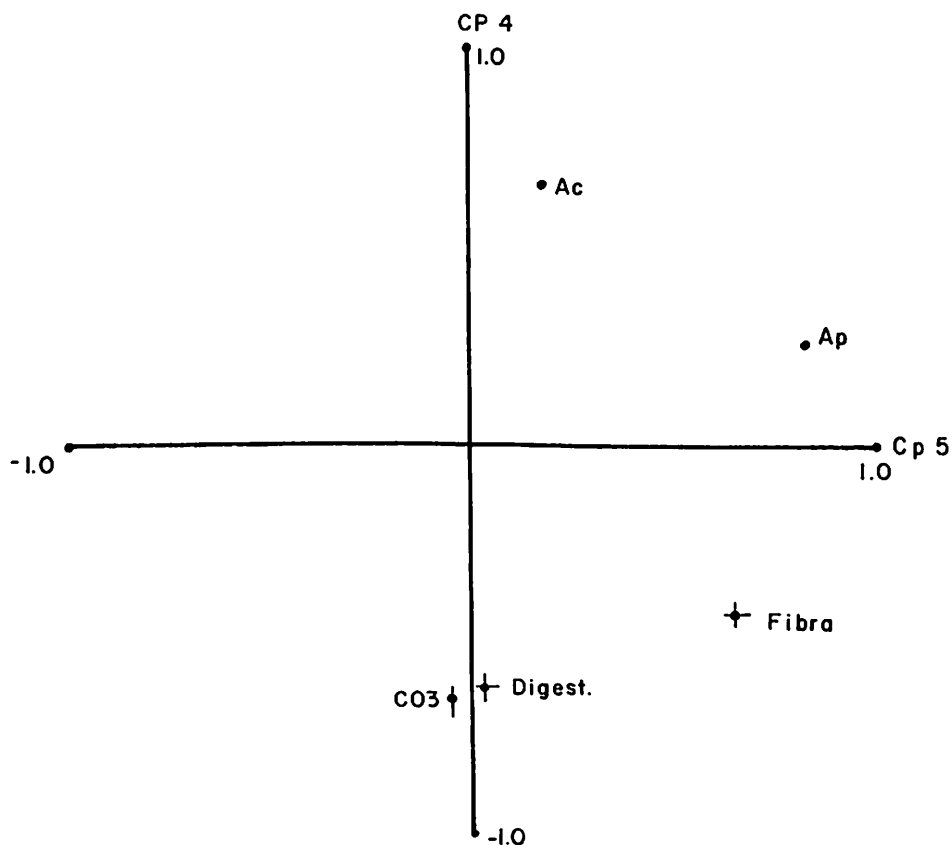


FIGURA 4.9. Espacio de variables generado por los componentes 4 y 5 Opuntia rastrera.

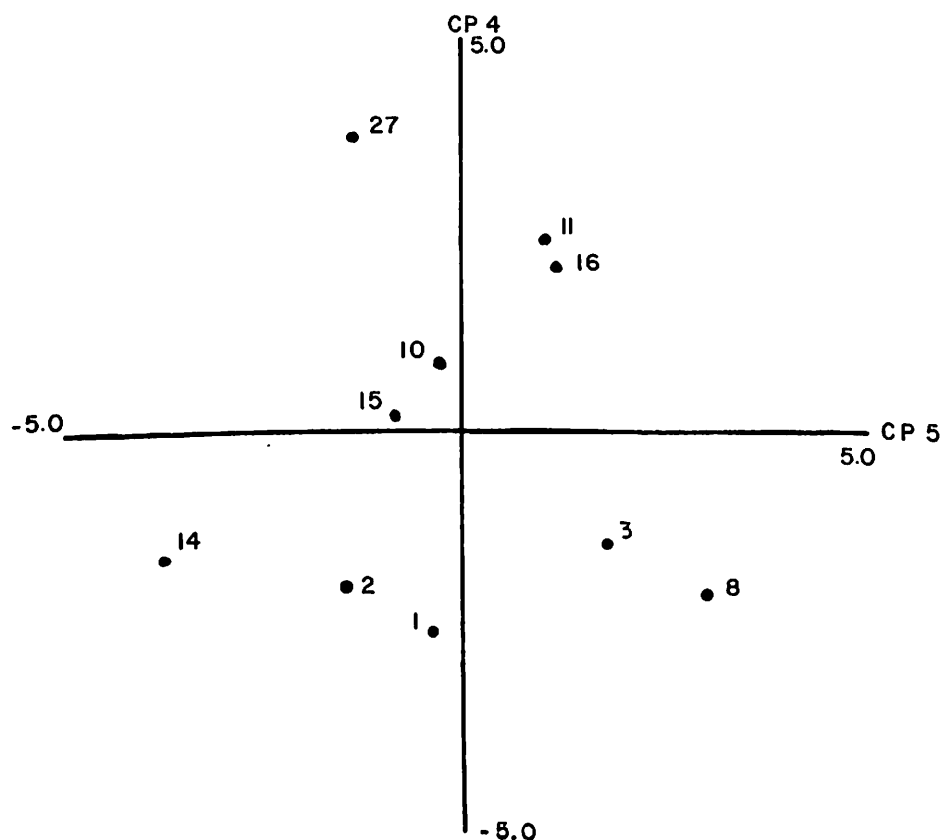


FIGURA 4.10. Espacio de sitios generado por los componentes 4 y 5 Opuntia rastrera.

CUADRO 4.8. Estadísticas elementales de las características morfológicas promedio por sitio (13 sitios) en plantas de Opuntia lindheimeri var. tricolor

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
Longitud de planta (cm)	523.0	174.0	380.07	10158.6	26.52
Número de niveles	4.0	1.9	2.90	.389	21.51
Número de ramificaciones	7.0	4.0	5.50	.950	17.70
Cladodios a rastrero	6.0	1.3	4.23	3.240	42.50
Cladodios total	79.0	27.0	54.60	188.51	25.10
Altura de planta (cm)	113.0	41.0	76.84	307.30	22.81
Hábito rastrero	13.5	1.7	5.46	7.50	50.02
Longitud de cladodio (cm)	24.5	13.3	18.91	7.00	13.99
Ancho de cladodios (cm)	22.1	13.6	18.51	7.91	15.19
Forma de cladodio	1.22	.84	1.02	.01	9.80
Grosor de cladodio (cm)	1.69	.68	1.17	.05	19.57
Peso de cladodio (gr)	566.0	133.0	378.4	14364.02	31.67
Diámetro de areola (cm)	.46	.30	.379	.002	11.60
Espinas por areola	3.20	.70	1.46	.434	45.13
Longitud de espinas radiales (cm)	2.00	.90	1.55	.108	21.22
Longitud de espina central (cm)	3.90	1.40	2.91	.734	29.45
Areolas por penca	38.90	17.90	28.29	32.947	20.28
Orientación de espinas	49.2	23.10	38.17	47.472	18.05
Longitud de fruto (cm)	5.4	1.70	3.74	1.44	32.08
Diámetro de fruto (cm)	3.85	1.95	2.76	.284	19.31
Forma de fruto	1.89	.80	1.33	.106	24.50

CUADRO 4.9. Estadísticas elementales de las características - bromatológicas promedio por sitio (13 sitios) en plantas de Opuntia lindheimeri var. tricolor.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
Proteína (%)	2.90	1.05	2.11	.289	25.50
Digestibilidad (%)	95.55	84.90	89.84	12.145	3.88
Fibra (%)	9.92	3.94	6.21	2.301	24.40
Extracto Etereo	8.99	4.47	6.41	2.120	22.71

CUADRO 4.10. Estadísticas elementales de las características ambientales por sitio (13 sitios) asociados con plantas de Opuntia lindheimeri var. tricolor.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
pH	7.90	7.3	7.60	.039	2.60
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	1.37	.53	.86	.081	33.25
Calcio (me/l)	10.10	3.60	6.91	4.08	29.23
Magnesio (me/l)	2.07	.33	1.10	.348	53.63
Sodio (me/l)	.80	.10	.34	.024	46.17
Potasio (me/l)	1.15	.06	.25	.073	108.00
Potasio (mg/100 gr)	86.0	9.0	26.69	351.937	70.29
Fósforo (ppm)	21.0	5.0	12.76	21.399	32.25
Nitratos (ppm)	77.0	1.0	23.38	647.702	108.85
Materia orgánica (%)	7.9	2.0	5.638	3.996	35.45
Carbonatos (%)	33.0	2.0	14.840	110.250	70.75
Arena (%)	53.1	21.2	43.830	61.779	17.93
Limo (%)	42.5	26.0	36.030	22.467	13.15
Arcilla (%)	22.5	9.4	18.000	24.206	27.33
% de Saturación de humedad	78.5	43.9	62.030	131.510	18.48
Altura sobre el nivel del mar	1800.0	1060.0	1451.900	50847.99	15.53
Pendiente (°)	35	0	11.84	78.801	74.97

tres grupos de variables correspondientes a esta especie. Algunas diferencias en variación morfológica con respecto a Opuntia rastrera son la mayor variabilidad en el número de areolas por penca y menor en la forma de los cladodios, tendiendo en este último caso a presentar cladodios generalmente circulares (media 1.02) con dimensiones similares en longitud y anchura. En las variables bromatológicas nuevamente la digestibilidad de la materia seca es la característica más estable. Asimismo, aunque las tendencias en variación de las características ambientales son similares a las asociadas con O. rastrera, es conveniente señalar, en este caso, mayores valores en materia orgánica, por ciento de saturación de humedad, altitud sobre el nivel del mar y pendiente, y menores en el contenido de CO_3 , Mg y fósforo. Lo anterior coincide con las tendencias de distribución de esta especie, definidas en la ordenación polar (Figura 4.2).

Los resultados obtenidos a partir del análisis de componentes principales para esta especie (Cuadro 4.11) muestran que los primeros cuatro componentes generados permiten explicar el 71.7 por ciento de la variación total y que se presenta, también, una representación relativamente buena de todas las variables, aunque con valores de h^2 menores que los de O. rastrera.

El primer componente (CP 1) generado representa básicamente un gradiente de fertilidad fosfórica y potásica, evidenciado por los altos valores para Ks, Ki y P; asociado directamente con el patrón de crecimiento de las plantas, ya que se presentan altos valores positivos para longitud de la

CUADRO 4.11. Pesos ajustados de las variables sobre los primeros cuatro componentes de un análisis de Componentes Principales de la información de Opuntia lindheimeri var. tricolor.

Variables	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
<u>Morfológicas</u>					
Longitud de planta	.79*	.22	-.12	.13	.70
Número de niveles	-.87*	.12	-.24	-.10	.84
Número de ramificaciones	.75*	.30	.05	.12	.66
Cladodios a rastrero	-.85*	.10	-.02	-.20	.77
Cladodios total	-.25	.66*	-.13	.29	.60
Altura de planta	-.59*	.46	-.27	-.38	.78
Hábito rastrero	.89*	-.29	-.12	.23	.94
Longitud de cladodios	.60*	.45	.15	-.46	.80
Ancho de cladodios	.47	.83*	.06	-.14	.93
Forma de cladodio	.01	.07	.30	.14	.11
Grosor de cladodio	-.04	-.18	-.80*	.38	.82
Peso de cladodio	.44	.73*	-.14	-.01	.14
Diámetro de areola	.65*	.34	.17	.18	.60
Espinas por areola	-.53	-.27	.45	-.36	.68
Longitud de espinas radiales	.01	.57*	-.38	-.07	.47
Longitud de espinas central	.29	.89*	-.14	.06	.90
Areolas por penca	.42	.72*	.32	-.14	.81
Orientación de espinas	-.41	.54	.27	-.38	.68
Longitud de fruto	.73*	.55	-.20	.04	.88
Diámetro de fruto	.78*	.21	-.33	.23	.81
Forma de fruto	.41	.67	-.01	-.16	.64
<u>Bromatológicas</u>					
Proteína	.26	-.17	-.37	-.49	.47
Digestibilidad	-.65*	-.07	.25	.54	.78
Fibra	.13	.14	-.11	-.66*	.48
Extracto etereo	-.15	-.05	-.71*	-.33	.64
<u>Ambientales</u>					
pH	.18	-.56*	-.48	-.49	.81
Conductividad eléctrica	-.43	.44	-.19	.64*	.82
Calcio soluble	-.41	.58*	.00	.53	.78
Magnesio soluble	-.32	-.23	-.81*	.05	.81
Sodio soluble	-.20	-.56	.65*	.12	.79
Potasio soluble	.58*	-.46	-.43	.35	.85
Potasio intercambiable	.63*	-.49	-.36	.37	.90
Fósforo	.75*	.25	.23	.00	.68
Nitrógeno (NO ₃)	-.50	.35	-.30	.43	.65
Materia orgánica	-.35	.78	.00	.16	.76
Carbonatos (CO ₃)	-.02	-.80*	.24	.37	.83
Arena	-.64*	.43	.09	-.31	.69
Limo	.16	.15	.72*	.29	.65
Arcilla	.01	-.21	-.27	-.04	.12
% de saturación de humedad	-.48	.65*	-.06	.31	.75
Altura sobre el nivel del mar	-.77	.31	-.24	.36	.87
Pendiente	-.54	.19	-.31	.26	.49
Eigenvalor	11.4	9.3	5.0	4.3	
% de varianza	27.2	22.1	12.0	10.3	
% acumulado	27.2	49.3	61.4	71.7	

planta, número de ramificaciones, hábito rastrero y negativos para número de niveles, cladodios a rastrero y altura de planta. Por otro lado, se observa también que este gradiente se asocia directamente con características indicadoras de rendimiento, tales como longitud de cladodio, longitud y diámetro de fruto, pero negativamente relacionado con la digestibilidad de la materia seca de las pencas. Teóricamente, las plantas que desarrollan en suelos con los mayores contenidos de K y P tienden a ser más rendidoras, manifestándose en una mayor tendencia de crecimiento horizontal y un mayor díametro de areolas pero en una menor digestibilidad. Este mismo componente también indica que los suelos con menor contenido de arena tienden a contener más fósforo y potasio, tanto soluble como intercambiable, lo cual se evidencia por el alto valor negativo asignado al por ciento de arena.

El segundo componente (CP 2) indica nuevamente un gradiente de acumulación y descomposición de materia orgánica, por los altos pesos positivos para materia orgánica y por - ciento de saturación de humedad y negativos para el pH, e inversamente relacionado con el contenido de CO_3 en el suelo. - Este gradiente se asocia directamente con características morfológicas indicadoras de rendimiento, tales como ancho y peso de los cladodios y con el número de areolas por penca, longitud de espinas y forma de fruto. Aparentemente los suelos con mayor acumulación de materia orgánica, pH más neutro y menor contenido de carbonatos pueden ser más productivos para esta especie, y las plantas con frutos alargados y espinas más - grandes son indicadoras de este fenómeno.

El tercer componente (CP 3) presenta una relación directa entre el contenido de magnesio en el suelo y el grosor y contenido de grasa de las pencas, evidenciando nuevamente la asociación entre fertilidad del suelo y el rendimiento. Una tendencia similar fue mostrada por O. rastrera para este nutriente. La relación inversa que se presenta entre esta variable y el sodio en el suelo, es un aspecto que no presenta alguna significancia biológica.

El componente 4 presenta una relación un tanto difícil de explicar, al correlacionar negativamente el contenido de fibra en las pencas con el contenido de calcio soluble en el suelo, sin ninguna manifestación morfológica en las plantas.

Los espacios de sitios y variables sobre los dos primeros componentes en las Figuras 4.11 y 4.12 permiten separar a los sitios 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 20 de los sitios 1, 5, 6 y 19. El primer grupo de sitios contiene las plantas con cladodios más pesados (± 440 gr), más anchos (± 20 cm), con espinas más grandes (radiales: ± 1.97 cm; centrales: ± 3.65 cm), frutos de mayor tamaño (± 4.3 cm de longitud); asociadas con suelos altos en materia orgánica (± 7.17 por ciento) y bajos en carbonatos (± 9 por ciento). En forma opuesta, el segundo grupo presenta plantas menos productivas, con cladodios más ligeros (± 244 gr), menos anchos (± 14.9 cm), espinas de menor tamaño (radiales: ± 1.3 cm; centrales: ± 1.97 cm), frutos más pequeños (± 2.16 cm) y de forma más globosa; en suelos bajos en materia orgánica (± 4.6 por ciento) y altos en carbonatos (incluso hasta 33 por ciento). La

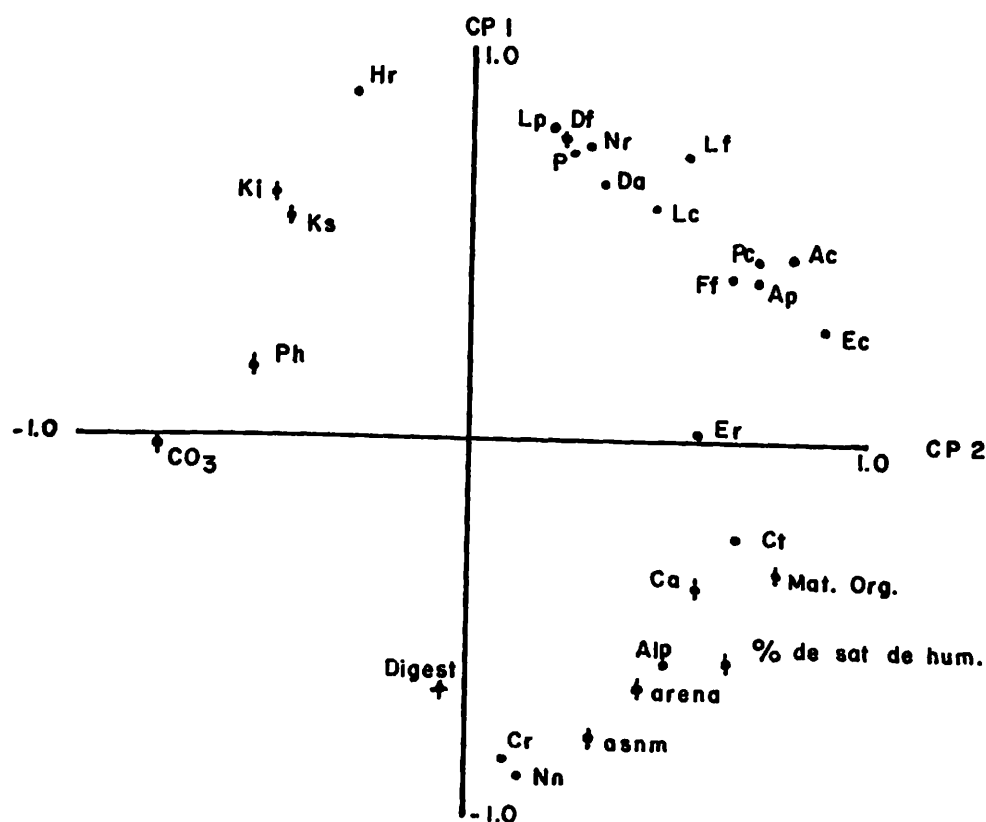


FIGURA 4.11. Espacio de variables generado por los componentes 1 y 2 Opuntia lindheimeri var. tricolor.

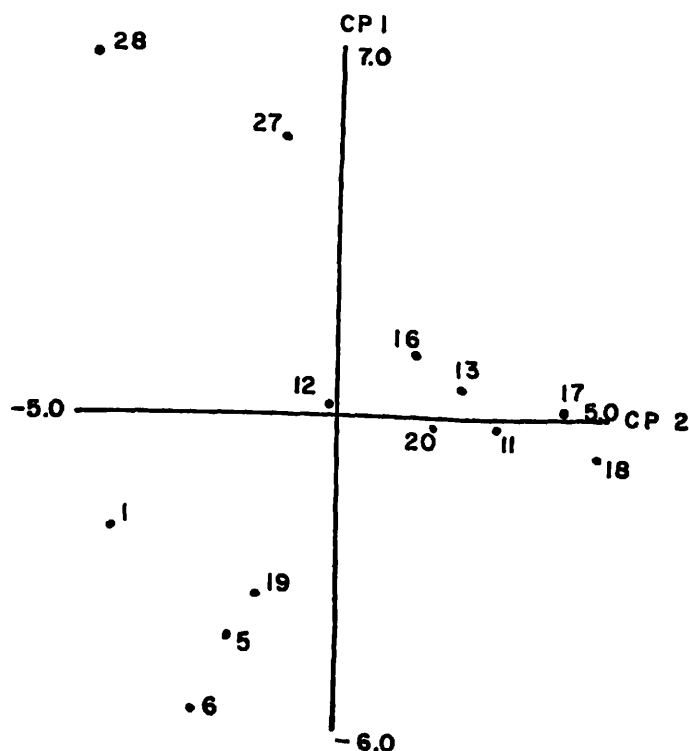


FIGURA 4.12. Espacio de sitios generado por los componentes 1 y 2 Opuntia lindheimeri var. tricolor.

evidente separación de los sitios 27 y 28 se debe básicamente a los altos valores de estos sitios en potasio y fósforo, en el gradiente de fertilidad definido por el componente 1, el cual se manifiesta por una tendencia de crecimiento más horizontal de las plantas (hábito rastrero: ± 10.8) en comparación a las demás (hábito rastrero: ± 6), en suelos de bajos porcentajes de arena (hasta 21.2 por ciento) y de escasa elevación sobre el nivel del mar (± 1150 m). El efecto de estos nutrientes también se manifiesta en algunas características morfológicas indicadoras del rendimiento tales como el tamaño y forma de los frutos.

Las figuras 4.13 y 4.14 representando los espacios de variables y sitios formados por los componentes 2 y 3 muestran, además de la misma separación de sitios mencionada anteriormente y definida por el CP 2, una separación de los sitios 5, 18, 19, 20 y 28 debida a un mayor grosor (± 1.34 cm) y acumulación de grasa (± 7.7 por ciento) en los cladodios de las plantas, en suelos con altos contenidos de magnesio (± 1.678 me/l) en comparación a los demás sitios. La separación de los sitios 18 y 20 de los anteriores se explica fundamentalmente por que estos presentan suelos con menor contenido de sodio soluble (incluso .10 me/l) que representan los límites mínimos extremos de este compuesto, señalados en el Cuadro 4.10.

Las Figuras 4.15 y 4.16 muestran el espacio de variables y de sitios formado por los componentes 3 y 4 en las cuales puede observarse que el sitio 17 representa el punto máximo extremo de acumulación de fibra en las pencas de las

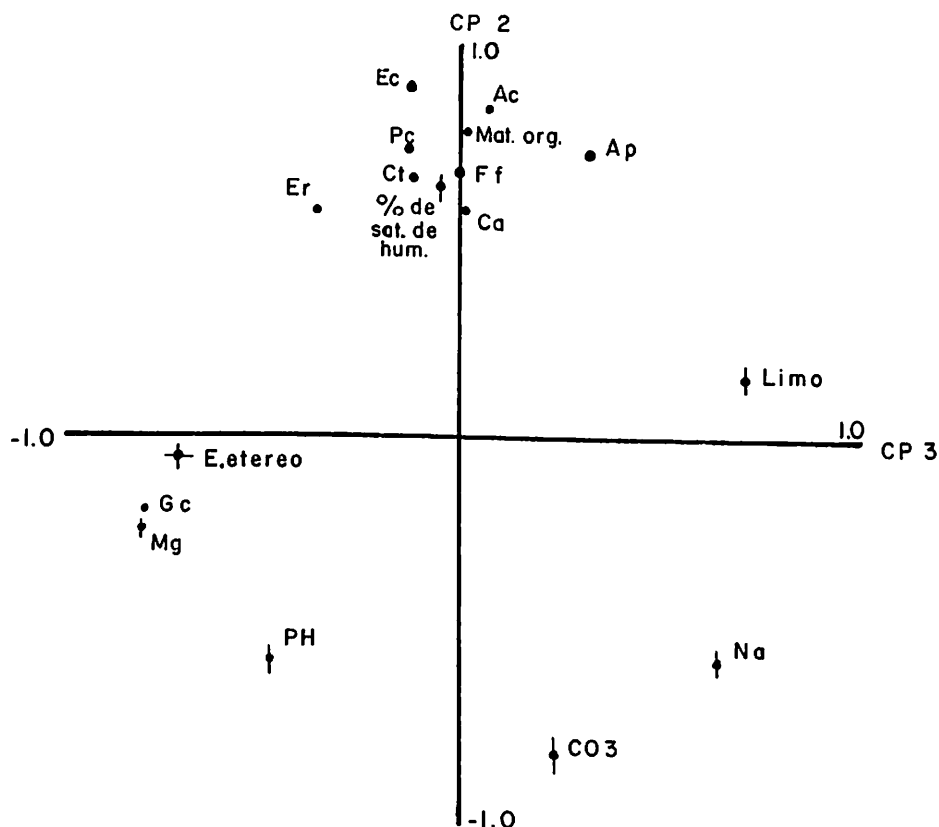


FIGURA 4.13. Espacio de variables generado por los componentes 2 y 3 Opuntia lindheimeri var. tricolor.

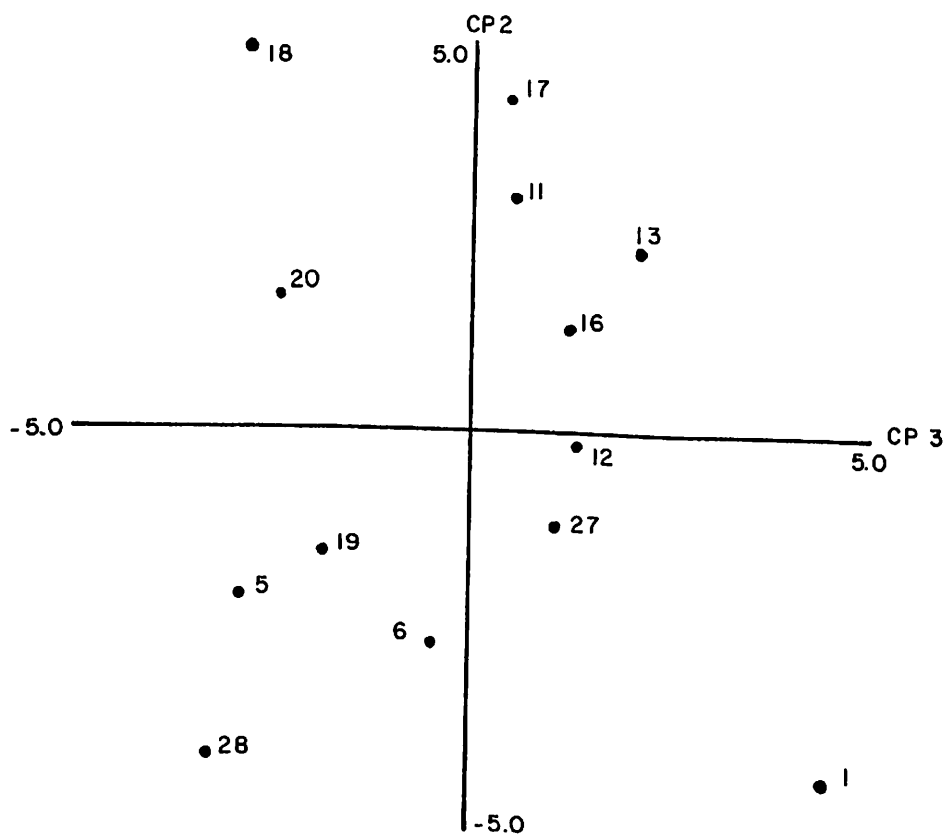


FIGURA 4.14. Espacio de sitios generado por los componentes 2 y 3 Opuntia lindheimeri var. tricolor.

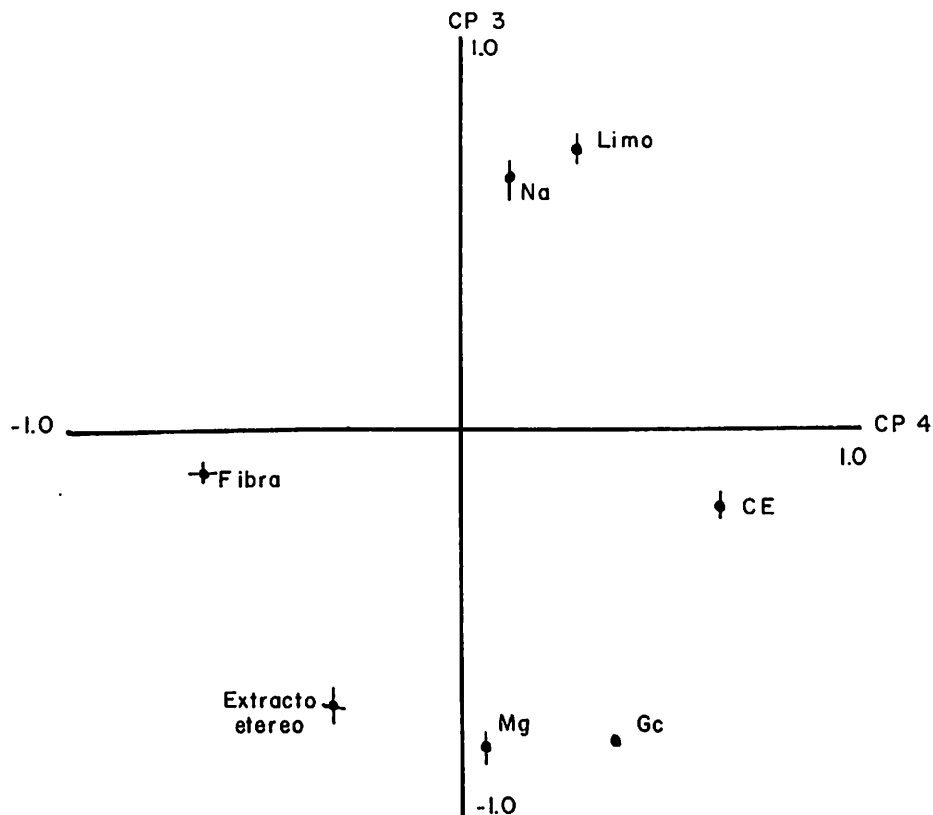


FIGURA 4.15. Espacio de variables generado por los componentes 3 y 4 Opuntia lindheimeri var. tricolor.

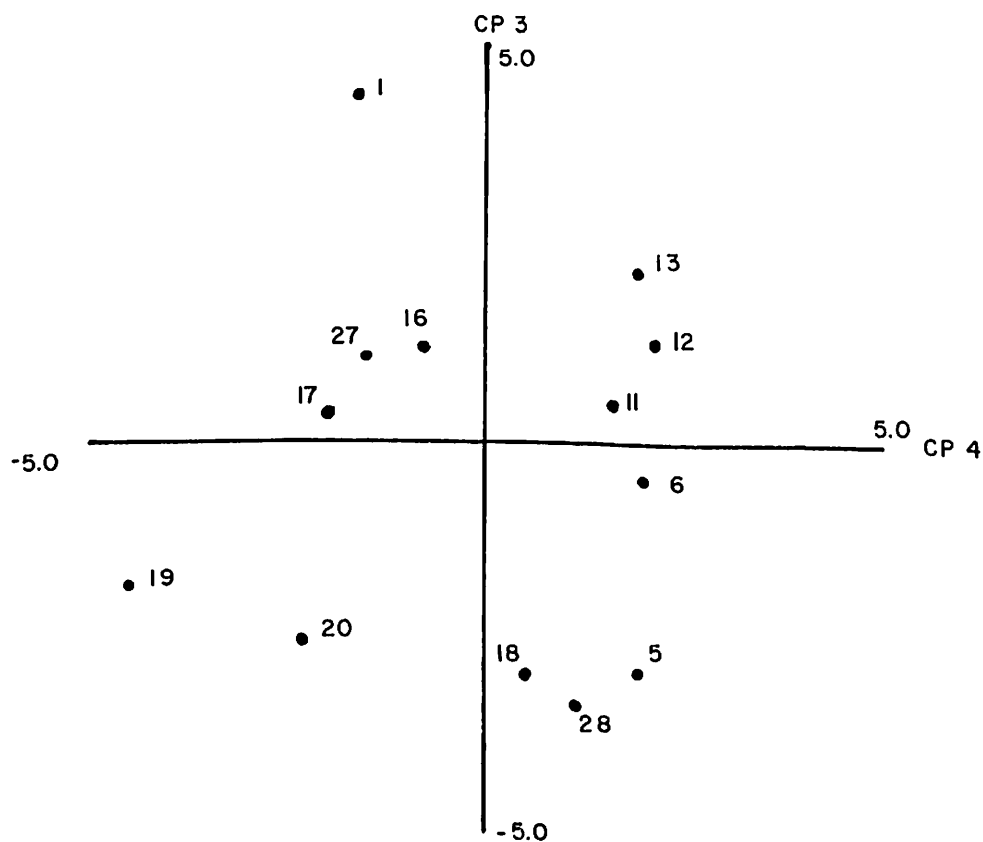


FIGURA 4.16. Espacio de sitios generado por los componentes 3 y 4 Opuntia lindheimeri var. tricolor.

plantas con alrededor de 9.92 por ciento, seguido por el sitio 27 con 7.64 por ciento y el 19 con 7.29 por ciento, todos desarrollando en suelos de baja salinidad (menos de .9 mmhos/cm).

Aunque en este análisis no se presenta una relación consistente entre ninguna variable con el contenido de proteína en las pencas, es conveniente señalar que el punto máximo extremo de este compuesto se presenta en las plantas que desarrollan en el sitio 19 con aproximadamente 2.9 por ciento, mientras que el mínimo valor se presenta en el sitio 6 con 1.05 por ciento.

Opuntia lindheimeri var. lindheimeri

Las estadísticas elementales de los tres grupos de variables en esta especie, se muestran en los Cuadros 4.12, 4.13 y 4.14, sin embargo, es conveniente señalar que dentro de las variables morfológicas se eliminaron las correspondientes a la longitud, diámetro y forma de frutos, ya que muchas de las plantas evaluadas, en algunos sitios, no presentaban esta estructura. La variable morfológica que presentó el menor coeficiente de variación fue la forma de los cladodios, presentandose por lo general formas ligeramente alargadas muy similares a las de O. rastrera. En las variables bromatológicas y las características ambientales asociadas con estas plantas, las tendencias fueron muy similares a las presentadas por las dos especies anteriores, aunque con límites extremos (Mínimos y máximos) y medias diferentes en la mayoría de

CUADRO 4.12. Estadísticas elementales de las características morfológicas promedio por sitio (10 sitios) en plantas de Opuntia lindheimeri Engelman var. lindheimeri.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
Longitud de planta (cm)	922.60	331.60	622.99	27995.98	26.85
Número de niveles	4.86	2.33	3.01	.506	23.60
Número de ramificaciones	13.00	5.00	8.47	5.313	27.21
Cladodios a rastrero	6.00	2.00	3.26	1.234	34.03
Cladodios total	147.20	69.30	95.55	476.72	22.85
Altura de planta (cm)	93.30	59.60	74.35	121.79	14.84
Hábito rastrero	13.68	3.90	8.43	6.864	31.06
Longitud de cladodio (cm)	25.30	16.10	19.78	11.916	17.44
Ancho de cladodio (cm)	23.90	14.30	17.26	9.217	17.58
Forma de cladodio (cm)	1.27	1.04	1.15	.006	6.68
Grosor de cladodio (cm)	2.09	1.00	1.41	.079	20.00
Peso de cladodio (gr)	896.0	252.3	419.34	34532.79	44.31
Diámetro de areola (cm)	.77	.37	.57	.009	16.60
Espinas por areola	5.76	2.60	4.35	1.136	24.48
Longitud de espinas radial (cm)	2.26	.92	1.41	.165	28.94
Longitud de espinas central (cm)	2.76	1.57	2.08	.143	18.15
Areolas por penca	35.10	18.40	26.14	16.435	15.50
Orientación de espinas (°)	39.40	24.40	30.40	15.840	13.09

CUADRO 4.13. Estadísticas elementales de las características bromatológicas promedio por sitio (10 sitios) en plantas de Opuntia lindheimeri var. lindheimeri.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Variable	Coefficiente de variación (%)
Proteína (%)	4.00	1.05	2.42	.562	31.00
Digestibilidad (%)	93.60	85.24	89.22	6.345	2.80
Fibra (%)	10.50	5.44	7.32	3.090	24.00
Extracto etereo	9.50	5.19	7.14	2.575	22.47

CUADRO 4.14. Estadísticas elementales de las características ambientales por sitio (10 sitios) asociadas con plantas de Opuntia lindheimeri var. lindheimeri.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficiente de variación (%)
pH	8.15	7.46	7.87	.039	2.50
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	2.44	.53	1.15	.277	45.55
Calcio (me/l)	12.50	3.44	6.84	6.959	38.55
Magnesio (me/l)	4.43	.74	1.67	1.036	60.88
Sodio (me/l)	5.08	.15	1.00	1.985	140.61
Potasio (me/l)	1.52	.36	1.01	.140	36.93
Potasio (mg/100 gr)	62.20	21.80	41.32	173.712	31.89
Fósforo (ppm)	25.60	3.60	14.23	58.52	53.76
Nitrógeno (NO ₃) (ppm)	70.20	2.90	17.89	406.18	112.64
Materia orgánica (%)	5.56	1.68	3.01	1.366	38.85
Carbonatos (PO ₃) (%)	34.60	19.60	27.50	18.584	15.67
Arena (%)	55.40	45.80	49.53	9.241	6.13
Limo (%)	39.30	33.60	37.09	3.236	4.85
Arcilla (%)	17.43	9.71	13.25	4.650	16.27
% de Saturación de humedad	60.40	44.80	54.02	23.357	8.94
Altura sobre el nivel del mar (m)	1800.0	1160.0	1480.50	35362.05	12.70
Pendiente (°)	13	1.0	4.4	12.489	80.15

los casos. Es importante señalar que esta especie fue la que presentó las plantas con el máximo contenido de proteína (4 por ciento), aunque con una media ligeramente inferior a la de O. rastrera.

El análisis de componentes principales desarrollado sobre la información de esta especie se resume en el Cuadro 4.15 en el cual se observa que los primeros cinco componentes generados explican el 84.6 por ciento de la variación total, y que también en este caso se explica la mayor proporción de la variación de la mayoría de las variables, como muestran nuevamente los valores de h^2 .

El Cuadro 4.15, muestra claramente que el primer componente generado (CP 1) representa un gradiente complejo de acumulación de materia orgánica y fertilidad del suelo, como lo muestran los altos "pesos" (negativos) para materia orgánica, altura sobre el nivel del mar, pendiente, NO_3 , y Mg; asociado directamente con el grosor de los cladodios, que también presenta pesos negativos, e inversamente con el tamaño y forma de crecimiento de las plantas, lo cual a su vez, se evidencia por los pesos positivos para longitud de planta, número de ramificaciones, cladodios total y hábito rastrero. Aparentemente el número de espinas en las areolas de las plantas y el contenido de proteína se correlacionan también negativamente con este gradiente ambiental. La correlación positiva que se presenta entre el contenido de magnesio en el suelo y el grosor de los cladodios en las plantas se presentó igualmente para las dos especies anteriores (O. rastrera y O. lindheimeri var. tricolor) y la relación negativa entre el

CUADRO 4.15. Pesos ajustados de las variables sobre los primeros cinco componentes de un análisis de Componentes Principales de la información de Opuntia lindheimeri var. lindheimeri Lynch.

Variables	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	h^2
<u>Morfológicas</u>						
Longitud de planta	.71*	.52	-.22	-.12	.27	.91
Número de niveles	-.14	.06	.48	.46	.45	.67
Número de ramificaciones	.78*	-.11	.13	-.07	.38	.78
Cladodios a rastrero	-.39	.28	.80*	-.09	.03	.88
Cladodios total	.78*	-.19	.03	.14	.12	.68
Altura de planta	-.51	.76*	-.24	-.05	-.12	.91
Hábito rastrero	.82*	.06	-.17	-.08	.33	.82
Longitud de cladodio	-.21	.62	-.70*	-.19	.07	.96
Ancho de cladodio	-.19	.69*	-.48	-.47	.11	.97
Forma de cladodio	.06	-.11	-.52	.66*	-.09	.73
Grosor de cladodio	-.76*	.15	-.43	.09	.30	.88
Peso de cladodio	-.57	.48	-.62	-.11	.18	.93
Diámetro de areola	.62	.56	-.30	-.33	-.03	.89
Espinas por areola	.92*	.26	.17	.06	-.05	.95
Longitud de espinas radial	-.39	.81*	.23	.06	-.09	.87
Longitud de espinas central	-.28	.70*	.25	.27	.06	.70
Areolas por penca	.07	.19	-.90*	-.09	.19	.89
Orientación de espinas	.02	.70*	.22	-.03	-.11	.55
<u>Bromatológicas</u>						
Proteína	.63*	.59	-.11	-.13	-.17	.80
Digestibilidad	-.59	.57	.13	.32	-.23	.84
Fibra	.18	.76*	.43	.23	-.20	.89
Estracto etereo	.13	-.43	-.32	.21	-.49	.59
<u>Ambientales</u>						
pH	.29	.13	.67*	-.50	.18	.83
Conductividad eléctrica	-.02	-.04	-.05	.53	.83*	.97
Calcio soluble	.03	-.05	-.09	.57	.74*	.88
Magnesio soluble	-.76*	.06	-.53	.23	.20	.95
Sodio soluble	.18	.05	.24	.40	.76*	.83
Potasio soluble	.31	-.57	-.37	-.27	.52	.90
Potasio intercambiable	-.04	-.12	-.43	-.82*	.29	.95
Fósforo	.22	.56	-.35	.54	-.19	.81
Nitrógeno (NO ₃)	-.86*	.08	-.40	.21	.12	.96
Materia orgánica	-.91*	-.25	.10	-.17	.16	.95
Carbonatos (CO ₃)	.13	-.78*	-.23	.08	-.17	.71
Arena	.43	-.25	-.43	.46	-.44	.83
Limo	.02	.47	.22	-.19	.26	.37
Arcilla	-.62	-.05	.42	-.49	.40	.96
% de saturación de humedad	-.61	-.60	.00	-.18	-.01	.76
Altitud sobre el nivel del mar.	-.72*	-.53	-.06	-.20	-.14	.86
Pendiente	-.68*	-.01	.54	.29	-.08	.84
Eigenvalor	10.52	7.99	6.24	4.28	3.97	
% de varianza	26.97	20.49	16.00	10.98	10.19	
% acumulado	26.97	47.47	63.47	74.46	84.65	

contenido de proteína en las pencas y los porcentajes de materia orgánica en el suelo y pendiente del terreno se manifestó igualmente en O. rastrera.

El segundo componente (CP 2) relaciona básicamente el tamaño y disposición de las espinas (orientación) con la anchura de los cladodios, contenido de fibra y altura de las plantas, negativamente correlacionados, a su vez, con el contenido de carbonatos en el suelo.

Los "pesos" de las variables sobre el tercer componente (CP 3) señalan una correlación positiva entre el número de areolas por penca y la longitud del cladodio, y negativa entre estas variables y el pH del suelo. Aparentemente, se presentan cladodios de mayor longitud y número de areolas en suelos menos alcalinos.

El cuarto componente (CP 4) presenta una correlación negativa entre la forma de los cladodios en las plantas y el contenido de potasio intercambiable (Ki) en el suelo, en una tendencia similar a la presentada para Opuntia rastrera y mostrada anteriormente en el Cuadro 4.7.

Finalmente, el quinto componente (CP 5) representa un gradiente de salinidad, evidenciado por los altos "pesos" positivos para Conductividad, Calcio y sodio solubles, pero sin ninguna influencia en la morfología ni contenido bromatológico de las plantas de esta especie.

Las Figuras 4.17 y 4.18 en las cuales se muestra gráficamente la proyección de variables y sitios en los dos primeros componentes, señalan una separación del sitio 3 con respecto a los sitios 5 y 7; el primer sitio (3) con plantas

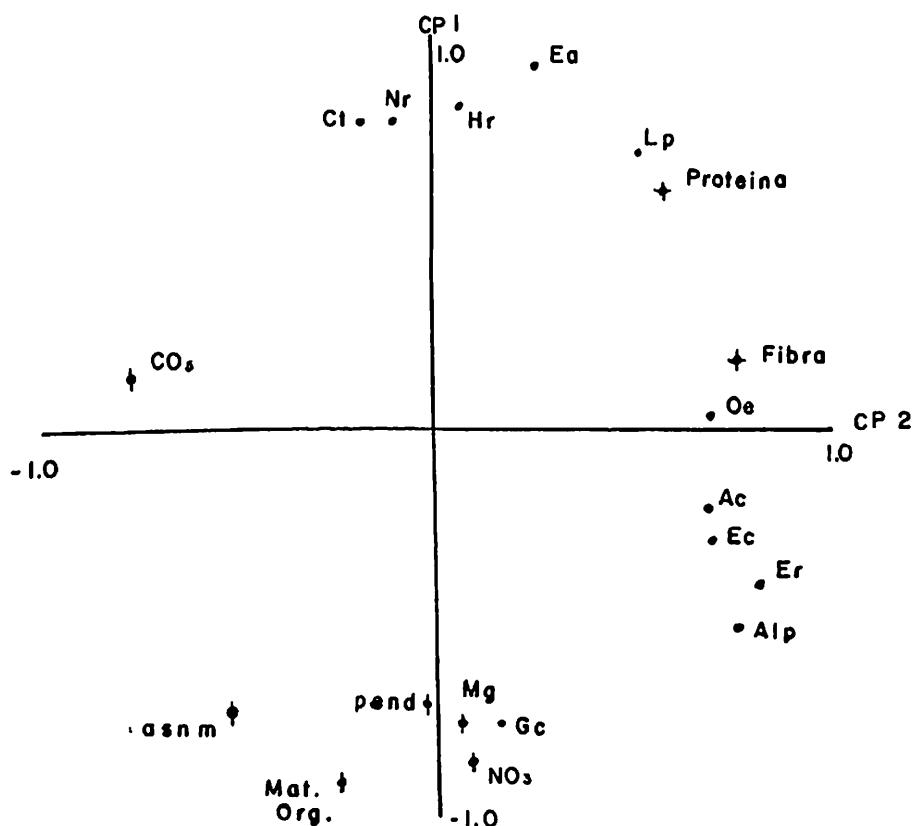


FIGURA 4.17. Espacio de variables generado por los componentes 1 y 2 Opuntia lindheimeri var. lindheimeri.

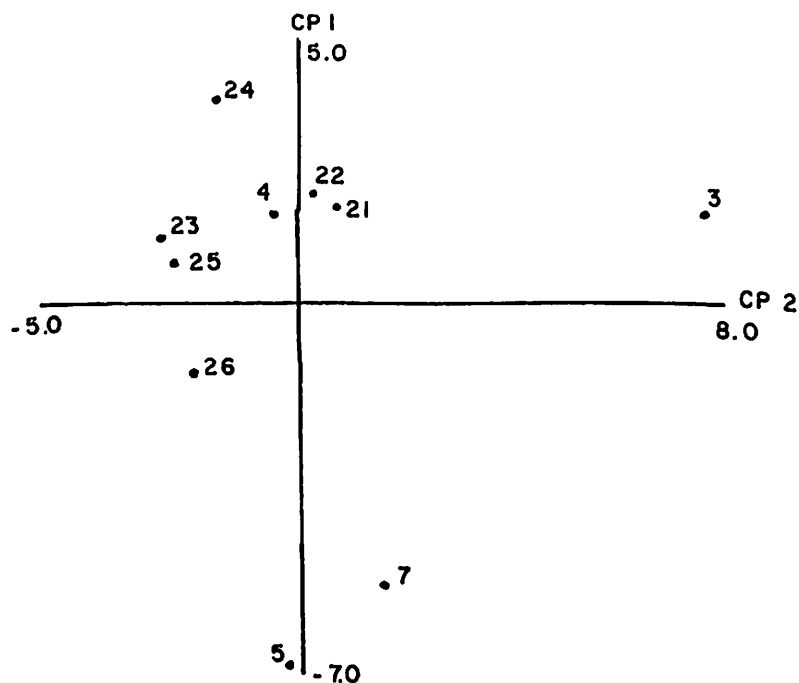


FIGURA 4.18. Espacio de sitios generado por los componentes 1 y 2 Opuntia lindheimeri var. lindheimeri.

más grandes (922 cm de longitud y 93 cm de altura), de mayor contenido de proteína (4 por ciento) y fibra (10.5 por ciento), espinas de mayor tamaño (radiales: 2.26 cm; centrales: 2.76 cm), en suelos con los menores contenidos de materia orgánica (1.83 por ciento) y carbonatos (10.6 por ciento) pendientes planas y escasa elevación sobre el nivel del mar (1160 m), mientras que los sitios 5 y 7 presentan las plantas con el menor contenido de proteína (± 1.44 por ciento) en suelos con los más altos valores en materia orgánica (± 4.9 por ciento) en pendientes hasta de 13° , sin embargo, presentan cladodios más gruesos, aunque no necesariamente más pesados, asociados con los más altos contenidos de magnesio y NO_3 en el suelo, ± 3.4 me/l y ± 54.6 ppm, respectivamente. El resto de los sitios se distribuyen en puntos intermedios de ambos gradientes, presentando plantas con contenidos medios de proteína y de medios a bajos valores de fibra. Esa distribución de sitios coincide básicamente con la distribución señalada en la ordenación polar, pero esta última realizada en función a los valores de densidad estimados para esta especie en cada sitio.

Las proyecciones de las variables y los sitios sobre los componentes 2 y 3 representadas en las Figuras 4.19 y 4.20 separa nuevamente al sitio 3 y al sitio 7 del resto de los sitios, el primero, como se mencionó anteriormente por los altos contenidos de fibra y tamaño de las espinas y el segundo fundamentalmente por el menor número de cladodios a rastrero en las plantas (2.0) en suelos con el menor pH (7.46); ambos sitios con los cladodios de mayor tamaño

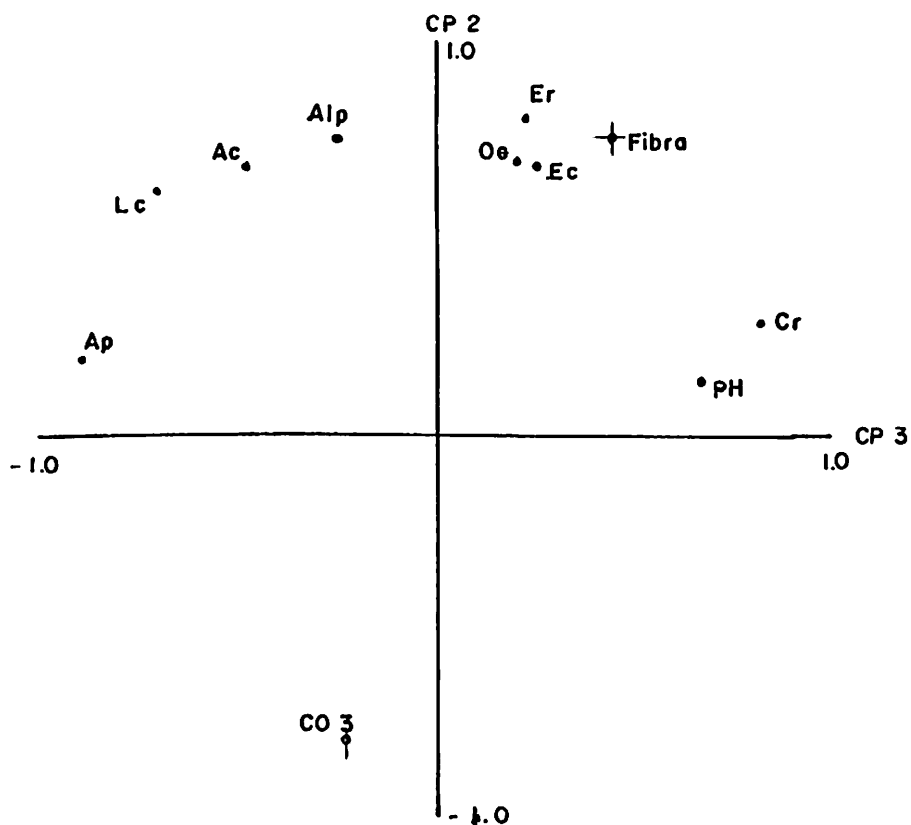


FIGURA 4.19. Espacio de variables generado por los componentes 2 y 3 Opuntia lindheimeri var. lindheimeri.

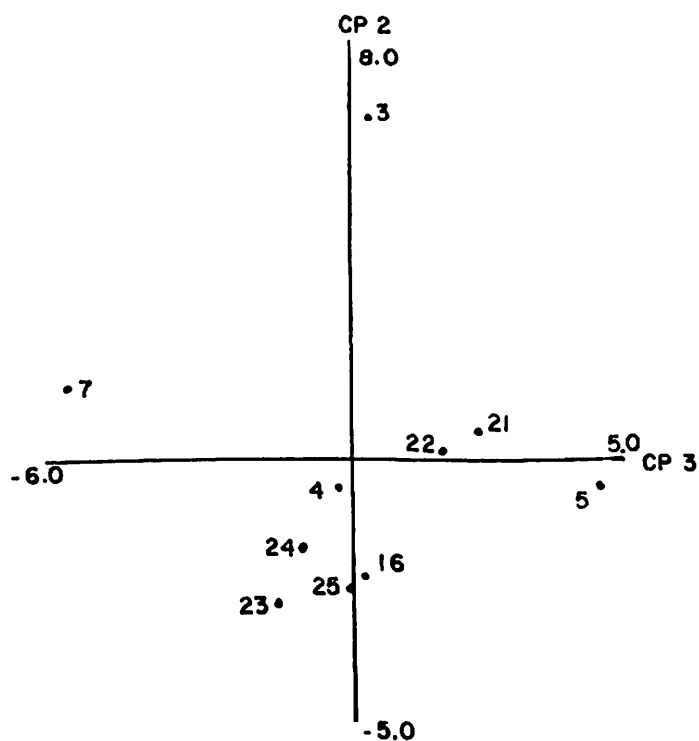


FIGURA 4.20. Espacio de sitios generado por los componentes 2 y 3 Opuntia lindheimeri var. lindheimeri.

(longitud: 16.1 cm; anchura: 15.5 cm) en plantas que no manifiestan el hábito rastrero, ya que a partir del tronco parental es muy difícil que otro cladodio entre en contacto con el suelo.

Finalmente, las Figuras 4.21 y 4.22 en las cuales se presentan las proyecciones de variables y sitios sobre los componentes 3 y 4 permiten observar nuevamente la separación drástica de los sitios 5 y 7 del resto, por efecto de los valores que presentan en relación a la forma del cladodio, el primero representando a las plantas con pencas de forma redondeada, mientras que el segundo a las pencas de formas más alargadas. El sitio 21 presenta planta con pencas también alargadas pero en suelos de menor contenido de potasio intercambiable.

Opuntia phaeacantha var. discata

Las estadísticas elementales mostradas en los Cuadros 4.16, 4.17 y 4.18 para los tres grupos de variables asociadas con plantas de esta especie, muestran; para las morfológicas, tamaños de plantas y pencas consistentemente mayores que para las tres especies anteriores, sin embargo, las tendencias en variación de todas estas características son, en alguna forma, similares entre las cuatro especies. Las características bromatológicas muestran nuevamente una menor variación porcentual para la digestibilidad de la materia seca, pero en este caso, también el contenido de grasas (extracto etéreo) presenta porcentajes de variación menor que las

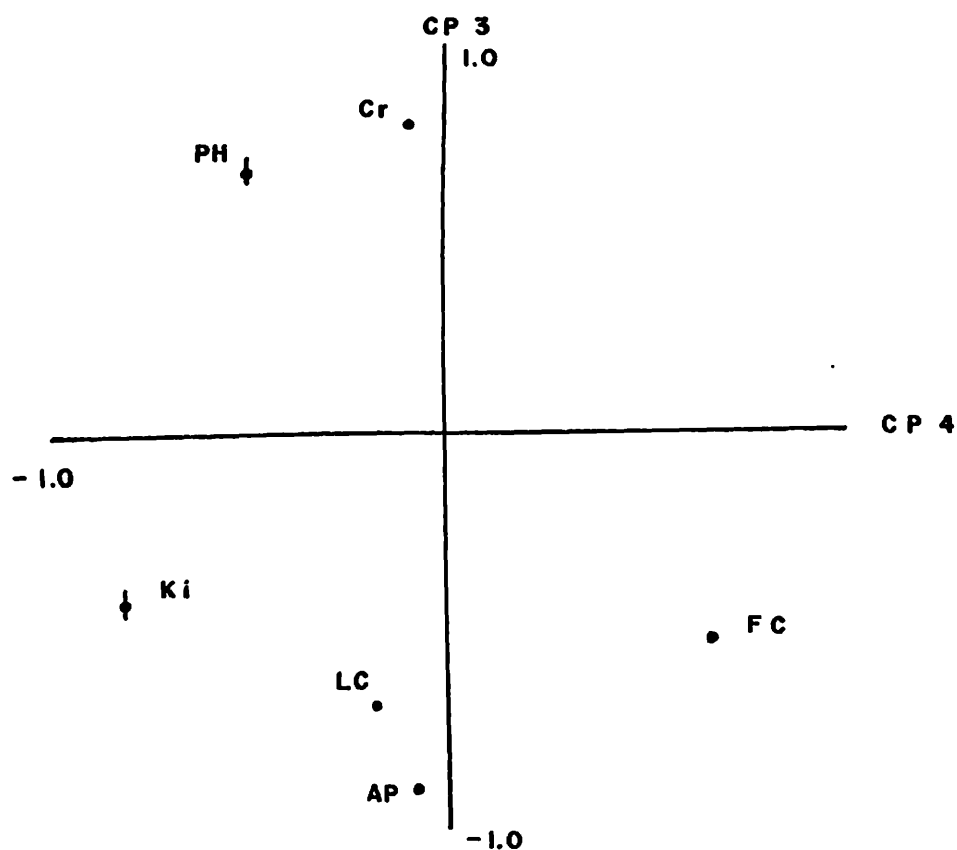


FIGURA 4.21. Espacio de variables generado por los componentes 3 y 4 *Opuntia lindheimeri* var. *lindheimeri*.

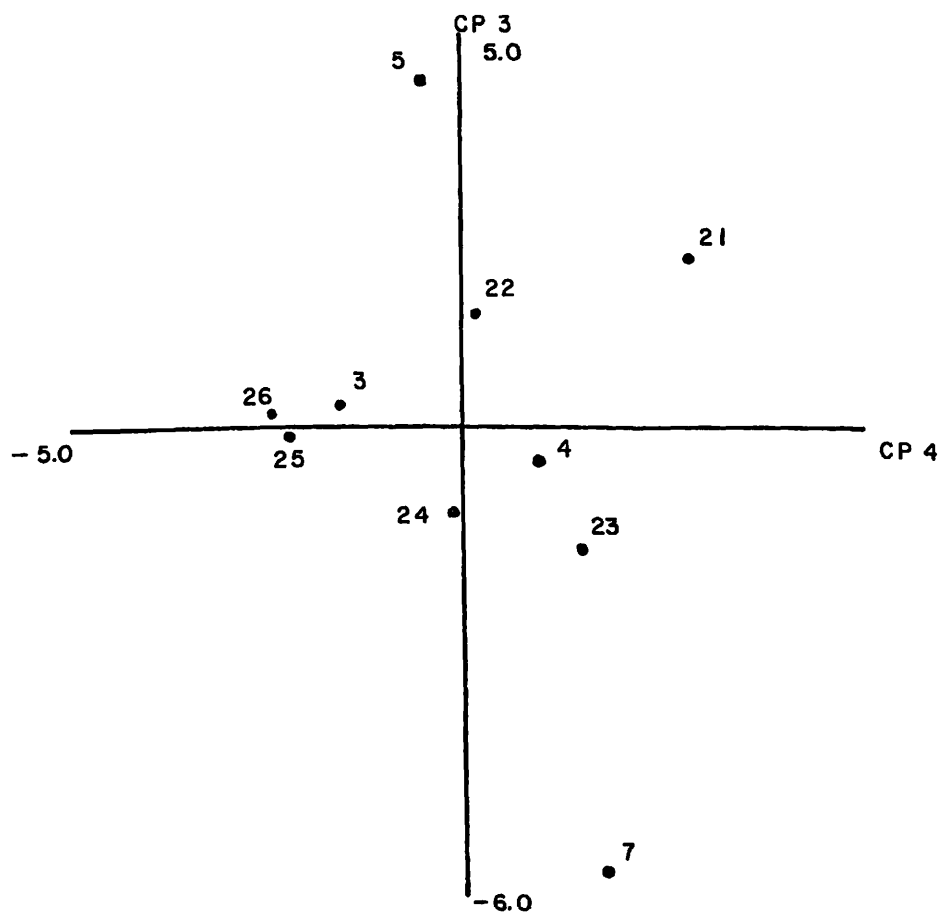


FIGURA 4.22. Espacio de sitios generado por los componentes 3 y 4 *Opuntia lindheimeri* var. *lindheimeri*.

CUADRO 4.16. Estadísticas elementales de las características morfológicas promedio por sitio (12 sitios) en plantas de Opuntia phaeacantha var. discata.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Varianza	Coefficien de Variac (%)
Longitud de planta (cm)	1005.0	362.5	678.50	58351.2	35.60
Número de niveles	3.10	1.73	2.34	.167	17.47
Número de ramificaciones	11.20	4.5	6.70	4.579	31.94
Cladodios a rastreo	3.25	0.0	2.45	.689	33.82
Cladodios total	138.50	39.0	78.21	990.04	40.23
Altura de planta (cm)	110.00	50.0	76.04	356.79	24.04
Hábito rastrero	18.30	5.45	8.96	9.597	34.57
Longitud de cladodio (cm)	29.30	20.30	23.94	6.315	10.49
Ancho de cladodio (cm)	22.68	18.86	20.66	1.483	5.89
Forma de cladodio	1.30	.96	1.15	.013	9.88
Grosor de cladodio (cm)	2.33	1.19	1.71	.152	22.79
Peso de cladodio (gr)	1007.5	513.0	736.47	24339.	21.18
Diámetro de areola (cm)	.69	.40	.52	.007	16.61
Espinas por areola	5.00	1.67	2.97	.921	32.31
Longitud de espina radial (cm)	1.77	1.10	1.37	.04	14.37
Longitud de espina central (cm)	2.55	1.53	2.13	.07	12.43
Areolas por penca	36.50	24.10	31.44	10.80	10.45
Orientación de espinas (°)	37.70	16.10	29.75	35.80	20.11
Longitud de fruto (cm)	5.00	2.75	3.55	.388	17.54
Diámetro de fruto (cm)	4.00	2.06	2.85	.301	19.26
Forma de fruto	1.43	.97	1.24	.023	12.24

CUADRO 4.17. Estadísticas elementales de las características bromatológicas promedio por sitio (12 sitios) en plantas de Opuntia phaeacantha var. discata.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Media	Variable	Coefficiente de variación (%)
Proteína (%)	3.37	1.15	2.19	.415	29.40
Digestibilidad (%)	94.11	82.67	89.08	12.346	3.90
Fibra (%)	9.41	4.54	7.11	3.954	24.17
Extracto etereo (%)	8.04	5.14	6.46	.915	14.80

CUADRO 4.18 Estadísticas elementales de las características ambientales por sitio (12 sitios) asociadas con plantas de Opuntia phaeacantha var. discata.

Variable	Valor	Valor	Media	Varianza	Coefficient de variaci (%)
pH	8.30	7.20	7.61	.1232	4.60
Conduct. eléctrica (mmhos/cm)	1.80	.62	1.11	.139	33.60
Calcio (me/l)	12.90	2.70	8.40	15.594	47.01
Magnesio (me/l)	3.45	.60	1.79	.664	45.53
Sodio (me/l)	1.16	.20	.47	.079	59.62
Potasio (me/l)	1.30	.08	.54	.165	75.37
Potasio (mg/100 gr)	85.0	17.50	42.60	361.380	44.62
Fósforo (ppm)	43.60	7.70	18.80	89.302	50.26
Nitrógeno (NO ₃) (ppm)	100.50	2.10	34.40	1192.320	100.37
Materia orgánica (%)	6.75	2.14	4.29	2.592	37.53
Carbonatos (CO ₃) (%)	38.50	5.00	24.51	69.840	34.09
Arena (%)	50.60	37.50	42.63	17.724	9.87
Limo (%)	45.00	32.00	40.56	12.110	8.57
Arcilla (%)	24.50	10.10	16.67	13.542	22.06
% de sat. de Hum.	68.10	48.00	58.19	32.262	9.76
asnm (m)	1140.0	1740.00	1447.5	28585.341	11.68
Pendiente (°)	20.0	1.00	6.16	22.090	76.29

otras especies (14.8 por ciento). Nuevamente las características ambientales más estables son el pH, por ciento de arena, por ciento de limo y por ciento de saturación de humedad del suelo, presentando coeficientes de variación de 4.6, 8.5, 9.7 y 9.8 por ciento, respectivamente.

Los primeros cinco componentes generados del análisis de Componentes Principales de la información de esta especie explican en su conjunto el 75.3 por ciento de la variación total, tal como se muestra en el Cuadro 4.19. En este mismo cuadro, se puede observar que el primer componente (CP 1) nuevamente representa al gradiente de acumulación y descomposición de la materia orgánica, ya que también se presentan los "pesos" más elevados para materia orgánica y limo correlacionados negativamente con el pH. Este gradiente ambiental se asocia, en esta especie, positivamente con el tamaño de las plantas (longitud, altura y número de ramificaciones de las plantas) y con características morfológicas relacionadas con rendimiento, como son: longitud y anchura de cladodios y longitud y diámetro de frutos; aunque se correlaciona negativamente con la orientación de las espinas. Aparentemente las plantas de mayor tamaño y con cladodios más grandes presentan mayor contenido de grasas, como se muestra por elevado "peso" positivo para el extracto etéreo en este componente.

El segundo componente (CP 2) presenta un gradiente ambiental difícil de explicar, ya que correlaciona directamente el contenido de NO_3 con la conductividad eléctrica del suelo. Aparentemente representa un gradiente de fertilidad de suelo, asociado positivamente con el grosor y peso del -

CUADRO 4.19. Pesos ajustados de las variables sobre los primeros cinco componentes de un análisis de componentes principales de la información de Opuntia phaeacantha var. discata

Variables	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	h^2
<u>Morfológicas</u>						
Longitud de planta	.74*	.16	-.50	.04	.12	.84
Número de niveles	.38	.77	-.05	-.10	-.20	.79
Número de ramificaciones	.70*	-.37	-.53	-.09	.16	.94
Cladodios a rastrero	.25	.29	-.22	.73*	.23	.78
Cladodios total	.46	.61*	-.32	-.06	-.16	.71
Altura de planta	.90*	.11	.02	.26	-.14	.91
Hábito rastrero	.09	.01	-.76*	-.22	.29	.72
Longitud de cladodio	.67*	.38	.24	.43	.11	.85
Ancho de cladodio	.78*	-.20	-.37	.09	-.27	.86
Forma de cladodio	.23	.52	.49	.37	.25	.76
Grosor de cladodio	.23	.81*	.31	-.29	.19	.92
Peso de cladodio	.38	.83*	.21	-.02	-.05	.88
Diámetro de areola	.18	.00	-.24	-.83*	-.26	.84
Espinas por areola	-.29	-.55	-.27	-.59*	-.10	.81
Longitud de espina radial	.15	.64*	.39	.03	-.01	.58
Longitud de espina central	.46	.09	.13	-.12	-.41	.42
Areolas por penca	.17	.01	-.48	.12	.23	.32
Orientación de espinas	-.70	-.25	-.07	-.09	.43	.75
Longitud de fruto	.90*	.28	.12	-.02	-.20	.94
Diámetro de fruto	.76*	.22	-.43	-.12	-.18	.86
Forma de fruto	.01	.03	.80*	.18	.06	.68
<u>Bromatológicas</u>						
Proteína	.14	-.15	.62*	-.40	.60	.94
Digestibilidad	-.52	.36	.59*	.09	.32	.86
Fibra	.13	.01	-.58*	.03	.25	.46
Extracto etereo	.64*	.41	-.01	-.18	.39	.76
<u>Ambientales</u>						
pH	.59*	-.43	.31	.02	-.17	.65
Conductividad eléctrica	-.47	.60*	-.41	-.04	.42	.93
Calcio soluble	-.55	.33	-.64*	-.01	.35	.94
Magnesio soluble	-.26	.41	-.52	-.17	-.06	.54
Sodio soluble	-.23	.41	.15	-.20	.05	.28
Potasio soluble	.36	.27	.55	-.63*	-.04	.90
Potasio intercambiable	.49	-.16	-.43	-.58*	.25	.85
Fósforo	.14	.44	-.10	-.29	.51	.56
Nitrógeno (NO ₃)	-.18	.83*	-.12	-.12	.29	.83
Materia orgánica	-.67*	.26	-.29	.34	-.49	.96
Carbonatos (CO ₃)	.29	.29	-.01	-.29	-.27	.32
Arena	.37	-.51	.38	-.20	.24	.64
Limo	-.63*	.45	-.01	-.36	-.37	.87
Arcilla	.17	.15	-.44	.57	.07	.57
% de saturación de humedad	-.54	.55	-.32	-.06	-.33	.81
asnm	-.43	.61*	.28	-.32	-.27	.81
Pendiente	-.47	.45	-.29	.20	-.21	.59
Eigenvalor	9.83	7.83	6.53	4.19	3.23	
% de varianza	23.42	18.67	15.55	10.00	7.71	
% acumulado	23.42	42.09	57.64	67.63	75.34	

cladodio, longitud de espinas radiales y con el número de cladodios total en las plantas. Este efecto también ha sido notado, aunque no tan específicamente, en las demás especies de Opuntia anteriormente consideradas.

El tercer componente (CP 3) señala un aspecto de calidad de pencas al relacionar positivamente el contenido de proteína con la digestibilidad de la materia seca y negativamente a estas variables con el contenido de fibra. Este aspecto se asocia directamente con la forma del fruto y teóricamente, las plantas de mayor calidad presentan frutos de forma más alargada. Este aspecto de calidad se asocia, asimismo, inversamente con el calcio soluble en el suelo y con el hábito de crecimiento rastrero en las plantas. Aparentemente las plantas que presentan el crecimiento horizontal más pronunciado producen pencas de menor calidad y desarrollan en suelos de mayor contenido de calcio.

A partir de los pesos que presentan las variables para el cuarto componente (CP 4) se puede notar que este componente representa un gradiente de fertilidad de suelo, particularmente relacionado con el potasio, y asociado directamente con el tamaño de las areolas y el número de espinas de estas estructuras; e inversamente, con el número de cladodios a rastrero. Estas relaciones permiten suponer que mientras más potasio exista en el terreno más rápidamente se manifiesta el hábito rastrero, ya que es menor el número de cladodios a partir de los cuales la planta hace nuevamente contacto con el terreno desde el tronco parental.

El quinto componente (CP 5) no muestra una relación consistente entre ninguna variable de los tres grupos considerados, por lo que no se entrará en detalle.

La interpretación de las Figuras 4.23 y 4.24 en las cuales se muestra la proyección de variables y sitios sobre los dos primeros componentes permiten separar a los sitios 28 y 29 y al sitio 7 de los demás, por presentar plantas de mayor tamaño (longitud: mayor de 9 m, altura mayor de 90 cm y más de nueve ramificaciones), cladodios más grandes (longitud: 26.9 cm; anchura: 22.6 cm), frutos de mayor tamaño - (longitud: mayor de 4 cm; diámetro: mayor de 3 cm) y relativamente altos contenidos de grasas ($\pm$ 7.1 por ciento). Los sitios 28 y 29 desarrollan en suelos con menor contenido de materia orgánica ($\pm$ 2.5 por ciento), mayor pH (mayor de 8.0) y menor conductividad, mientras que el sitio 7 se presenta en partes intermedias de ese gradiente. La tendencia definida en el CP 2 la que se muestra en estas figuras a través del sitio 7 hasta el 13 separa a los sitios 6, 7, 9 y 10 por presentar plantas con cladodios más gruesos y de mayor peso y espinas radiales más largas, en suelos con medios a elevados contenidos de NO_3 .

Las proyecciones de las variables y de los sitios sobre los componentes 2 y 3 en las Figuras 4.25 y 4.26 separan a los sitios 8, 9 y 10 por contener plantas con pencas del mayor contenido de proteína (mayor de 2.9 por ciento) y digestibilidad (mayor de 90 por ciento) y contenidos medios de fibra ($\pm$ 7.4 por ciento), en suelos con medianos contenidos de calcio sol. ($\pm$ 9.2 me/l).

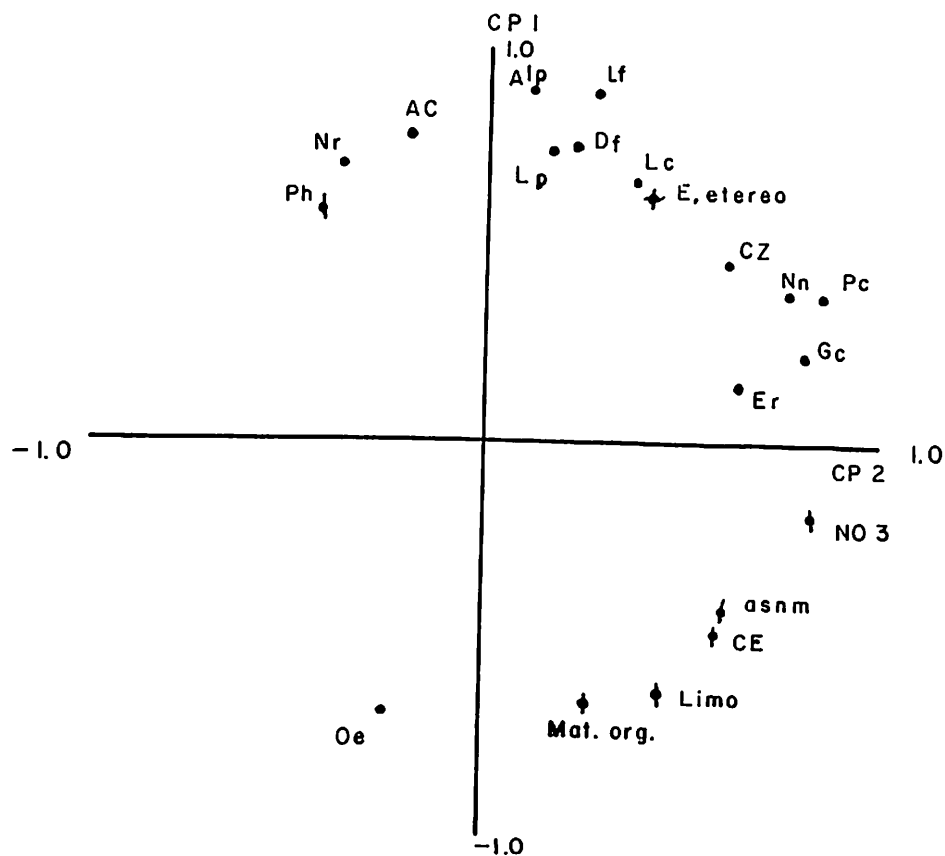


FIGURA 4.23. Espacio de variables generado por los componentes 1 y 2 Opuntia phaeacantha var. discata.

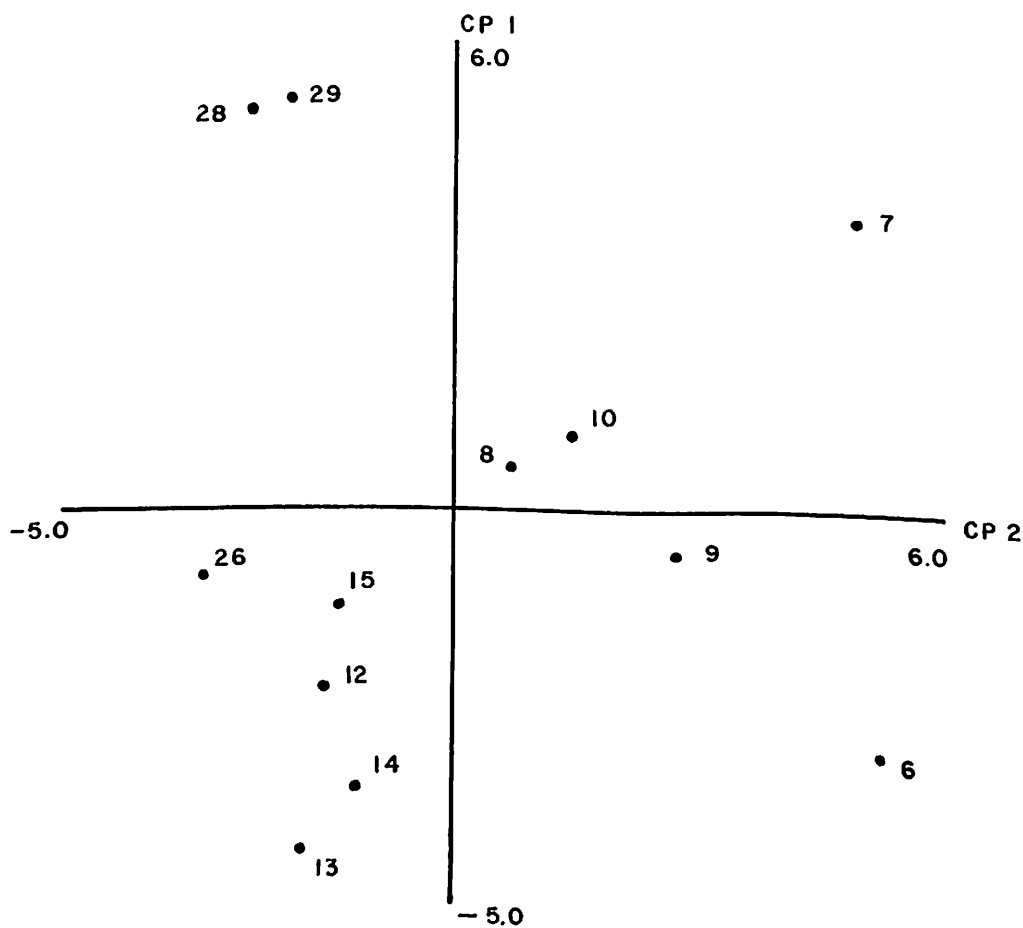


FIGURA 4.24. Espacio de sitios generado por los componentes 1 y 2 Opuntia phaeacantha var. discata.

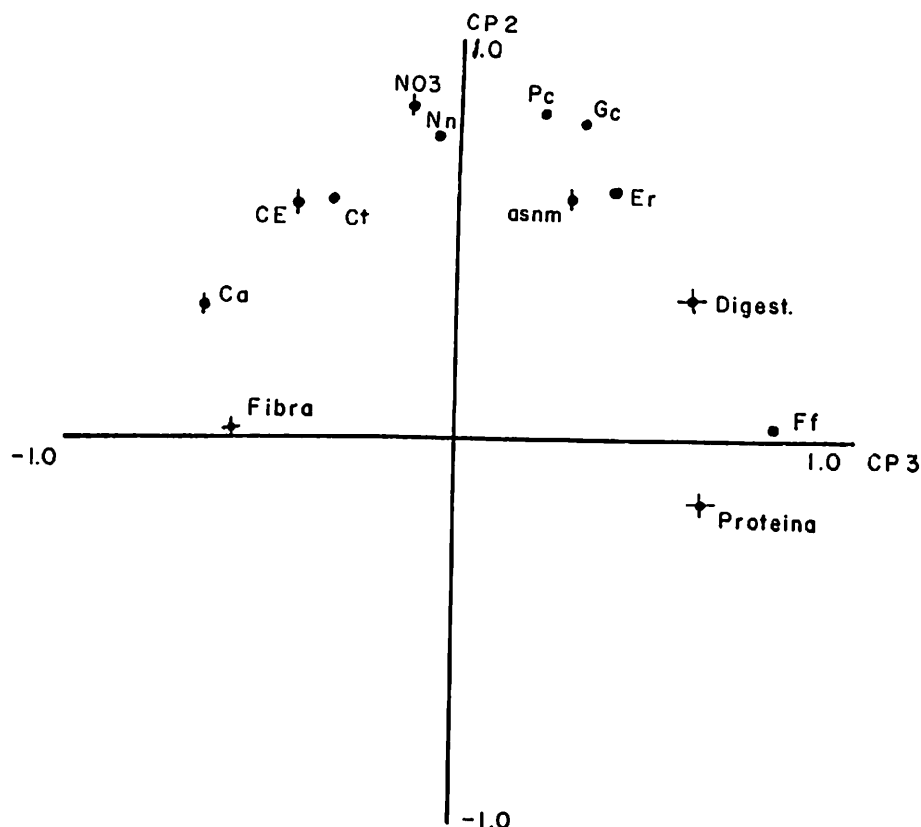


FIGURA 4.25. Espacio de variables generado por los componentes 2 y 3 Opuntia phaeacantha var. discata.

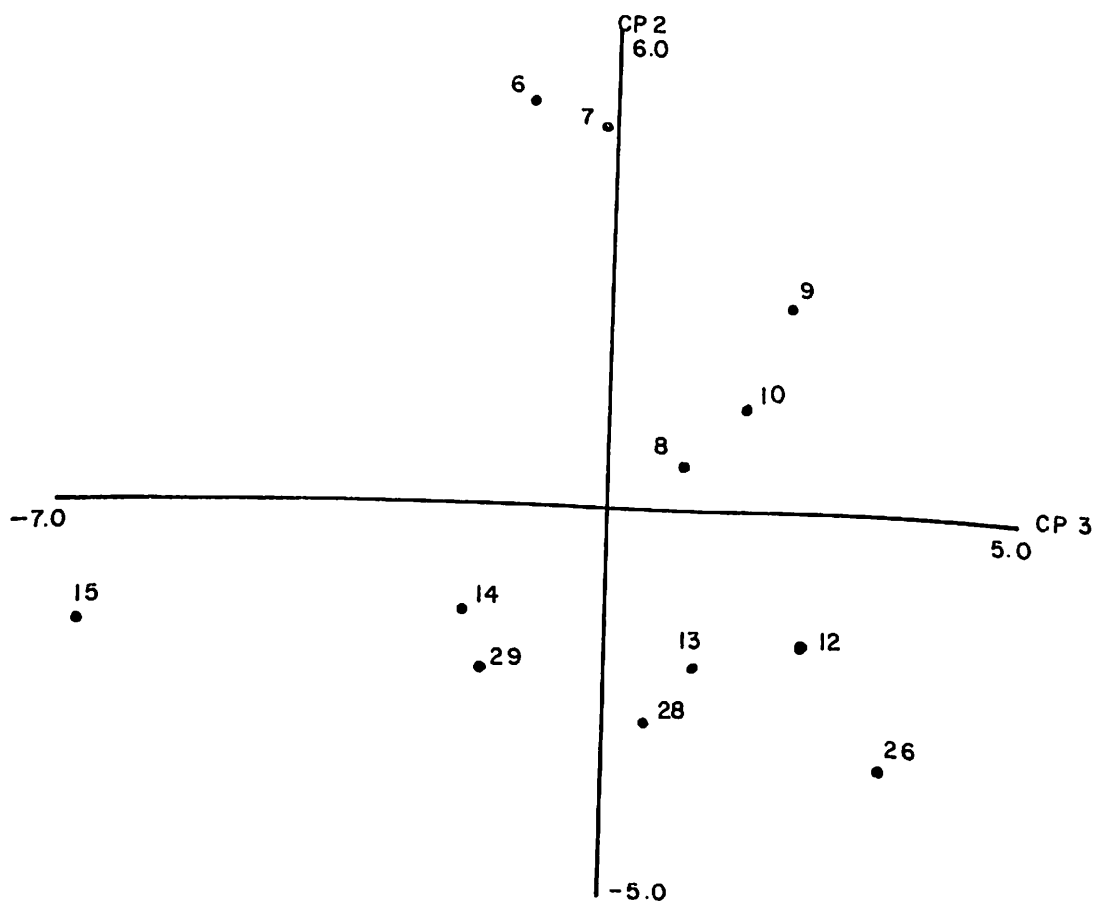


FIGURA 4.26. Espacio de sitios generados por los componentes 2 y 3 Opuntia phaeacantha var. discata.

Las Figuras 4.27 y 4.28 mostrando nuevamente las proyecciones de las variables y sitios, pero esta vez sobre los componentes 3 y 4 separan nuevamente a los sitios 8, 9 y 10 pero además al 26 por los altos contenidos de proteína y por desarrollar en suelos con altos contenidos de potasio soluble (incluso hasta 1.3 me/l). La separación del sitio 26 se debe fundamentalmente a que este sitio soporta plantas con el menor número de cladodios o rastrero a partir del tronco parental de las mismas.

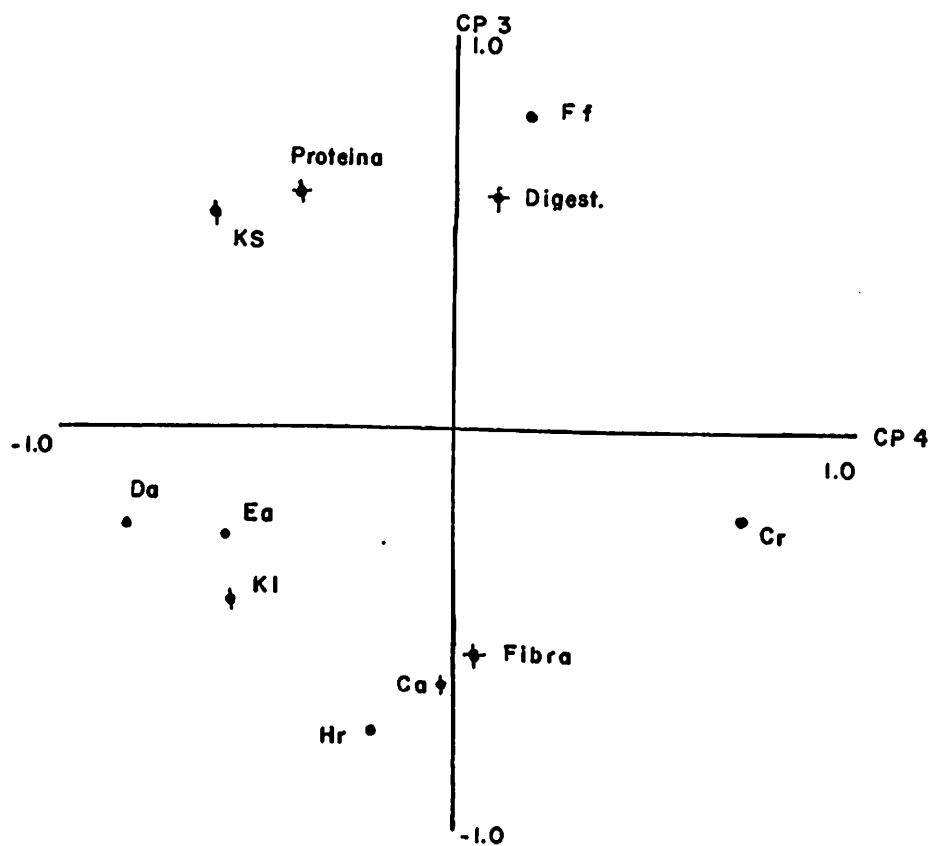


FIGURA 4.27. Espacio de variables generado por los componentes 3 y 4 Opuntia phaeacantha var. discata.

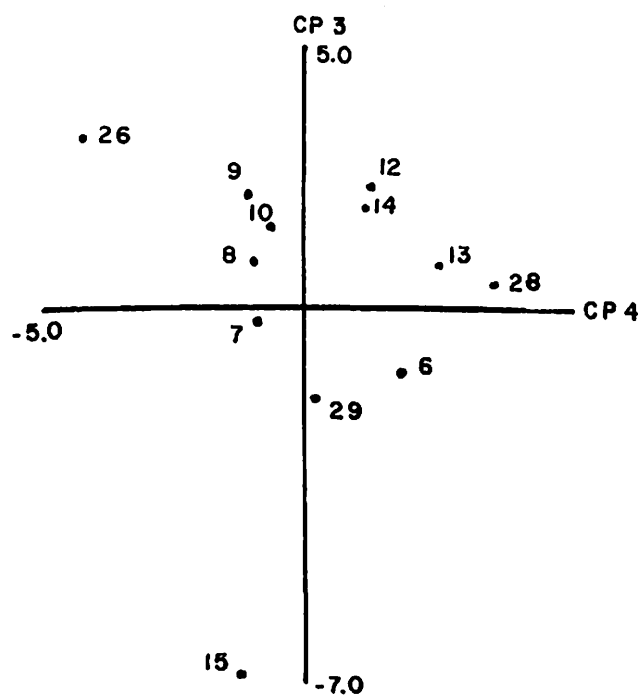


FIGURA 4.28. Espacio de sitios generado por los componentes 3 y 4 Opuntia phaeacantha var. discata.

CAPITULO V

DISCUSION

Patrón de Distribución Espacial

De las especies y/o variedades enumeradas en este trabajo, O. lindheimeri vars. tricolor y lindheimeri, O. rastrojera, O. macrocentra y O. phaeacantha fueron reportadas como presentes en esta zona por Wehbe y Elizondo (1986); sin embargo, estos autores no reportan la presencia de O. lindheimeri var. aciculata, ni específicamente de O. phaeacantha var. discata, siendo, por lo tanto, digno de tomarse en cuenta este hecho en trabajos posteriores.

En base a los resultados obtenidos, a partir de la Ordenación Polar (Figura 4.2), resulta evidente que ninguna de las especies y variedades, consideradas en este estudio, es completamente individualística en su distribución; sin embargo, muestran tendencias marcadas de separación, definidas por dos gradientes ambientales. El primer gradiente, definido en el eje X, representa claramente un gradiente de disponibilidad de nutrientes minerales, entre los que el fósforo, potasio y el magnesio se encuentran bien representados, evidenciando por un lado las deficiencias de estos elementos en algunas áreas de esta zona, y por el otro, los diferentes

niveles de tolerancia de las especies a la ausencia de estos minerales. Este gradiente se correlaciona negativamente con el contenido de materia orgánica y porcentaje de saturación de humedad del suelo, aunque teóricamente se esperaba que, al menos, el potasio intercambiable se correlacionara positivamente con el por ciento de materia orgánica, la cual juega un papel determinante en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos; sin embargo, al no presentarse dicha relación, se puede asumir que posiblemente el contenido de potasio intercambiable esté más influenciado por la roca parental que ha dado origen a esos suelos (Sobula y Jaiyeola, 1977).

El segundo gradiente, diferenciado por el eje Y de la ordenación representa un gradiente de acumulación y descomposición de materia orgánica al correlacionarse positivamente con el por ciento de materia orgánica, por ciento de saturación de humedad y NO_3 en un orden creciente de magnitud con la elevación sobre el nivel del mar y con la pendiente y decreciente con el contenido de carbonatos en el suelo, éstos últimos compuestos posiblemente sean el resultado del proceso de descomposición de la materia orgánica, más acentuado en las áreas planas por una mayor infiltración del agua. La presencia de este gradiente ambiental en la Sierra de La Paila, había sido mencionado con anterioridad por Cano y Marroquín (1967) quienes señalan incluso valores extremos para materia orgánica (1.3 a 6.3 por ciento) y por ciento de saturación de humedad (30 a 72.8 por ciento) muy similares a los encontrados en este trabajo (Cuadro 4.2). La relación que se

presenta en este gradiente con respecto al contenido de nitrógeno parece obvia, ya que permite presuponer que conforme se eleva el contenido de materia orgánica, tenderá a incrementarse este elemento, sin embargo, esta tendencia debe tomarse con prudencia, ya que es conocido que las tasas de mineralización de nitrógeno, en estas áreas, es de naturaleza explosiva y estacional, definida por la acción de las lluvias más o menos recientes y el subsecuente incremento en la actividad de los microorganismos. Charley (1977) señala que los suelos que han permanecido secos, al ser rehumedecidos presentan tasas crecientes de actividad de los microorganismos, y que mientras más larga haya sido la sequía y más alta la temperatura durante este período, más grande será la tasa de mineralización de nitrógeno. En base a lo anterior, al observar las tendencias de comportamiento del NO_3 en el suelo de los 29 sitios evaluados a través del tiempo de duración del trabajo, resulta sorprendente que los sitios que se evaluaron precisamente a finales de Junio y principios de Julio presentan drásticamente mayores contenidos de NO_3 que los demás (Figura 5.1). Es conveniente señalar la presencia de lluvias exactamente en esa época y en esos sitios. Por lo anterior, se considera que este factor está manifestando, más bien, una tendencia de variación temporal que una espacial, siendo esta última la que debiera interesar para los fines señalados en este apartado.

La distribución de las especies sobre el primer gradiente (nutrientes minerales) permiten inferir acerca de su tolerancia a la escasez de estos elementos en el suelo.

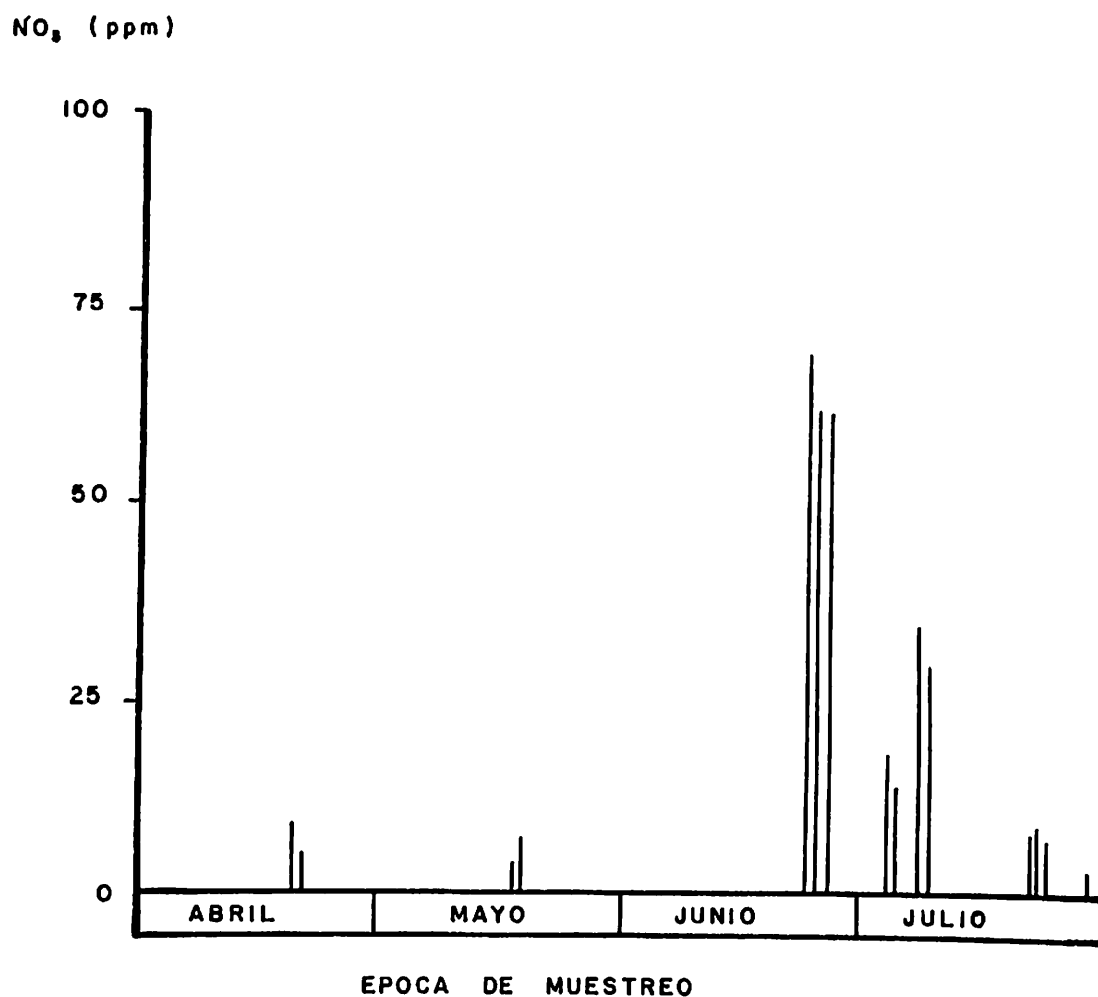


FIGURA 5.1. Comportamiento de NO_3 en el suelo a través del período de muestreo en los 29 sitios evaluados.

Podemos suponer que O. lindheimeri var. tricolor es más tolerante, mientras que O. phaeacantha var. discata es la menos tolerante, ya que se encuentran orientados hacia los puntos mínimo y máximo extremos de ese gradiente, respectivamente. O. rastrera y O. lindheimeri var. lindheimeri pueden ser consideradas como de tolerancia intermedia. La presencia de O. lindheimeri en suelos con bajos contenidos de potasio y muy bajos contenidos de fósforo fue señalada con anterioridad por Box (1961).

Las tendencias de distribución de las especies sobre el segundo gradiente (acumulación y descomposición de materia orgánica) muestran una clara separación de O. lindheimeri var. tricolor del resto de las especies, por su tendencia a establecerse en suelos con altos contenidos de materia orgánica, mayor elevación sobre el nivel del mar y pendientes más pronunciadas, mientras que el extremo opuesto está representado por O. rastrera y Var. lindheimeri. Este patrón de distribución de O. rastrera coincide, cuando menos en lo que se refiere a pendiente, con lo señalado por Bravo (1978), quien considera que esta especie crece en las planicies. El comportamiento de O. lindheimeri var. tricolor, a establecerse en suelos con pendientes más pronunciadas y con mayor acumulación de materia orgánica, permite suponer que esta especie prefiere sustratos más húmedos, lo cual también había sido señalado por Grant y Grant (1979a). Por otro lado, la distribución de O. phaeacantha var. discata en áreas de pendientes ligeras fue señalada por Britton y Rose (1937) quienes mencionan que esta especie se distribuye en los pies de monte en

las montañas Sta. Rita en Arizona; y por Earle (1963) que considera que habita valles y laderas. Aparte de esas consideraciones, en realidad no existen puntos de comparación de los resultados obtenidos en este trabajo.

Interacción Ambiente - Morfología - Bromatología

Opuntia rastrera

Los resultados obtenidos a partir del Análisis en - Componentes Principales sobre la información de esta especie, señala nuevamente la presencia de un gradiente de disponibilidad de nutrientes minerales (CP 1) y otro gradiente de acumulación y descomposición de materia orgánica (CP 2) muy similares a los definidos en la ordenación polar (Figura 4.2). En el primer gradiente nuevamente se incluye el magnesio, potasio intercambiable y fósforo, además de otros minerales tales como el calcio, sodio y potasio solubles, los cuales determinan una mayor conductividad eléctrica del suelo. Este gradiente se relaciona directamente con el porcentaje de arena en el suelo y con características morfológicas indicadoras de rendimiento y productividad, tales como grosor y peso de los cladodios, longitud de frutos y contenido de grasas de las pencas. Aparentemente, las características morfológicas que pueden ser consideradas como indicadoras de este fenómeno son el diámetro de las areolas, la forma de los frutos y la orientación de las espinas. Teóricamente las plantas que presentan frutos de forma más alargada, pencas con areolas

más voluminosas y espinas menos verticales con respecto al plano horizontal de la penca, tienden a ser más productivas a este respecto.

El fenómeno anterior evidencia, posiblemente, una mayor actividad fotosintética de la planta, ya que la disposición de las espinas podría permitir una mayor penetración de la luz solar, y la presencia del magnesio, constituyente de la clorofila, estimula este hecho, el cual se traduce en valores mayores para el extracto etéreo. Cullison (1979) señala que el extracto etéreo de algunos productos diferentes de granos, pueden contener, además de grasas verdaderas, cantidades variables de otros materiales solubles en eter tales como vitaminas, carotenos, clorofila, esteroides y fosfolípidos, lo cual también podrá explicar la relación que se presenta con fósforo. Si al aspecto anterior se auna la presencia de otros nutrientes tales como nitrógeno y potasio es obvio que las plantas tenderán a formar pencas y frutos de mayores dimensiones. Cummings y Wilcox (1968) señalan que el incremento en el tamaño de los frutos, resultante de una buena disponibilidad de potasio ha sido bien documentada y presenta evidencias de este hecho en algunas especies de frutales perennes como el manzano y el naranjo. Por otro lado, la relación que se presenta en este componente con Conductividad eléctrica y los contenidos de cationes solubles de calcio, sodio, magnesio y potasio con las características morfológicas de las plantas anteriormente señaladas (grosor y peso de pencas) podrá también ser explicada por el hecho de que el consumo excesivo de cationes por las células de las plantas

está generalmente asociada con un incremento en la síntesis de ácidos orgánicos y por un incremento en la succulencia de los tejidos (Goodin, 1977). Bravo (1978) señala que, en los nopales, los principales componentes de las cenizas son calcio y potasio, encontrándose también algo de magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de fierro, aluminio y manganeso.

El segundo componente (CP 2) en el Cuadro 4.7, muestra también una relación de variables esperada, ya que de alguna manera muestra un gradiente similar al definido en el eje Y de la ordenación polar (Figura 4.2), en el cual, además, se observa una correlación negativa entre materia orgánica, por ciento de saturación de humedad y altura sobre el nivel del mar con el pH, lo cual evidencia la presencia de condiciones más húmedas en las partes más altas de la sierra. La relación negativa entre materia orgánica, por ciento de saturación de humedad y altura sobre el nivel del mar con la longitud y altura de plantas, espinas por areola y proteína, permiten avalar los resultados obtenidos en el análisis de la distribución de esta especie, en los cuales se consideró que sus poblaciones se distribuyen más hacia suelos de poco contenido de materia orgánica, por ciento de saturación de humedad y escasa elevación sobre el nivel del mar y en este análisis se muestra claramente que las plantas más robustas y con mayor contenido de proteína, se presentan precisamente en esas condiciones. Por otro lado, se puede suponer que las plantas con el mayor número de espinas por areola son indicadoras de estas condiciones, ya que la especie que presenta

menos espinas por areola (O. lindheimeri var. tricolor) tiende a establecerse exactamente en condiciones opuestas dentro de este gradiente. Además, la presencia de más espinas en las cactaceas, desde un punto de vista antropocéntrico, dado por Bravo (1978), se les ha asignado entre otras funciones, la protección contra la insolación intensa y la excesiva transpiración, lo cual puede parecer lógico al menos en este caso, ya que esas áreas de poca elevación y pendientes más planas presentan el clima más seco y cálido dentro de la sierra.

La relación positiva entre la longitud de espinas radiales y las centrales, y negativa entre estas variables con el hábito rastrero de las plantas en el CP 3 del Cuadro 4.2, coincide al menos en forma global con la información de todas las especies, ya que las especies que presentan espinas más largas, tales como O. lindheimeri var. tricolor tienden a presentar un hábito de crecimiento más vertical (Cuadro 4.8).

El componente 4 señala una relación negativa entre ancho de la penca con el por ciento de digestibilidad de la materia seca y con el número de niveles por planta, aunque teóricamente se esperaba que la digestibilidad de las pencas se correlacionara negativamente con el contenido de fibra, sin embargo, Schneider y Flatt (1975) señalan que la digestibilidad se reduce únicamente a muy altos contenidos de fibra.

La correlación positiva entre el número de areolas por penca y el contenido de fibra (CP 5), parece, en cierta forma, obvia, ya que si consideramos la presencia de tejido muy succulento, y que las espinas son estructuras muy lignificadas (Bravo, 1978), teóricamente a mayor número de areolas

puede tenerse mayor cantidad y proporciones de espinas totales que posiblemente determinen una mayor proporción de fibra ácido detergente, ya que las muestras de forraje que se analizaron no fueron desprovistas de estas estructuras.

En base a lo anterior, resulta obvio que los sitios más adecuados para la explotación y/o establecimiento de esta especie, debe ser tal, que presente la mejor combinación de características ambientales por su relación a las características morfológicas y bromatológicas deseables para estos fines. Esta selección puede realizarse a través de los aspectos señalados cuando se presentaron conjuntamente las proyecciones de las variables y sitios sobre cada par de componentes en las figuras 12 a 19, a partir de las cuales se asume que las mejores condiciones las presentan los sitios 3 y 6, las cuales se resumen en el Cuadro 5.1.

Opuntia lindheimeri var. tricolor

Al igual que en O. rastrera, el análisis de Componentes Principales de la información de esta especie reporta también la presencia de los dos gradientes definidos en la ordenación polar; el primero, señalado como un gradiente de disponibilidad de nutrientes minerales, está representado en el CP 1, y el otro, definido como un gradiente de acumulación y descomposición de materia orgánica, se señala en el CP 2.

El primer componente incluye al potasio soluble, potasio intercambiable y fósforo directamente correlacionados entre sí. La relación negativa que se presenta entre esas -

variables con el por ciento de arena y la altura sobre el nivel del mar permite suponer que, dentro de los límites de estas variables para esta especie, los suelos con mayor contenido de estos nutrientes se presentan en suelos de menor contenido de arena y menores elevaciones sobre el nivel del mar. Al igual que en O. rastrera, este gradiente se relaciona directamente con características morfológicas indicadoras de rendimiento, tales como longitud de cladodio y longitud y diámetro de fruto, pero en este caso asociadas con plantas de mayor tendencia de crecimiento rastrero. El efecto del potasio sobre el tamaño del fruto fue señalado por Cummings y Wilcox (1968) y se mencionó también cuando se discutió la información de O. rastrera. Este gradiente se correlaciona negativamente con digestibilidad de la materia seca, lo cual permite suponer que, en esta especie, las pencas más largas y las plantas con frutos de mayor tamaño presentan menos porcentajes de digestibilidad, lo cual coincide en parte con O. rastrera, en la cual, los menores valores para digestibilidad se presentan en pencas más anchas. La relación que se presenta en este componente con la longitud total de la planta, número de ramificaciones, número de niveles y altura de la planta podría dar origen a pensar que la edad de la planta juega un papel determinante en la manifestación de las demás características morfológicas, bromatológicas asociadas con este componente principalmente con la digestibilidad, sin embargo los resultados presentados por Martínez (1980) permiten inferir que el mayor efecto sobre este aspecto, está determinado por la edad de la penca, pudiéndose tener

en una misma planta pencas de diferentes edades, además de que en este caso se procuró tener pencas aparentemente de edades similares. El diámetro de la areola, positivamente correlacionado con la longitud del cladodio y longitud y diámetro de fruto siguió una tendencia similar en O. rastrera, ya que en ese caso se correlacionó en forma similar con el grosor y peso del cladodio y con la longitud y forma de los frutos dentro de un gradiente ambiental también diferenciado como de disponibilidad de nutrientes minerales (Cuadro 4.7). Ciertamente, el diámetro de la areola, también en este caso puede ser considerado hasta cierto punto como indicador de rendimiento, al menos de pencas y frutos.

Las relaciones que se presentan en el CP 2, en el cual se correlaciona positivamente el por ciento de materia orgánica y por ciento de saturación de humedad, y negativamente a estas variables con el contenido de CO_3 y el pH del suelo, coinciden a groso modo con los gradientes definidos en la ordenación polar (Figura 4.2) y teóricamente se puede asumir que los suelos con mayor contenido de materia orgánica, por ciento de saturación de humedad y menos contenido de CO_3 y pH soportan plantas con cladodios más anchos, más pesados, con espinas más largas, mayor número de areolas por penca y frutos de forma alargada, esta última variable nuevamente definida como indicadora de rendimiento. Por otro lado, considerando que tanto el peso como la anchura de los cladodios pueden ser indicativas de rendimiento, esta información nuevamente avala a la presentada en el análisis de la distribución de esta especie, ya que se consideró que prefería

suelos con altos porcentajes de materia orgánica, por ciento de saturación de humedad y bajos contenidos de carbonatos. La relación que se presenta en este componente con el pH nuevamente permite suponer condiciones de sustrato más húmedas en las áreas propias de esta especie.

El CP 3 muestra una relación similar a la presentada en 0. rastrera para el magnesio y grosor del cladodio y entre estas variables y el contenido de grasa en las pencas, aunque la relación negativa entre estas variables con el sodio puede ser atribuída a que este ión es probablemente de los que causan los mayores problemas, tanto en el suelo como en las plantas; en este último caso Goodin (1977) ha señalado que se encuentra asociado con un pobre crecimiento de las plantas por efecto de una transmisión restringida de humedad y por los cambios que impone sobre el balance de nutrientes en las plantas relativamente tolerantes.

La relación negativa que se presenta entre la conductividad eléctrica y el contenido de fibra en el cuarto componente podría ser explicado, posiblemente por el incremento en la succulencia que se esperaría en plantas desarrollando en suelos con mayores contenidos de sales totales. Este hecho podría parecer ilógico con el efecto del sodio anteriormente señalado, pero es evidente que no solo el sodio contribuye a la expresión total de la salinidad, sino además Ca, Mg, Cl, SO_4 , HCO_3 u CO_3 (Goodin, 1977).

En general, se puede suponer que la principal tendencia de distribución de esta especie está determinada por el contenido de materia orgánica, el por ciento de saturación -

de humedad y el contenido de carbonatos en el suelo, y que la combinación de estos factores con el contenido de nutrientes minerales en los suelos determinan las mejores condiciones para el establecimiento y/o explotación de este recurso. Aparentemente la mejor combinación de condiciones se presenta en el sitio 18, cuyas características se resumen en el Cuadro 5.1.

Opuntia lindheimeri var. lindheimeri

En el CP 1 de la información correspondiente a esta especie (Cuadro 4.15) se presenta nuevamente la relación positiva entre el por ciento de materia orgánica y la altura sobre el nivel del mar, y negativa entre estas variables y el contenido de proteína y número de espinas por areola, las cuales se presentaron igualmente en O. rastrera. La correlación positiva entre el magnesio y grosor de penca también se presentó tanto en Opuntia lindheimeri var. tricolor como en O. rastrera y fueron anteriormente discutidas. La información anterior nuevamente evidencia una tendencia de respuesta para morfología y bromatología acorde a los factores ambientales que influyen sobre su patrón de distribución. Teóricamente, las plantas que crecen en suelos con mayor contenido de materia orgánica, magnesio y NO_3 , y a mayor elevación sobre el nivel del mar y pendientes más pronunciadas tienden a presentar mayor hábito de crecimiento vertical, menor número de espinas por areola y menor contenido de proteína, pero - significativamente cladodios más gruesos. Lo anterior -

evidencia claramente el comportamiento de esta especie a -
establecerse principalmente en las áreas intermedias de los
gradientes definidos en la ordenación polar, pero con una
tendencia similar a la O. rastrera.

El segundo componente incluye nuevamente un factor
ambiental que afecta la distribución de las especies de -
Opuntia en esta zona; el contenido de carbonatos en el sue -
lo, este factor se relaciona inversamente con el ancho de -
los cladodios, longitud y orientación de espinas y con el
contenido de fibra de las pencas. Teóricamente, el ancho
del cladodio y el contenido de fibra pueden ser también con -
siderados como indicadores de productividad, y si considera -
mos que los mayores valores de estas variables se presentan
en suelos de bajos contenidos de CO_3 , dentro de los límites
establecidos para esta especie en el Cuadro 4.14, nueva -
mente se avala la tendencia de esta especie a establecerse
en los puntos intermedios del gradiente, ya que si bien -
prefiere suelos con bajos contenidos de materia orgánica den -
tro de estos se manifiestan como mejores los que presentan
también valores menores de carbonatos, al menos en relación
a las variables morfológicas y bromatológicas anteriormente
señaladas. La relación negativa entre carbonatos del -
suelo y fibra en las pencas resulta en cierta forma similar a
la de conductividad y fibra encontrada en O. lindheimeri var.
tricolor, ya que se ha señalado la contribución de los carbo -
natos del suelo a la salinidad total. Por otro lado, la rela -
ción negativa que se presenta entre la longitud de espinas
radiales y centrales con el contenido de carbonatos en el -

suelo parece lógica, ya que la especie que reporta la mayor longitud de espinas tanto radiales como centrales se presenta precisamente distribuída hacia suelos con el menor contenido de carbonatos (Ver Opuntia lindheimeri var. tricolor en la Figura 4.2.).

El tercer componente CP 3 señala una tendencia similar a la encontrada en O. lindheimeri var. tricolor, al relacionar negativamente al pH con el número de areolas por penca y longitud del cladodio. La relación positiva entre el número de cladodios a rastrero y el pH supone que las plantas con mayor hábito de crecimiento rastrero generalmente se presentan en suelos con pH alcalinos, y esta información coincide con lo señalado por O. rastrera a este respecto, ya que la especie con la mayor tendencia de crecimiento vertical prefiere generalmente suelos con pH mas neutros.

La relación negativa entre el potasio intercambiable y la forma de los cladodios, muestra cierta similitud con esa misma relación encontrada en O. rastrera, por lo cual se puede considerar que la forma del cladodio al menos en estas especies, podría ser indicadora de la baja presencia de potasio intercambiable en el suelo.

Considerando la información global sobre las interacciones de esta especie con el ambiente, parece que la mejor combinación de características se presentan en el sitio 3, el cual también había sido señalado como adecuado para el desarrollo de O. rastrera, sin embargo, las muestras de suelo tomadas bajo las plantas de O. lindheimeri var. lindheimeri muestran algunas diferencias de sustrato acordes con los

requerimientos de esta especie. Las características de ese sitio asociadas con plantas de esta especie se presentan nuevamente en el Cuadro 5.1.

Opuntia phaeacantha var. discata

Como se esperaba, nuevamente el CP 1 de este análisis representa al gradiente ambiental de acumulación y descomposición de materia orgánica, al relacionarse positivamente el por ciento de materia orgánica con el por ciento de limo y negativamente a estas variables con el pH del suelo. La relación positiva entre materia orgánica y el contenido de limo en el suelo parece lógica y en alguna forma similar a la que se presentó en O. rastrera, ya que en este último caso se presenta una correlación negativa entre el por ciento de materia orgánica y el por ciento de arcilla en el suelo. Campbell (1978) señala el efecto de la materia orgánica sobre las características físicas de agregación y estructura del suelo. La relación negativa entre el por ciento de materia orgánica y el pH se presentó también en las muestras de suelo correspondiente a O. rastrera y O. lindheimeri var tricolor y posiblemente sea debida a tasas diferenciales de mineralización de los compuestos de la materia orgánica, que determinan pH menos alcalinos en suelos con mayor cantidad de materia orgánica (Campbell, 1978). Este gradiente ambiental (acumulación de materia orgánica) se relaciona inversamente con características morfológicas indicadoras de rendimiento, tales como: longitud y anchura del cladodio y longitud y diámetro de

frutos; y al igual que en O. rastrera, se asocian inversamente con la orientación de las espinas en las pencas, lo cual viene nuevamente a validar la aseveración de que las plantas con espinas menos verticales con respecto al plano horizontal de la penca son más rendidoras y productivas, ya que en este caso nuevamente se presenta la misma relación con el contenido de grasas en las pencas (extracto etereo). Por otro lado, la relación negativa que se presenta entre estas características productivas y el por ciento de materia orgánica en el suelo, avala la información sobre la distribución de esta especie, en la cual se consideró que prefiere suelos con bajos contenidos de materia orgánica. En este caso, también las plantas más robustas se presentaron en esas condiciones.

En el segundo componente, se presentan algunas relaciones difíciles de discernir, ya que se correlaciona positivamente a la conductividad eléctrica del suelo, NO_3 y la altura sobre el nivel del mar; y a estas variables con el grosor y peso de la penca y la longitud de las espinas radiales. Posiblemente sea debido al efecto combinado de la salinidad y al contenido de NO_3 sobre la succulencia de las plantas, aunque ya se mencionó que las variaciones en NO_3 pueden tener también aparejada una variación temporal. En este caso, al igual que en O. lindheimeri var. tricolor, la longitud de espinas radiales se asocia directamente con características morfológicas indicadoras de rendimiento, lo que confirma la aseveración de que es indicadora de condiciones deseables.

Las relaciones presentes en el CP 3 en el cual se correlaciona positivamente al contenido de proteína con la digestibilidad de la materia seca y negativamente a estas variables con el contenido de fibra apoya lo mencionado por Schneider y Flatt (1975) de que alrededor del 45 por ciento de la variabilidad en la digestibilidad de diferentes muestras del mismo alimento puede ser explicada por variaciones en la composición química, por ejemplo, por el contenido de proteína, fibra, extracto etéreo, etc. Sin embargo, no se pudo encontrar una explicación lógica a la relación negativa que presenta el contenido de calcio para este componente. En este componente, también se señala el hecho de que las plantas con frutos de forma alargada presentan mejores características productivas, aunque el hábito de crecimiento rastrero de las plantas de esta especie no pueda ser considerado como una característica deseable, ya que las plantas que presentan la mayor tendencia de crecimiento lateral sobre la vertical pueden considerarse como de menor calidad. Una relación similar entre el hábito de crecimiento rastrero y digestibilidad se presentó en O. lindheimeri var. tricolor.

El cuarto componente representa al gradiente de disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo. En este último caso se observa nuevamente la relación directa que se presenta entre el contenido de potasio, tanto soluble como intercambiable y el diámetro de la areola, en una forma similar a la que se presentó en O. rastrera y O. lindheimeri var. tricolor, aunque no se incluyen en las relaciones a los demás nutrientes minerales. Es evidente en este componente

que los suelos con mayor contenido de estos minerales, tienden a presentar plantas con un hábito rastrero menos pronunciado, ya que el número de cladodios a partir de los cuales la planta hace nuevamente contacto con el suelo es mayor desde el tronco parental. Teóricamente entre menor sea el número de cladodios a rastrero se manifiesta una mayor intensidad de este hábito de crecimiento.

En una forma similar a la utilizada para las demás especies, se asume que las mejores características ambientales para el desarrollo de esta especie se presentan en los sitios 8, 9 y 10, las cuales se resumen en el Cuadro 5.1.

CUADRO 5.1. Características ambientales adecuadas para la explotación y/o establecimiento de especies - de nopal forrajero en la Sierra de La Paila, - Coah. y áreas aledañas. Características morfológicas y bromatológicas asociadas.

Características	O. rast	O. lind. T.	O. Lind L.	O. phae. D.
Ambientales				
pH	7.4 a 8.0	7.4	8.06	7.5
CE (mmhos/cm)	.7 a 1.5	1.4	0.76	1.0 a 1.5
Ca (me/l)	4.1 a 10.4	10.1	5.03	7.4 a 11.0
Mg (me/l)	.9 a 2.0	1.4	1.13	1.4 a 2.4
Na (me/l)	.3 a .5	.24	0.66	.3 a 1.16
K (me/l)	.6 a .7	.25	0.56	.7 a .9
K (mg/100 gr)	28.5 a 44.7	17.0	46.30	41.3 a 52.3
P (ppm)	10.3 a 20.9	19.0	21.30	20.4 a 43.6
NO ₃ (ppm)	3.5 a 64.5	77.0	5.66	17.5 a 93.9
Mat. orgánica (%)	1.6 a 1.8	7.9	1.83	2.7 a 3.0
CO ₃ (%)	19.9 a 25.0	3.0	19.60	21.6 a 30.4
Árena (%)	46.9 a 55.5	47.8	47.40	41.1 a 48.5
Limo (%)	35.0 a 38.0	30.0	39.30	38.0 a 41.6
Arcilla (%)	9.4 a 15.0	22.1	13.16	13.4 a 18.0
% de Sat. de humedad	43.5 a 46.9	78.5	44.80	52.6 a 59.2
Alt. sobre el nivel del mar	1160 a 1550	1640	1160	1370 a 1550
Pendiente	Planas	14 °	planas	hasta 5
Morfológicas				
Cladodio a rastrero	2.5 a 4.0	4.4	4.16	2.4 a 2.6
hábito rastrero	7.8 a 13.8	4.0	10.06	7.1 a 9.8
*Longitud de cladodio	22.4 a 24.2	20.4	25.30	24.1 a 25.6
*Ancho de cladodio	20.3 a 20.4	20.8	23.90	19.7 a 20.3
Forma de cladodio	1.0 a 1.2	.98	1.06	1.2 a 1.3
*Grosor de cladodio	1.4 a 1.7	1.26	1.39	1.98 a 2.33
**Peso de cladodio	524 a 656	479	606	787 a 860
*diámetro de areola	.47 a .60	.43	.77	.49 a .50
Espinas por areola	3.5 a 4.4	1.5	5.50	2.03 a 3.01
*Longitud de espina radial	1.3 a 2.8	2.0	2.26	1.13 a 1.77
*Longitud de espina central	1.9 a 3.4	3.9	2.76	1.53 a 2.47
Areolas por penca	31.0 a 32.3	32.6	27.4	30.3 a 31.6
°°Orientación de espinas	29.0 a 34.4	36.5	39.4	31.0 a 35.7
*Longitud de fruto	3.0 a 34.4	36.5	39.4	31.0 a 35.7
*Diámetro de fruto	2.7 a 2.75	3.22	2.86	2.6 a 2.9
Forma de fruto	1.12 a 1.15	1.68	.95	1.16 a 1.37
Bromatológicas				
Proteína (%)	3.03 a 3.04	2.81	4.00	2.90 a 3.40
Digestibilidad (%)	89.7 a 91.1	90.20	91.90	90.4 a 94.1
Fibra (%)	10.7 a 11.4	7.08	10.05	6.0 a 8.4
Extracto etéreo (%)	6.8 a 8.0	7.73	5.48	7.0 a 7.7
* Registrada en cm			O. rast.	<u>Opuntia rastrera</u>
** Registrada en gr			O. lind. T.	<u>Opuntia lindheimeri</u>
°° Grados con respecto al plano horizontal de la penca				<u>var. tricolor</u>
			O. lind. L.	<u>Opuntia lindheimeri</u>
				<u>var. lindheimeri</u>
	O. phae. D.	<u>Opuntia phaeacantha</u>		<u>var. discata</u>

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente - trabajo se pueden desprender las siguientes conclusiones:

1. La distribución local de las especies de nopal forrajero nativo en la Sierra de La Paila, Coah. está determinada por la presencia de dos gradientes ambientales; uno de los cuales corresponde a un factor de disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo, en el cual juegan un papel determinante los contenidos de magnesio, potasio soluble, potasio intercambiable y fósforo. El segundo gradiente corresponde a un aspecto complejo de acumulación y descomposición de materia orgánica, asociado con el porcentaje de saturación de humedad del suelo, altitud sobre el nivel del mar y la pendiente. La influencia del contenido de carbonatos en el suelo se manifiesta en ambos gradientes.
2. La reacción de las diferentes especies a la específica variación ambiental asociada es en alguna forma independiente, aunque integradas en cierta medida.

A) En Opuntia rastrera:

1. El gradiente creciente de disponibilidad de nutrientes (Mg, Ks, Ki y P) asociado con una tendencia similar para salinidad del suelo (CE, Ca y Na) en pendientes planas, determina la presencia de plantas - con cladodios más gruesos, de mayor peso, con frutos de mayor longitud y mayor contenido de grasa en las pencas. La forma alargada de los frutos, pencas redondas y con el mayor diámetro de las areolas, y - la disposición menos vertical de las espinas en el cladodio son indicadoras de esta tendencia.
- El gradiente decreciente de acumulación de materia orgánica en suelos con el menor porcentaje de saturación de humedad, pH menos alcalinos y menos altitud sobre el nivel del mar, se asocia con la presencia de plantas con los más altos porcentajes de proteína.
- El menor contenido de carbonatos en el suelo favorece la presencia de plantas con - pencas de mayor anchura pero con una menor digestibilidad de la materia seca.

B) En Opuntia lindheimeri var. tricolor

- El gradiente creciente de disponibilidad de nutrientes minerales (Ks, Ki y P) asociado

con suelos de bajo contenido de arena y -
escasa elevación sobre el nivel del mar,
favorece la presencia de plantas más robus
tas y una tendencia mayor de crecimiento
lateral sobre la vertical en plantas con
cladodios de mayor longitud pero de menor
digestibilidad y frutos de mayor tamaño.
Las areolas más grandes en pencas de esta
especie se presentan en estas condiciones.

- El gradiente creciente de acumulación de
materia orgánica, en suelos con altos por-
centajes de saturación de humedad, bajos
contenidos en carbonatos y calcio y pH me-
nos alcalinos, estimula la presencia de -
plantas con cladodios más anchos y de ma -
yor peso, con mayor longitud de espinas,
mayor número de areolas por penca y frutos
de forma más alargada.
- El contenido creciente de magnesio en el
suelo permite la presencia de plantas con
cladodios de mayor grosor y mayor conteni-
do de grasa en las pencas.
- Los suelos que presentan una mayor salini-
dad sostienen plantas con un menor conteni-
do de fibra en las pencas.

c) En Opuntia lindheimeri var. lindheimeri

- El gradiente decreciente de acumulación de
materia orgánica, asociado con tendencias

- decrecientes en el contenido de Mg en -
 áreas de poca elevación sobre el nivel -
 del mar y pendientes planas se asocia con
 la presencia de plantas más robustas, con
 una mayor tendencia de crecimiento late -
 ral, pencas de menor grosor pero con mayo -
 res contenidos de proteína. Las plantas
 que presentan mayor número de espinas por
 areola desarrollan en estas condiciones.
- Las plantas que presentan cladodios más -
 anchos, con mayor contenido de fibra, con
 espinas de mayor longitud y disposición
 más vertical generalmente desarrollan en
 suelos con bajos contenidos de carbonatos.
 - Los suelos que presentan pH menos alcali -
 nos, favorecen la presencia de plantas con
 una mayor intensidad del hábito de creci -
 miento rastrero, mayor longitud de pencas
 y más areolas por cladodio

D) En Opuntia phaeacantha var. discata

- El gradiente decreciente de acumulación de
 materia orgánica en suelos con pH más al -
 calino, estimula la presencia de plantas
 más robustas, con cladodios y frutos de -
 mayor tamaño y mayor contenido de grasa en
 las pencas. Las plantas con espinas en
 disposición más vertical se asocian con -
 estas condiciones.

- Las plantas con cladodios más gruesos y de mayor peso se presentan generalmente con suelos de mayor contenido de sales y nitrógeno (NO_3), en áreas de mayor elevación sobre el nivel del mar.
 - Las plantas de mayor contenido de proteína y mayor digestibilidad generalmente tienden a presentar menores contenidos de fibra, menor hábito de crecimiento rastrero y frutos de forma más alargada y desarrollan en suelos con bajos contenidos de calcio.
3. Los sitios más adecuados para la explotación y/o establecimiento de las diferentes especies deben ser tales que presenten la mejor combinación de características ambientales por su relación a las características bromatológicas y morfológicas deseables para estos fines. En forma general, se sugieren como propicias las condiciones señaladas para cada especie en el Cuadro 5.1.

CAPTULO VII

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Sierra de La Paila, localizada en la porción sureste del Estado de Coahuila, con la finalidad de identificar las características ambientales que determinan el patrón de distribución espacial de las especies de nopal forrajero nativo; determinar el efecto de la variación ambiental sobre la composición bromatológica y las características morfológicas de las plantas, asociadas con estas variaciones y definir las condiciones más propicias para el establecimiento y/o explotación de este recurso.

Se evaluaron un total de 29 sitios, sobre cuatro transectos ascendentes, caracterizándolos en base a 17 variables ambientales relacionadas principalmente a características del sustrato y a la densidad de plantas de nopal. En cada sitio se seleccionó un total de cinco a siete plantas de nopal para el registro de 21 caracteres morfológicos y cuatro variables bromatológicas.

Las especies y/o variedades que conforman las poblaciones de nopal en esta zona son: Opuntia rastrera; O. lindheimeri vars. tricolor, aciculata y lindheimeri; O. Phaeacantha var. discata y O. macrocentra.

Para el análisis del patrón de distribución espacial se utilizó la técnica de ordenación polar de Bray y Curtis para los valores de densidad, complementada con análisis de correlación lineal simple, encontrándose que la distribución local de especies de este género en esta zona está determinada por la presencia de un gradiente de disponibilidad de nutrientes minerales (Mg, K y P) y por un aspecto completo de acumulación y descomposición de materia orgánica asociado con la altitud y la pendiente.

Por medio del análisis en componentes principales para las tres series de variables (morfológicas, bromatológicas y ambientales) desarrollado sobre cada especie y/o variedad se encontró que su reacción a las específicas variaciones ambientales es en alguna forma independiente, aunque integradas en cierta medida. Las características bromatológicas asociadas con variaciones ambientales fueron: contenido de grasa, digestibilidad y proteína cruda en O. rastrera; digestibilidad y contenido de grasa en O. lindheimeri var. tricolor; proteína cruda y fibra en O. lindheimeri var. lindheimeri; y contenido de grasa, proteína cruda y digestibilidad en O. phaeacantha var. discata. Se identificaron algunas características morfológicas de las plantas, asociadas con estas variaciones y la relación entre ambiente y algunas características indicadoras de rendimiento.

En función a los 17 factores ambientales evaluados se definen las condiciones más propicias para el establecimiento y/o explotación de este recurso.

LITERATURA CITADA

- Anderson, T.W. 1958. An introduction to multivariate statistical analysis. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA. 373 p.
- Austin, M.P. 1968. An ordination study of a chalk grassland community. J. Ecol. 56(3):739-758. United States of America.
- Ballester O., F.J. 1978. Los cactus y otras plantas suculentas. Floraprint España, S.A. Valencia, España. - 144 p.
- Berkham, J.P. and J.M. Norris. 1970. Multivariate procedures in an investigation of vegetation and soil relations of two beech woodland, Costwold Hills, England. Ecol. 51(4):630-639. United States of America.
- Barret, M.V. 1979. Evaluation of fertilizer on pronghorn winter range in Alberta. J. Range Manage. 32(1): 55-59. United States of America.
- Barrientos P., F. 1968. El mejoramiento del nopal (Opuntia spp) en México. En: Box, T.W. y P. Rojas M. (Ed). 1969. Simposio Internacional sobre el aumento de la producción de alimentos en zonas áridas. Monterrey, N.L. México p. 237.
- Bazan C., A.O. 1968. Determinación cualitativa de minerales en las variedades de Opuntia de Aguila del Rosario, Buenavista, Zaragoza. Tesis Licenciatura. ESAAN. Universidad de Coahuila. Buenavista, Coahuila, México.
- Becerra R., S. 1975. Eficiencia fotosintética del nopal (Opuntia spp) en relación con la orientación de sus cladodios. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- Beddows, A. R. 1967. Biological flora of the British Isles. Lolium perenne. J. Ecol. 55(2): 567-587. United States of America. -
- Bement, R.E. 1968. Plains Prickly pear. Relation to grazing intensity and Blue Grama yield on Central Great Plains. J. Range Manage. 21(2):83-85. United States of America. -
- Box, T.W. 1961. Relationships between plants and soils of four range plant communities in South Texas. Ecology. 42(3):794-810. United States of America.
- Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México. 2 ed. UNAM. Vol. I. México. 743 p.
- Britton, N.L. and J.N. Rose. 1937. The cactaceae. Dover Publication, Inc. New York. 241 p.
- Broschat, T.K. 1979. Principal component analysis in horticultural research. Hort Sci. 14(2):114-117. United States of America. -
- Brown, J.H., G.A. Lieberman and W.F. Dengler. 1972. Woodrats and cholla: Dependence of a small mammal population on the density of cacti. Ecol. 53(2):310-313. United States of America.
- Campbell, C.A. 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In: Schnitzer, M. and S.N. Khan. (Eds.). Soil organic matter. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam. p. 173-271.
- Cano J., G. y J.S. Marroquin. 1967. Las gramíneas de la Sierra de La Paila, Coahuila. México. (1). Bol. Soc. Nuev. Hist. Nat. "J.E. Gonzz.." 1(2): 59 - 108. México. -
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1971a. Las Liebres. Carta Topográfica. G14C11. Escala 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia (S.P.). México. 1 h. -

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1971b.
 Presa El Tulillo, Carta Topográfica. G14C22. Escala
 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presiden-
 cia (S.P.). México. 1 h.

. 1972a.
 Las Liebres. Carta Edafológica. G14C11. Escala 1:50,000
 Color: Varios. Secretaría de la Presidencia (S.P.).
 México 1 h.

. 1972b.
 Las Liebres. Carta Uso del Suelo. G14C11. Escala
 1:50,00. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
 (S.P.). México. 1 h.

. 1972c.
 Presa El Tulillo. Carta Edafológica. G14C22. Escala
 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
 (S.P.). México. 1 h.

. 1972d.
 Presa El Tulillo. Carta Uso del Suelo. G14C22. Escala
 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
 (S.P.). México. 1 h.

. 1972e.
 Sierra de la Paila. Carta Edafológica. G14C12. Escala
 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
 (S.P.). México. 1 h.

. 1972f.
 Sierra de la Paila. Carta Uso del suelo. G14C12. Escala
 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
 (S.P.). México 1 h.

. 1975.
 Sierra de La Paila. Carta Topográfica. G14C12. Escala
 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
 (S.P.). México 1 h.

. 1976.
 Las Coloradas. Carta Uso del Suelo. G14A82. Escala
 1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
 (S.P.). México. 1 h.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1977a.
Fraustro. Carta Edafológica. G14C13. Escala 1:50,000
Color: Varios. Secretaría de la Presidencia (S.P.).
México. 1 h.

. 1977b.
Fraustro. Carta Uso del Suelo. G14C13. Escala 1:50,000.
Color: Varios. Secretaría de la Presidencia (S.P.).
México. 1 h.

. 1977c.
Las Coloradas. Carta Edafológica. G14A82. Escala
1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
(S.P.). México. 1 h.

. 1979.
Fraustro. Carta Topográfica. G14C13. Escala 1:50,000.
Color: Varios. Secretaría de la Presidencia (S.P.).
México. 1 h.

. 1980.
Las Coloradas. Carta Topográfica. G14A82. Escala
1:50,000. Color: Varios. Secretaría de la Presidencia
(S.P.). México. 1 h.

Comisión Nacional de Zonas Áridas - Instituto Nacional de In-
vestigaciones Forestales (CONAZA - INIF). 1981. El Nopal.
Publicación especial No. 34. SARH. México. 85 p.

Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional
de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1979.
Coahuila. SARH. México. 255 p.

Cook, C.W. 1972. Comparative nutritive values of forbs, grasses
and shrubs. In: McKell, C.M., J.P. Blaisdell and
J.R. Goodin (Eds.). Wildland shrubs - Their Biology
and Utilization. USDA. For. Ser. Gen. Tech. Rep. INT-
1. Ogden, Utah. p. 303-310.

Cullison, A.E. 1979. Feeds and feeding. 2nd. ed. Preston
Publishing Co. Inc. A. Prentice-Hall. Co. Reston,
Virginia. 490 p.

Cummings, G.A. and G.E. Wilcox. 1968. Effect of Potassium
on Quality factors - fruits and vegetables. In: -
Kilmer, V.J., S.E. Younts and N.C. Brady (Eds.). The
role of potassium in Agriculture. Proceedings. ASA.
CSSA. SSSA.

- Charley, J.L. 1977. Mineral cycling in rangeland ecosystems. In: Sosebee, R.E. (Ed.). Rangeland plant physiology. Soc. Range Manage. Range Science Series No. 4. Denver. Co. p. 215 - 256.
- Dagnelie, P. 1971. Some ideas on the use of multivariate statistical methods in ecology. In: Patil, G.P., E.C. Pielou and W.E. Waters (Ed.). Many species population, ecosystems and systems analysis. - Statistical Ecology. Vol. IV. Pennsylvania State - University Press. USA. 462 p.
- Daubenmire, R. 1956. Climate as a determinant of vegetation distribution in Eastern Washington and Northern Idaho. Ecol. Monogr. 26:131-154. United States of America.
- Demolón, A. 1972. Principios de Agronomía. Tomo II. Crecimiento de vegetales cultivados. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 587 p.
- Douglas, B. 1973. Growing cacti and succulents. Hippocrene Books, Inc. New York p. 76.
- Dye, P.J. and B.H. Walker. 1980. Vegetation-environment relation on sodic soils of Zimbabwe, Rhodesia. J. Ecol. 68(2): 589-606. United States of America.
- Earle, W.H. 1963. Cacti of the southwest. Arizona cactus and native flora Society, Inc. Desert Botanical Garden. Science Bull. No. 4. Arizona. 111 p.
- Eddy, T.A. 1961. Foods and feeding patterns of the collared peccary in southern Arizona. J. Wildlife Manage. 25(3): 248-257. United States of America. (Res.).
- Farías F., J.M., N. Thomas y H.M. Quiroga G. 1983. Utilización del análisis de componentes principales en la selección de líneas y variedades introducidas de ballico anual Lolium multiflorum Lam. Agr. Tec. Mex. 9(2): 125 - 140. México.
- Gauch, H.G. 1982. Multivariate analysis in community Ecology. Cambridge University Press. United States of America. 298 p.
- Ghonemy, A.A., A. Wallace and E.M. Rommey. 1978. Nutrient concentrations in the natural vegetation of the Mojave Desert. Soil Sci. 126(4): 219-229. United States of America.

- Gnanadesikan, R. 1977. Methods for statistical data analysis of multivariate observations. John Wiley and Sons. New York. 311 p.
- Gómez P., A. 1965. La vegetación de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. No. 29. México. p 76-120.
- Good, R.M.A. 1969. The Geography of the flowering plants. 3 ed. Longmans. USA. 518 p.
- Goodin, J.R. 1977. Salinity effects on range plants. In: Sosebee, R.E. (Ed.). Rangeland plant physiology. Soc. for Range. Manage. Range Science Series. Number 4. Denver, Co. p 141 - 154.
- Grant, V. and K.A. Grant. 1971. Natural hybridization between cholla cactus species (Opuntia spinosior and Opuntia versicolor). National Academy of Sciences. Proceedings. 68(9): 1993-1995. United States of America.
- _____. 1979a. Systematics of the Opuntia phaeacantha group in Texas. Bot. Gaz. 140(2):199-207. United States of America.
- _____. 1979b. Hybridization and variation in the Opuntia phaeacantha group in Central Texas. Bot. Gaz. 140(2): 208-215. United States of America.
- _____. 1982. Natural pentaploids in the Opuntia lindheimeri - O. phaeacantha group in Texas, USA. Bot. Gaz. 143(1): 117 - 120. United States of America.
- Guevara C., R. 1983. Introducción al análisis en componentes principales y el análisis de correspondencias. CIAD. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 112 p.
- Hintze, J.L. 1985. Number Cruncher Statistical System. Versión 4.2. Kaysville, Utah. U.S.A.
- Houston, W.R. 1963. Plains pricklypear, weather and grazing in the northern greatplains. Ecol. 44(3): 569-674. United States of America.

- Humphrey, R.R. 1958. The desert grassland. A History of vegetational change and analysis of causes. Bot. Rev. 24(4): 193 - 252. United States of America.
- Isebrands, J.G. and T.R. Crow. 1975. Introduction to uses and interpretation of principal component analysis in forest biology. USDA. For. Serv. Gen. Tech. Rep. MC-17. North Central Experiment Sta. St. - Paul, Minn. 19 p.
- Kearney, H.T. and R.H. Peebles. 1973. Arizona Flora. - University of California Press. USA. 1085 p.
- Krebbs, C.J. 1972. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. Harper and Row Publishers. New York. 694 p.
- Loucks, O.L., M.L. Plumb-Mentjes and D. Rogers. 1985. Gap processes and larg-scale disturbances in sand prairies. In: Pickett, S.T.A. and P.S. White. - (Eds.). The Ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. Inc. New York. p. 72-83.
- Maddams, W.F. 1972. The problem of variability, The Cact. Succ. J. Great Britain. 34(4): 74-78. England.
- Mancias H., B.M. 1972. Contribución al conocimiento de los nopales forrajeros Opuntia spp. de la región nor-oriental de Nuevo León. Tesis Licenciatura. UANL. Monterrey, N.L. México. 114 p.
- Marroquín J., S., G. Borja L., R. Velázquez C. y J.A. de la Cruz C. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación Especial No. 2. SAG. México. 166 p.
- Martínez D., M. 1980. Alternativa para el manejo y transformación de Opuntia engelmannii Salm - Dick y Opuntia cantabrigiensis Lynch, en el noroeste de Zacatecas. Tesis licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah. México 58 p.

- Martínez M., L. 1968. Estudios del nopal rastrero forrajero y del nopal frutal (Opuntia spp.). En: Box, T. W. y P. Rojas M. (Eds.). 1969. Simposio internacional sobre el aumento de la producción de alimentos en zonas áridas. Monterrey, N.L. México. p. 339-344.
- Mauseth, J. D. and W. Halperin. 1973. Experimental alteration of growth patterns in Opuntia (Cactaceae.). Plant Phys. 51: 23. United States of America.
- Mc Cleary, J. A. 1968. The Biology of Desert plants. In: Brown, G. W. (Ed.). Desert Biology. Academic Press. New York. p. 141-194.
- Mc Ginnies, W. G. 1981. Discovering the desert. University of Arizona Press. Tucson, Arizona. 264 p.
- Mc Leod, M. G. 1974. Cytotaxonomic investigation of juicy-fruited pricklypears of Arizona (CACTACEAE. Opuntia series Opuntiae). Am. J. Botany. 61(5):47. United States of America.
- Meyer, B. N. and J. L. Mc Laughlin. 1981. Economic uses of Opuntia. Cact. Succ. J. 53(3): 107-112. United States of America.
- Monson, G. and W. Kessler. 1940. Lifehistory notes of the bannertailed Kangaroo rat, merriams kangaroo rat and the white throated wood rat in Arizona and New Mexico. J. Wildl. Manage. 4: 37-43. United States of America.
- Morrison, F. B. 1977. Compendio de Alimentación del ganado. UTEHA. México. 721 p.
- Muller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons. New York. 547 p.
- Orloci, L. 1966. Geometric models in ecology I. The theory and application of some ordination methods. J. Ecol. 54(1): 193-215. United States of America.
- Palomo G., D. R. 1963. Datos sobre nopales (Opuntia spp.) utilizados como forraje en el norte de México. Tesis Licenciatura. ITESM. Monterrey, N.L. , México. 67 p.

Parker, S. P. 1977. The Mc Graw - Hill Encyclopedia of environmental Science. 2nd. ed. Mc Graw - Hill Book Co., New York. 858 p.

Poole, R. W. 1974. An introduction to Quantitative ecology. Mc Graw - Hill Kogakusha, LTD. México. 531 p.

Reynolds, H. G. 1958. The ecology of merriam kangaroo rat (Dipodomys merriami Mearns.) in the grazing lands of southern Arizona. Ecol. Monogr. 28: 111-127. United States of America.

_____. and J. W. Bohning. 1956. Effects of burning on a desert grass - shrub range in southern Arizona. Ecol. 37(4): 769-777. United States of America.

Russel, E. W. 1961. Soil conditions and plant growth. 9 ed. Longman. London. 688 p.

Rzedowski, J. 1955. Nota sobre la flora y la vegetación de San Luis Potosí. II. Ciencia (Mex.). 15:89-96. México.

_____. 1965. Relaciones geográficas y posibles causas de la flora de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. No. 29. México. p 121-177.

_____. 1968. Algunas características de las zonas áridas de México. En: Box, T. W. y P. Rojas M. (Eds.). 1969. Simposio Internacional sobre el aumento de la producción de alimentos en zonas áridas. Monterrey, N. L., México. p 237.

Sarmiento, G. 1973. Evolution of arid vegetation in tropical America. In: Goodall, D. W. (Ed.). Evolution of Desert Bioma. University of Texas Press. Austin, USA. p.65-99.

Schneider, B. H. and W. P. Flatt. 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia Press. Athens, USA. 423 p.

Schroeder, C. A. 1975. Diurnal size fluctuation in Opuntia stem. Bot. Gaz. 136(1): 94-98. United States of America.

- Seal, H. L. 1964. Multivariate statistical analysis for biologist. John Wiley. New York. 207 p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP.). 1979. Síntesis Geográfica de Coahuila. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México, D.F. 163 p.
- Short, H. L. 1979. Food habits of coyote in a semidesert grass shrub habitat. U. S. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Research note. USA. 4 p.
- Short, H. L., R. M. Blair and L. Burkart. 1972. Factors affecting nutritive value. In: McKell, C. M., J. P. Blaisdell and J. R. Goodin. (Eds.). Wildland Shrubs Their biology and utilization. USDA. For. Ser. Gen. Tech. Rep. INT-1. Ogden, Utah.
- Sims, P.L., G. R. Lovell and D. E. Harvey. 1971. Seasonal trends in herbage and nutrient production of important sandhill grasses. J. Range. Manage. 24:55-59. United States of América.
- Snaydon, R. W. 1981. The ecology of grazed pastures. In: Morley, F. H. W. (Ed.). Grazing Animals. Elsevier Scientific. Publishing. Co. New York. p 13-31.
- Sobula, R. A. and K. E. Jaiyeola. 1977. Influence of soil organic matter on plant nutrition in Western Nigeria. Soil organic matter studies. Proceeding series. International Atomic Energy Agency. Vienna. p. 105-116.
- Stroup, W. W. and J. Stubbendieck. 1983. Multivariate statistical methods to determine changes in botanical composition. J. Range Manage. 36(2): 208-212. United States of América.
- Sturges, D. L. and M. J. Trlica. 1978. Root weights and carbohydrate reserves of big sagebrush. Ecol. 59(6): 1282-1285. United States of América.
- Velásquez C., R. 1962. Aspectos ecológicos, distribución y abundancia de Opuntia streptacantha y Opuntia leucotricha en la región árida de Zacatecas y San Luis Potosí. Tesis Licenciatura. ENA. Chapingo, México. 120 p.

- Villarreal, F., P. Rojas M., V. Arellano y J. Moreno. 1963. Estudio químico sobre 6 especies de Nopales (Opuntia spp.). Ciencia (Mex.). 22(3): 59-65. México.
- Wagner, R. H. 1964. The Ecology of Uniola peniculata L. in the dune-strand habitat of North Carolina. Ecol. Monogr. 34:79-96. United States of America.
- Walker, B. H. and C. F. Wehrhahn. 1971. Relationships between derived vegetation gradients and measured environmental variables in Saskatchewan wetlands. Ecol. 52(1): 85-95. United States of America.
- Wehbe, J., A. y J. L. Elizondo. 1986. Estudio florístico de las cactáceas del municipio de Ramos Arizpe, Coah. Cact. Suc. Mex. 31: 97-102. México.
- Welch, B. L. 1978. Relationships of soil salinity, ash, and crude protein in Atriplex canescens. J. Range Manage. 31(2): 132-233. United States of America.
- Wright, R. D. and H. A. Mooney. 1965. Substrate oriented distribution of bristlecone pine in the white mountains of California. Amer. Midl. Nat. 73:257-284. United States of America.
- Yeaton, R. I. and M. L. Cody. 1979. The distribution of cacti along environmental gradients in the Sonoran and Mohave deserts. J. Ecol. 67: 529-541. United States of America.