



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

“ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA VEGETACIÓN  
GYPSÓFILA DEL VALLE DE  
CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA, MÉXICO.”

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS  
FORESTALES



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

P R E S E N T A:

SUSANA ELIZABETH RAMÍREZ SÁNCHEZ

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

Chapingo, Estado de México, Enero 2006

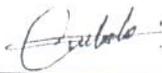


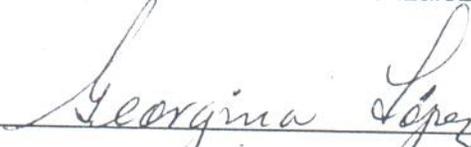
**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA VEGETACIÓN GIPSÓFILA DEL VALLE  
DE CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA, MÉXICO**

Tesis realizada por **SUSANA ELIZABETH RAMÍREZ SÁNCHEZ** bajo la  
dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada  
como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

DIRECTOR:   
Dr. Diódoro Granados Sánchez

ASESOR:   
Dr. Arturo Sánchez González

ASESOR:   
M. C. Georgina F. López Ríos

ASESOR:   
M. C. Javier Santillán Pérez

## DEDICATORIA

A mi madre por ser quien me impulsa día a día diciéndome “Camina siempre a delante”, por darme la vida y apoyarme en todo, porque nunca podré agradecerle todo lo que hace por mi.

A mi padre por darme la vida.

A mis hijos Pepe, Aldo, Neydi y la Bebe, quienes son mi principal motor.

A Arturo por apoyarme en todo y amarme incondicionalmente.

A mi abita (mami) por tenerme presente siempre en sus oraciones.

## AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por ser quien aporto los recursos para mi preparación y para el presente trabajo.

Al pueblo de México por que con sus impuestos coadyuvo para mi preparación.

Al Dr. Diódoro Granados Sánchez, por ser quien me impulsa a superarme en lo académico, por ser mi principal influencia desde licenciatura, por ser paciente, y soportar mis berrinches. Pero sobre todo por su atinada dirección en el presente trabajo.

Al Dr. Arturo Sánchez González, por ser una gran persona para conmigo y para los que acuden a él, por su gran ayuda en la realización de este trabajo, por el tiempo que me dedico y las horas que me esperó, gracias por ser paciente.

A la M. en C Georgina López Ríos por su amistad, sus amenas charlas sus consejos, por ser paciente, por soportar mis berrinches con una sonrisa en su rostro, por su confianza y por perdonar mis groserías, pero sobretodo por sus conocimientos y sus aportaciones para este trabajo.

Al M en C Javier Santillán Pérez, por sus valiosos consejos, por ser amigable y por sus aportaciones para el presente trabajo.

Al Biol. Arturo Contreras, encargado del área de estudio durante los muestreos, por su sencillez y comprensión, por su apoyo en los muestreos, por todas las facilidades prestadas para la realización de esta tesis.

Al departamento de edafología en la FES-Iztacala, UNAM, por permitirme usar sus instalaciones y reactivos en el análisis de las muestras de suelo; al Profesor Daniel, Francisco y a Poncho por su asesoría en el procesamiento de las muestras.

**BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES**

## **DATOS BIOGRAFICOS**

La autora nació el 21 de diciembre de 1970, ingresó a la UNAM, a nivel bachillerato, al concluir, abandono sus estudios para contraer nupcias, fruto de esto, son dos pequeños, la relación se termina 5 años más tarde; es entonces cuando retoma sus estudios e ingresa a la licenciatura en biología en la FES-Iztacala, al término de la carrera contrae nuevas nupcias y obtiene su título en el 2002; para el 2003 ingresa a la maestría en ciencias forestales, al término de este periodo, tiene dos pequeñas más y obtiene su título en enero del 2006.

“Análisis ecológico de la vegetación gypsófila del Valle de Cuatrociénegas,  
Coahuila, México”.

Dirigido por el Ph. D. Diódoro Granados Sánchez

### RESUMEN

En México existe información sobre la composición florística de un gran número de ecosistemas, pero el estudio de la estructura y función de la vegetación todavía es insuficiente. En este trabajo se analizó la vegetación del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila con el enfoque de los grupos funcionales, utilizando métodos de clasificación y ordenación. El área se dividió en cuatro sitios y en cada uno de ellos se eligieron al azar 20 parcelas de muestreo de 1 m<sup>2</sup>. Para cada especie se determinaron 14 atributos ecológicos.

La clasificación numérica permitió definir cinco grupos funcionales con base en los atributos considerados de un total de 36 especies. Los sitios 1, 3 y 4 fueron los de mayor semejanza en composición de especies. La ordenación directa, además de confirmar los grupos funcionales obtenidos con la clasificación, permitió identificar las variables ambientales (edáficas) más relacionadas con la distribución de la vegetación.

Palabras clave: Grupos funcionales, vegetación gypsófila, clasificación, ordenación, Cuatrociénegas

“Ecological analysis of vegetation gypsophila of Valle of Cuatrociénegas,  
Coahuila, Mexico”.

Directed by Ph.D. Dióforo Granados Sánchez.

### SUMMARY

In Mexico information on the floristic composition of a great number of ecosystems exists, but the study of the structure and function of the vegetation still is insufficient. In this study, the vegetation of Cuatrociénegas Valley, Coahuila, was analyzed, with the approach of the functional groups, and utilizing methods of classification and ordering. The area was divided into four places and in each of them, 20 plots of sampling, of 1 m<sup>2</sup>, were randomly chosen. For each species 14 ecological attributes were determined.

The numerical classification allowed defining five functional groups, of a total of 36 species, based on the considered attributes. The places 1, 3 and 4 were those of greater resemblance in composition of species. The direct ordering, besides confirming the functional groups obtained with the classification, permitted to identify the environmental variables (edaphics) more related to the distribution of the vegetation.

Keywords: functional Groups, vegetation gypsophila, classification, ordering, Cuatrociénegas.

## INDICE

APROBACIÓN DE TESIS DE GRADO .....	I
DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
DATOS BIOGRAFICOS .....	IV
RESUMEN.....	V
SUMMARY .....	VI
<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Objetivos:</i> .....	4
<b>2.- MARCO TEORICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 El Desierto Chihuahuense.....	5
2.2 Vegetación gypsófila.....	9
2.3 Vegetación halófito.....	10
2.4. <i>Clasificación y ordenación</i> .....	11
2.4.1. Clasificación .....	13
2.2.1.1. Técnicas de clasificación.....	13
2.2.1.1.1. Arreglo tabular.....	13
2.2.1.1.2 Clasificación jerárquica.....	14
2.2.1.1.3 Clasificación no jerárquica.....	15
2.2.1.1.4 Ordenación.....	15
2.2.2.1.1 Métodos de ordenación .....	16
2.2.2.1.2 <i>Evaluación de las fuentes de agua.</i> .....	20
2.2.2.1.3 <i>Grupos funcionales</i> .....	21
2.2.2.1.4 <i>Cómo poder reconocer los grupos o tipos funcionales.</i> .....	23
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1.1. <i>Caracterización biológica de la vegetación gypsófila</i> .....	27
3.1.1.1. <i>Caracterización estructural de la vegetación gypsófila.</i> .....	28
3.1.1.2. <i>Grupos funcionales.</i> .....	29
3.1.1.3. <i>Evaluación de las fuentes de agua.</i> .....	31
3.1.1.3. <i>Evaluación de variables ambientales</i> .....	32
3.1.1.4. <i>Distribución espacial de las poblaciones vegetales</i> .....	32
3.1.1.4.1 <i>Clasificación y ordenación</i> .....	32

<b>3.1.1.5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>34</b>
3.1.1.5.1. Localización.....	34
3.1.1.5.2. Población.....	35
3.1.1.5.3. Clima.....	36
3.1.1.5.4 Hidrología.....	37
3.1.1.5.5. Geología.....	39
3.1.1.5.6. Suelos.....	40
3.1.1.5.7 Vegetación.....	42
3.1.1.6. Matorral desértico rosetófilo.....	43
3.1.1.6.1. Matorral desértico micrófilo.....	43
3.1.1.6.2. Matorral desértico de transición.....	43
3.1.1.6.3. Vegetación halófito.....	44
3.1.1.6.4. Vegetación gypsófila.....	44
3.1.1.6.5. Áreas sin vegetación aparente.....	44
3.1.1.6.6. Vegetación acuática y semi-acuática.....	45
<b>4.- RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>46</b>
4.1.1.1 Grupos Funcionales.....	46
<b>4.1.1.2 CLASIFICACIÓN .....</b>	<b>52</b>
4.1.1.2.1 Clasificación cualitativa.....	52
4.1.1.2.2 Clasificación cuantitativa.....	55
<b>4.1.1.3 ORDENACIÓN INDIRECTA.....</b>	<b>56</b>
4.1.1.3.1 Ordenación Directa.....	58
<b>4.1.1.4 FUENTES DE AGUA .....</b>	<b>60</b>
<b>5.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>6.- ANEXO.....</b>	<b>68</b>
6.1.- Fotografías de la zona de muestreo.....	68
6.2 Propiedades físicas-químicas de los suelos.....	73
<b>7. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>74</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Desierto Chihuahuense (Ramírez, 2002).....	6
Figura 2. Localización de los sitios de muestreo dentro del Área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas(APFFC).....	28
Figura 3. Matrices utilizadas para clasificar a las plantas en grupos funcionales (a) y para conocer la relación entre las variables ambientales y dichos grupos (b). .....	31
Figura 4. Localización del APFFC. ....	34
Figura 5. Imagen de satélite del APFFC, Coahuila (tomada el 11 de julio de 1995). ....	35
Figura 6. Mapa de suelos del APFFC.....	42
Figura 11.- Dendrograma mostrando la clasificación de la vegetación (Pre-Aus). .....	54
Figura 12.- Dendrograma representando la clasificación de las especies encontradas en base a su VIR. ....	55
Figura 13.- Diagrama de salida del análisis de componentes principales mostrando la distribución de los sitios de muestreo en 2 ejes de ordenación (OI). ....	56
Figura 14.- Diagrama de salida de la ordenación indirecta de los sitios de muestreo y especies.....	58
Figura 15.- Diagrama de salida del CCA en PCOR (Izq. Sitios/spp, Der. Sitio/Var. Amb.). ....	59
Figura 16.- Arquitectura de la raíz que presentan las especies estudiadas. ....	61

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Atributos a evaluar.....	30
Cuadro 2.- Actividades económicas de la población.....	36
Cuadro 3. Grupos funcionales definidos.....	48
Cuadro 5.- Resultado del análisis de correspondencia canónica indicando los valores de las raíces características y el % de varianza explicada para los 2 primeros ejes.....	57
Cuadro 4.- Valor de importancia de las especies por sitio.....	70
Cuadro 8.- Listado de las especies encontradas en el área de estudio.....	71
Cuadro 8a.- Continuación.....	72
Cuadro 9.- Propiedades físicas-químicas de los suelos.....	73

**BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES**

## 1.- INTRODUCCIÓN

El Desierto Chihuahuense, el más grande de Norteamérica, se localiza en los estados de Chihuahua y Coahuila principalmente; y cubre pequeñas áreas de San Luis Potosí y Zacatecas en México, y de los estados de Arizona, Nuevo México y Texas en los Estados Unidos (ver figura 1). Dentro de este desierto se localiza el Valle de Cuatrociénegas, en el estado de Coahuila (zona central), este Valle se decreto área natural protegida (Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas: AFFPC) (figura 2) por constituir un importante refugio de flora, fauna y por ser el humedal más importante del Desierto Chihuahuense y de México (INE-Semarnap, 1999).

El AFFPC cuenta con afloramientos de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), principalmente en forma de dunas, que son considerados como los segundos en extensión en América. En estos afloramientos existen varias especies vegetales gypsófilas endémicas ( Johnston, 1941) características de hábitat áridos y semiáridos con afloramientos de yeso rocoso o en forma de cristales expuestos a la erosión. En México, estos afloramientos se encuentran con frecuencia en las partes bajas de cuencas endorreicas formadas por rocas sedimentarias marinas en la región oriental árida del altiplano, desde Coahuila y el este de Chihuahua hasta San Luis Potosí (Rzedowski, 1978).

En México existe información sobre la composición florística de un gran número de ecosistemas (Rzedowski, 1992; Álvarez-Sánchez, 1993) pero los aspectos de carácter estructural y funcional son poco atendidos o no han sido explorados. Los datos cuantitativos a nivel de ecosistema son muy limitados,

resultado también de una historia breve en este tipo de estudios, además de la evidente complejidad biológica.

Los grupos funcionales se definen como conjuntos de poblaciones que responden de modo semejante a un conjunto determinado de factores ambientales, relacionados con la adquisición de recursos, crecimiento, reproducción, dispersión y respuesta al stress ambiental (Scholes *et al.*, 1997; Valério, 1999; Terradas, 2001). El concepto de grupo funcional difiere del concepto tradicional de clasificación de plantas en que la agrupación se realiza con base en criterios de semejanza ecológica, más que morfológica o evolutiva.

Aunque el concepto de grupos funcionales ha estado implícito desde hace mucho tiempo tanto en la taxonomía científica como en la tradicional, hoy en día hay un renovado énfasis en la confiabilidad de su uso para predecir la respuesta de la vegetación a los cambios ambientales substanciales y acelerados a escala local, regional y global. Se ha postulado que la dinámica esencial de un ecosistema puede ser descrita agrupando las especies dentro de un número limitado de grupos funcionales (Gitay y Noble, 1997).

Dadas las numerosas combinaciones posibles entre los diferentes estados de los factores ambientales y de los posibles conjuntos de especies vegetales, se podría pensar que la vegetación tiene infinitas formas de expresión. Sin embargo, como consecuencia de la interdependencia de algunos factores ambientales y de que no todas las especies son independientes entre si, la vegetación presenta un número finito de expresiones; es decir, en distintas zonas del planeta se repiten condiciones ecológicas semejantes que provocan

la presencia de vegetaciones características, sin embargo, no existen dos lugares ocupados por comunidades idénticas (Zavala, 1986).

La presencia de yeso y la elevada salinidad de los suelos confieren características especiales a la vegetación del APFFC. Como es un ecosistema muy frágil, cualquier cambio en la estructura, la composición y la distribución espacial de las especies sirve a menudo como indicador de los efectos de la explotación de los recursos naturales (capacidad de carga del ambiente); la búsqueda de asociaciones entre vegetación y ambiente permite emplear a la vegetación como indicadora del ambiente y viceversa, simplificando así los estudios de evaluación de la tierra y de la capacidad productiva del ambiente en cuestión (Matteucci y Colma, 1982).

### 1.1 Objetivos:

- Conocer el estado actual de la vegetación gypsófila del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas.
- Generar información básica sobre la estructura, función y distribución de la vegetación gypsófila del APFFC mediante el uso de técnicas de análisis multivariable (clasificación y ordenación).
- Identificar los principales grupos funcionales vegetales.

## 2.- MARCO TEORICO

### 2.1 El Desierto Chihuahuense

En México los desiertos tehuacanense, sonoreense, hidalguense y chihuahuense cubren aproximadamente el 60% del territorio (Godinez, 1998). El desierto Chihuahuense, el más grande de los cuatro, con cerca de 630 000 km<sup>2</sup>, abarca desde el sur de los Estados Unidos de América, hasta el centro de México (Figura 1). Es además uno de los desiertos con mayor diversidad biológica del mundo y el porcentaje de cactáceas y peces endémicos es sobresaliente en el ámbito mundial (Sutton, 2000).

El Desierto Chihuahuense es actualmente objeto de gran atención dentro de los programas de conservación de los recursos naturales, al contar con cerca de 1 000 especies de plantas endémicas (Brown, 1982) que conforman junto con otras especies un mosaico muy variado de tipos de vegetación: matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, matorral desértico crasicaule, mezquital, pastizal, vegetación riparia, entre otros (Hernández X., 1955; Pinkava, 1979).

En el Desierto Chihuahuense existe una vasta diversidad de plantas, que el hombre ha utilizado por generaciones (Bernabé, 2000). En la actualidad se desconocen mucho sobre el uso y manejo tradicional. Sánchez (1998) y Ramírez (2002) mencionan algunas especies de plantas según sus usos, destacan entre ellas las de uso industrial como la Candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) de la que se obtiene cera de gran pureza y dureza, el *Agave lechuguilla*, del que se extrae una fibra de alta resistencia, la palma samandoca

(*Yucca carnerosana*) y la palma china (*Yucca filifera*) que proporcionan una fibra menos resistente pero de uso común y producen químicos precursores de hormonas.

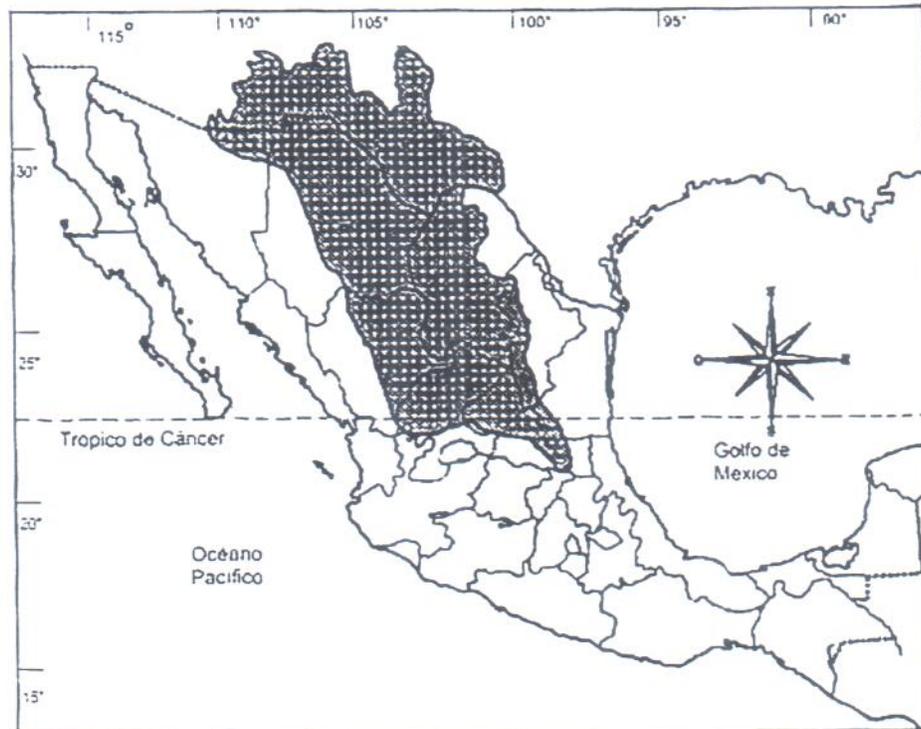


Figura 1. Localización del Desierto Chihuahuense (Ramírez, 2002).

Entre las plantas alimenticias destaca el nopal (*Opuntia* spp.), que se consume como verdura y sus frutos (tunas) son muy apreciados, también se utiliza para elaborar bebidas. Algunas especies del género *Agave* (maguey) se utilizan para elaborar bebidas alcohólicas. Otro grupo muy importante es el de las especies forrajeras que sirven de alimento para el ganado: aquí destacan las gramíneas y otras plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas de ramoneo

(fundamentalmente leguminosas y géneros como: *Opuntia*, *Ferocactus*, *Atriplex*, entre otros).

Juárez (1989) realizó un estudio de los recursos vegetales del Altiplano Potosino-Zacatecano en el que menciona 52 especies de plantas medicinales y destaca la importancia que tienen las principales comunidades vegetales en la abundancia de plantas útiles. García y Flores (1996) realizaron una revisión bibliográfica de los géneros: *Agave*, *Pinus* y *Prosopis* en la que describen los usos e ingresos que obtienen de los mismos los pobladores de las zonas áridas y semiáridas de México. Bernabé (2000), menciona que las principales asociaciones vegetales del desierto chihuahuense son: Matorral rosetófilo de *Agave lechuguilla*, Matorral de gobernadora (*Larrea tridentata*), Matorral rosetófilo de sotol (*Dasyilirion* spp.), Pastizal, Chaparral, Mezquital, Izotal, Vegetación de Dunas y Vegetación halófito.

Vela y Lozano (1995) analizaron la distribución de la vegetación de Cuatrociénegas mediante imagen satelital, reportando los siguientes tipos de vegetación: matorral desértico, matorral rosetófilo, mezquital, vegetación halófito, pastizal halófito, matorral submontano, chaparral, bosque de encino y bosque de pino.

Reyes-Agüero *et al.* (2000) realizaron un estudio sobre la biología y la importancia económica de *Agave lechuguilla* en el desierto Chihuahuense, así como una propuesta de manejo. Granados y López (2001) describen los tipos de vegetación del desierto Chihuahuense: Matorral Desértico Micrófilo, Matorral Desértico Rosetófilo, Matorral Desértico Crasicaule, Mezquite-Opuntia-Pastizal,

Nopaleras; y hacen hincapié en las especies vegetales que tienen usos industriales, forestales, curativos y alimenticios.

Granados (2001) describe, en su estudio sobre el manejo de los recursos naturales en zonas áridas, las principales especies industriales: *Euphorbia antisiphilitica*, *Agave lechuguilla*, *Parthenium argentatum*, *Yucca carerosana*, *Y. filifera*, *Cucurbita foetidissima*, *Ungnadia speciosa*, *Lophophora williamsii*, *Flourensia cernua*, *Acacia berlandieri*, *Larrea tridentata* y *Simondsia chinensis*.

Pinkava (1979) clasificó la vegetación de la región del Bolsón de Cuatrociénegas, Coahuila, México en los siguientes tipos: 1) zacatón, 2) medios acuáticos y semi-acuáticos, 3) dunas yesosas o de yeso, 4) transición, 5) desierto achaparrado, 6) chaparro, 7) bosque de roble y piñón, 8) bosque montanés de pino, abeto y *Pseudotsuga*. En estos tipos de vegetación encontró 824 taxa distribuidos en 786 especies, 429 géneros y 111 familias.

Rzedowski (1991) analizó las principales causas de los endemismos en el planeta, menciona algunas especies endémicas y entre las zonas con alto endemismo se refiere al Bolsón de Cuatrociénegas, con sus 23 especies endémicas.

Turner (1972) registró dos nuevas especies del género *Gaillardia*, una de las cuales *Gaillardia gypsophila* es endémica de la región de Cuatrociénegas, Coahuila.

Calegari (1997) menciona que en Cuatrociénegas se realizan programas de conservación coordinados por la SEMARNAP y describe las principales actividades económicas que la población realiza dentro de la zona.

## 2.2 Vegetación gypsófila

La vegetación de suelos yesosos se denomina gypsófila (de *gipsy*: yeso y *filos*: amante), se caracteriza por su adaptación a la competencia por el agua y soportar la salinidad del suelo. Johnston (1941), clasificó a las plantas gypsófilas en facultativas y obligadas. Las primeras son especies tolerantes a yeso, que se distribuyen típicamente en suelos no yesosos pero que pueden crecer en los márgenes de mezclas yesosas, sin que aparentemente sean afectadas por las diferencias del sustrato. Johnston (Op. Cit.) menciona que algunos autores definen como halófitas a las plantas que crecen en suelos gypsófilos, pero esto es incorrecto porque las especies gypsófilas obligadas sólo crecen en suelos con sulfato de calcio. La confusión es entre las especies halófitas y las gypsófilas facultativas.

Las gypsófilas obligadas son especies que requieren yeso y nunca parecen crecer más allá de los márgenes de suelos yesosos. Powell y Turner (1974) sugirieron que hay un tercer grupo de gypsófitas conformado por especies que prefieren yeso, por lo que se encuentran con mayor frecuencia en sustratos yesosos (mezclados o puros) que en otro tipo de suelo. Henrickson (1974) menciona que muchas especies no gypsófitas pueden tolerar el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) por su baja solubilidad (0.24 g/100 en agua fría) mientras que son pocas las plantas que pueden tolerar ambientes salinos debido a que la alta solubilidad de las sales comunes como NaCl y KCl (de 35.7 y 3407 g/100 respectivamente) afectan la capacidad de asimilación de agua por las plantas.

Rzedowski (1978) indica que la superficie que ocupan las comunidades halófitas y gypsófilas en México es muy amplia, cerca de tres cuartas partes de

su longitud corresponden al litoral marino y son numerosas las cuencas endorreicas en el Altiplano árido.

En su estudio de Amaranthaceae en la flora halófila y gypsófila de México Sánchez-Del Pino *et al.* (1999) describen mediante claves taxonómicas diez géneros y seis variedades presentes en suelos salinos con sodio y yeso.

### 2.3 Vegetación halófila

Glenn (1995) menciona que las especies halófitas son plantas superiores (incluidas las plantas terrestres y las sumergidas) tolerantes a la sal. Las halófitas son importantes desde diversas perspectivas: como plantas de ramoneo en los pastizales y en los desiertos; por su uso en proyectos de rehabilitación de suelos salinizados para la recuperación de su uso productivo y están presentes en terrenos húmedos. Las halófitas han sido utilizadas como forrajes y para obtener cultivos a partir del riego con agua salada. También se han usado como modelos experimentales de tolerancia a la salinidad, para entender qué características se requieren para que sean introducidas como plantas de cultivo y así mejorar su funcionamiento en suelos salinos. La alta concentración de sales en el suelo es un factor de estrés común e importante en los desiertos.

Barbour (1970) y Barbour *et al.* (1987) sugieren que ninguna especie de angiosperma es **halófila obligada**, es decir, una planta que no crece a menos que el suelo sea salino. Todas las halófitas estudiadas hasta ahora han sido encontradas en ocasiones creciendo de manera natural en suelos no salinos y

crecen bien si se les cultiva en suelos no salinos. En algunas halófitas que se conocen como **acumuladoras de sales** (por ejemplo *Atriplex tirangularis*) a medida que se absorbe la sal el potencial osmótico es cada vez más negativo durante la temporada de crecimiento (Ungar, 1974). Sin embargo, incluso en estas plantas la solución del suelo no se incorpora de manera directa. Si se toma como base las cantidades de agua que transpira la planta, resulta sencillo suponer que si se absorbiera toda la solución de suelo la planta podría contener de 10 a 100 veces más cantidad de sal de la que en realidad se observa.

#### **2.4. Clasificación y ordenación**

A semejanza de una población, la comunidad posee un conjunto de tributos que no residen en cada una de las especies que la componen y que revisten significado solo con referencia al nivel de integración comunitario. Se han medido y estudiado cinco características tradicionales de las comunidades:

- Diversidad de especies
- Estructura y formas de crecimiento
- Predominio
- Abundancia relativa
- Estructura trófica

Una parte considerable del trabajo ecológico, tanto pasado como presente, ha sido dirigida hacia la descripción de estas características de las comunidades. El objetivo de dicha descripción es proporcionar a otros investigadores una

base que les permita formarse una imagen mental de un área y su vegetación, para poder compararla con otras comunidades y crear esquemas de clasificación.

Toda esta trama de interrelaciones que ocurren, entre los diferentes elementos bióticos como abióticos de un ecosistema, nos hace percibir de manera clara que la problemática ecológica es de naturaleza inherentemente multivariada (Greig-Smith, 1983). Por esta razón, los ecólogos se sustentan fuertemente en métodos de ordenación para simplificar los conjuntos de datos de múltiples especies y variables. De esta manera se disponen sobre unos cuantos ejes de ordenación o clusters.

Por lo cual los diagramas de ordenación nos permiten visualizar agrupaciones que habitualmente coinciden y simplifican los conglomerados formados con las técnicas de clasificación numérica (Sánchez, 1998).

El objetivo de las técnicas de clasificación y ordenación, consiste en el agrupamiento de datos (en este caso muestras de vegetación y variables ambientales, suelo) en conjuntos de alta similitud o disimilitud entre sí, para llegar a un arreglo de unidades en una secuencia unidimensional. De tal forma que el modelo resultante muestre las relaciones existentes entre las especies y factores contemplados (Suárez, 2003).

A pesar de que las estrategias de la clasificación y ordenación son muy diferentes, en la práctica, la discrepancia no es tan grande, los resultados del método de ordenación refuerzan y ayudan en la comprensión de la clasificación (Woodall, 1978; Bridge, 1993; Randerson, 1993).

### **2.4.1. Clasificación**

La clasificación consiste en el agrupamiento de individuos en categorías, según algún criterio, un orden razonable que nos ayude a entender algo que, de otro modo, resulta demasiado variado y confuso. En donde los miembros deben ser similares entre sí, pero diferentes con las otras categorías. En los estudios de vegetación la semejanza es cuestión de grado, no interesa tanto que las clases sean homogéneas, como el que sean menos heterogéneas que el conjunto como un todo (Whittaker, 1970; Sánchez, 1998; Terradas, 2001).

Los propósitos básicos de la clasificación como una técnica de análisis multivariable son, según Gauch, 1982:

- Resumir conjuntos de datos grandes y complejos.
- Ayudar en la interpretación ambiental de patrones de variación en la comunidad.
- Refinar modelos acerca de la estructura de la comunidad.

#### **2.2.1.1. Técnicas de clasificación.**

Las técnicas de clasificación se pueden dividir en 3 grupos: Arreglo tabular, clasificación jerárquica (que a su vez se subdivide en divisiva, aglomerativa, monotética y politética) y clasificación no jerárquica.

##### **2.2.1.1.1. Arreglo tabular.**

La técnica de clasificación tabular más utilizada es la de Braun-Blanquet (1932), es un arreglo matricial de especies-muestra, que simboliza de manera

inmediata las características generales y el detalle de los conjuntos de datos. El proceso de investigación se da en tres fases:

- Investigación analítica: se basa en la recolección de los datos después de reconocimiento del área.
- Investigación sintética: es el acomodo de las especies y las muestras para exponer el arreglo de los datos, mediante el arreglo tabular.
- Investigación sintaxonómica: donde se asignan muestras a asociaciones ya conocidas, se hace el arreglo jerárquico de asociaciones en unidades superiores y se desarrolla una nomenclatura formal estandarizada.

#### **2.2.1.1.2 Clasificación jerárquica.**

Agrupar entidades semejantes en clases, este tipo de clasificación es para grupos pequeños de datos, encuentra las relaciones entre ellos. Las ventajas de este análisis, es que puede visualizarse de lo particular a lo general. Como se mencionó anteriormente, las estrategias de la clasificación jerárquica puede ser:

- Divisiva: cuando en un principio se considera a la totalidad de las muestras dentro de un solo grupo que se va dividiendo progresivamente hasta la formación de grupos con una sola muestra o bien, hasta que se llega a un cierto nivel deseado.
- Aglomerativa: cuando como punto de partida se considera a las muestras en forma individual y se van fusionando sucesivamente en grupos de tamaño creciente, hasta que la población total es sintetizada en un solo grupo.

- **Monotética:** cuando las particiones son definidas por presencia o ausencia de un solo carácter.
- **Politética:** cuando los grupos son definidos por su similitud total en cuanto a su estructura de atributos.

#### **2.2.1.1.3 Clasificación no jerárquica.**

Es la más simple, agrupa muestras similares en clases lo cual es mejor para grandes conjuntos de datos. Este análisis no es apropiado para observar relaciones, ya que solo es un acercamiento simple a los conjuntos para su posterior análisis.

#### **2.2.1.1.4 Ordenación.**

La ordenación es el arreglo y el análisis de las agrupaciones de las muestras de vegetación con relación una de otra en términos de la semejanza entre especies y/o sus controles ambientales (Goodland, 1995; Kent y Coker, 1992). Dentro de los gradientes ambientales se reconocen tres tipos ( Austin y Smith, 1989):

- **Gradientes directos:** son aquellos factores que tienen impacto fisiológico directo en el crecimiento de las plantas pero no son consumidos, por ejemplo podemos mencionar el pH, textura y densidad del suelo.
- **Gradientes indirectos:** este tipo de factores conocidos como gradientes complejos de Whittaker (1970), involucran la presencia de otros, por

ejemplo podemos mencionar la altitud que tiene una correlación específica con las variables de humedad, temperatura y precipitación, las cuales tienen una relación fisiológica directa en la vegetación.

- Gradientes de recursos: son aquellos donde el factor ambiental es consumido por las plantas como recurso directo para su crecimiento. Hay un número limitado de tales recursos para los organismos autótrofos: luz, agua, CO<sub>2</sub>, y los nutrientes minerales esenciales del suelo.

#### **2.2.2.1.1 Métodos de ordenación**

Uno de los métodos más ampliamente usado es el análisis de correspondencias sin tendencia (ACT), que es una técnica de análisis de gradiente indirecto en la que los gradientes ambientales no son estudiados directamente, pero son inferidos a partir de la composición y/o estructura de las especies (Hill y Gauch, 1980).

El análisis de gradiente indirecto es una forma lógica de descubrir factores determinantes de la estructura de la comunidad, tiene varias propiedades deseables como una técnica de análisis de gradiente indirecto. A diferencia del Análisis de Componentes Principales (ACP) y del Análisis de Correspondencia (AC) no produce el "efecto de arco" o de "herradura", el cual es un segundo eje aparente o una función curvilínea del primer eje.

El ACT, al igual que el AC y el Análisis de Correspondencia Canónico (ACC), es una técnica de ordenación de promedios ponderados cuya principal

ventaja incluye el ordenamiento simultáneo de sitios y especies además de su rápida computación y eficiencia cuando las especies muestran relaciones de tipo no lineal y unimodal a gradientes ambientales, lo cual produciría serios problemas con la técnica de ACP. (Ter Braak, 1986).

En los últimos años, se ha comenzado a utilizar una nueva técnica de ordenación, el Análisis de Correspondencias Canónico (ACC), que ha diferencia del ACT, es una técnica de ordenación directa y representa además, un caso especial de regresión multivariada. (ter Braak, 1986, 1987; Palmer, 1993), El ACC y el ACT son sólo variantes del AC.

El algoritmo del AC puede ser expresado ya sea en términos de un eigenanálisis o como aproximaciones utilizando promedios recíprocos (PR). El uso de promedios recíprocos es en general, computacionalmente simple (Zavala, 1986):

El análisis se inicia asignando coeficientes (pesos) arbitrarios a las especies. Al promediar estos coeficientes, se obtienen coeficientes para las muestras. Una segunda iteración produce nuevos coeficientes para las especies a partir de los pesos para las muestras. Este procedimiento se continua en forma iterativa hasta que los coeficientes se estabilizan. Así, los coeficientes convergen a una solución única que es independiente de la selección inicial de los coeficientes arbitrarios para las especies. De esta forma el AC permite ordenar muestras y especies de manera simultánea. La computación del segundo eje es más complicada, pero esencialmente lo mismo que se ha descrito anteriormente, excepto que el efecto lineal del primer eje

puede ser factorizado externamente. Los ejes subsecuentes pueden calcularse corrigiéndolos para los previamente obtenidos. Los ejes así obtenidos tienen una secuencia decreciente de valores de las raíces características, que representan el porcentaje de la variación total explicada por cada uno de los ejes de la ordenación.

El algoritmo de AC ha sido considerado por algunos como “circular”, “misterioso”, o “magia”. En realidad, es merecidamente un algoritmo para una de las técnicas centrales del álgebra de matrices (Palmer, 1993).

El ACT es idéntico al AC, excepto que se adiciona una ruta sin tendencia. La no tendencia consiste en la eliminación del “efecto de arco”, por medio de artificios tales como cortar el primer eje en segmentos y llevando el promedio de cada segmento a cero, o bien, adecuando un polinomio a la relación (usualmente una ecuación cuadrática) y substrayendo su efecto. (ter Braak, 1987). Sin embargo, estos artificios han sido criticados por sus efectos inciertos. (Palmer, 1993).

El algoritmo del ACC al igual que el del ACT involucra la asignación de coeficientes (pesos), sin embargo estos pesos no son asignados para eliminar el efecto indeseado, sino más bien para tratar de obtener ventaja de los datos suplementarios en la forma de variables ambientales; esto es lo que hace del ACC una técnica de gradientes directos. Se efectúa una regresión lineal múltiple por el método de mínimos cuadrados, tomando los coeficientes para las muestras (determinados de los Promedios Ponderados: PR, de las especies) como la variable dependiente, y las variables ambientales como variable

independiente. Los nuevos coeficientes para las muestras se asignan ahora conforme al valor predicho por la ecuación de regresión. Dado que esta ecuación es formalmente una combinación lineal de variables, podemos nosotros determinar los nuevos coeficientes para las muestras.

El fundamento del modelo estadístico del ACC es que la abundancia o frecuencia de una especie tiene una función unimodal de posición a lo largo de un gradiente ambiental. El ACC es una aproximación a la regresión Gaussiana bajo una serie de supuestos simples, y es robusto cuando se violan tales supuestos. Es inapropiado para gradientes extremadamente cortos, en los cuales la abundancia o frecuencia de las especies es una función lineal monotónica del gradiente.

Ter Braak (1986), menciona que el algoritmo para el ACC es conceptualmente simple y enlaza muy bien dos distintas técnicas de la estadística (Promedios Ponderados y Regresión Lineal), sin embargo, la elegancia por si misma es insuficiente como base para aplicar una determinada técnica estadística. (ter Braak, 1987; Auerbach y Shmida, 1993), a pesar de ello, el ACC ha demostrado poseer todas las ventajas del ACT y ninguna de sus desventajas (James y McCulloch, 1990; Palmer, 1983).

La bondad de estas técnicas de análisis multivariado tiene tres ventajas (Zavala, 1986):

1. Se pueden descubrir características de los datos que no se observan con procedimientos no numéricos debido a la complejidad del análisis subjetivo de las relaciones.

2. Son de especial utilidad para estudiar comunidades vegetales poco conocidas o con relaciones muy complejas.

3. Pueden permitir el uso más eficiente de un recurso más bien escaso. Aunque la interpretación de la complejidad de la vegetación también involucra sobre todo, la experiencia y en cierto grado la subjetividad del investigador.

#### **2.2.2.1.2 Evaluación de las fuentes de agua.**

El agua es el factor que más influye sobre la productividad primaria y la estructura de las comunidades en ecosistemas áridos y semiáridos (Patten y Ellis, 1995; Sánchez -González y Granados-Sánchez, 2003). Dado que las especies vegetales pueden diferir en su capacidad de utilizar distintas fuentes de agua, el conocimiento de estos aspectos es fundamental para los planes de conservación, manejo y restauración ecológica (Squeo *et al.*, 2000).

Las especies pueden responder diferencialmente a los eventos de precipitación: especies con diferentes formas de vida aparentemente difieren en su capacidad de utilizar ciertos eventos de precipitación. Mientras los arbustos leñosos con raíces profundas tienen menor capacidad para utilizar agua de las capas superficiales del suelo, muchas especies herbáceas pueden usar esta fuente de humedad para su crecimiento y reproducción (Squeo *et al.*, 2000).

La disponibilidad de agua afecta directamente las características del intercambio de gases y la productividad, la interacción entre las especies y la estructura de la comunidad (Granados-Sánchez y Sánchez-González, 2003). El conocimiento de las fuentes de agua que utilizan las especies del APFFC es

fundamental para los planes de restauración y/o incremento de la productividad. El aumento de la productividad depende en parte de optimizar la utilización de las fuentes de agua disponibles (aguas subterráneas, neblina, precipitaciones). El cambio en la composición y abundancia de las especies vegetales a consecuencia del sobre-pastoreo, extracción de yeso, incendios y otros disturbios probablemente pueda resultar en una menor capacidad de captura de agua para la producción de materia seca. Una reducción en la cobertura de la vegetación puede significar, además, una disminución en la infiltración de agua y en la capacidad de colecta de neblinas, un incremento en la tasa de evaporación y en la lixiviación de los nutrientes.

#### **2.2.2.1.3 Grupos funcionales**

En años recientes los ecólogos han enfatizado el uso de clasificaciones no filogenéticas que describen la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Autores como Heal y Grime (1991), piensan que la clasificación taxonómica tendría que tomar visos de clasificación funcional. Este tipo de clasificación puede aportar información sobre la dinámica de los ecosistemas.

Desde 1967, Root introdujo el concepto de "guilds", describiendo o definiendo a un grupo de especies que explotan de la misma forma o de manera similar, la misma clase de recursos ambientales.

Betkin (1975), sugirió que las especies pueden ser agrupadas dentro de un cierto número de tipos funcionales y que estos pueden ser considerados como interacciones importantes entre las especies.

Los tipos funcionales o grupos funcionales tienen que ser frecuentemente descritos como los componentes bióticos del ecosistema.

Friedel *et al.* (1988), los definió como aquellos grupos que responden de manera similar a las mismas perturbaciones ambientales. Walker (1992) describió a los grupos funcionales como el resultado de subdivisiones características, basadas en atributos funcionales. Barbault *et al.* (1991) argumentó que los tipos funcionales apropiados son definidos en términos de morfología y fisiología, particularmente las propiedades relacionadas con los recursos y la interacción entre especies, esto puede representar, por ejemplo, la forma de crecimiento vegetal o como utiliza la planta sus recursos.

En resumen, las especies pueden ser agrupadas en base a la forma en que utilizan sus recursos y la forma en que responden a la perturbación, es decir, a los mecanismos para adaptarse y sobrevivir a las perturbaciones (Smith *et al.*, 1997).

Este tipo de clasificación es importante ya que no se basa en la filogenia y agrupa a los organismos con base en su respuesta a un síndrome o factor ambiental. Bajo este contexto, un grupo funcional está basado en una simplificación del mundo real, con predicciones de la dinámica de los sistemas o de sus componentes. Es decir se pone énfasis en que la clasificación no está restringida a ciertas especies y aplica a diferentes niveles filogenéticos y estados e historias de vida.

#### 2.2.2.1.4 Cómo poder reconocer los grupos o tipos funcionales.

Existen tres aproximaciones para identificar tipos o grupos funcionales: subjetivas, deductivas y datos definidos (a partir de un patrón de análisis).

La aproximación subjetiva está basada en la observación de uno o más ecosistemas en los cuales existen grupos funcionales y estos pueden ser definidos inductivamente. Como por ejemplo, Johnston (1981), realizó una clasificación de la vegetación terrestre de los Estados Unidos Americanos, para ambientes impactados; definió jerárquicamente 95 características basadas en la fase de dispersión, establecimiento y crecimiento. El principal propósito fue proporcionar una clasificación no subjetiva adecuada para que la usaran personas no especializadas.

En la aproximación deductiva, la clasificación funcional se deriva a partir de un estado *a priori* (o modelo), de un proceso particular de importancia o propiedades funcionales de un ecosistema. Las categorías funcionales ordenadas factiblemente se deducen a partir de estas premisas.

La aproximación por datos definidos, busca grupos de especies con base en una ordenación de caracteres mediante el uso de técnicas multivariadas. Además esto debe ser usado para la gran diversidad de organismos. Donde el análisis está basado solo en caracteres morfológicos y de crecimiento, puede ser mejor descrito como un completo ordenamiento de caracteres de síndromes o estrategias, si se orienta a los grupos funcionales, ya que está usualmente basado en la ordenación de caracteres que son substituidos por datos de respuesta. Las tres aproximaciones pueden ser usadas a diferentes escalas.

Las clasificaciones subjetivas y deductivas pueden ser aplicadas a escala global y local, la otra aproximación puede ser apropiada a escala local o regional. A escala global es difícil recolectar datos específicos apropiados para una aproximación.

La clasificación funcional asume que la estructura es inherente al mundo y que las características y tipos funcionales son la revelación de la estructura.

Las siguientes son algunas características del análisis de la ordenación de datos:

- Única: cuando una clasificación similar de una ordenación de datos es el resultado de la ejecución de diferentes técnicas analíticas.
- Repetibilidad: se refiere a varias clasificaciones semejantes realizadas con el uso de diferentes ordenamientos de caracteres colectados en distintos sitios y distinta época.
- Congruencia: es alcanzada por el uso de distintas ordenaciones de caracteres, es decir, son correlaciones entre caracteres.
- Convergencia: cuando una clasificación de un pool de organismos es alcanzada por el uso de datos colectados y analizados para diferentes objetivos.

Los datos colectados pueden basarse también en la fisiología de los organismos, estas propiedades pueden ser descritas como atributos funcionales, por ejemplo la fotosíntesis, la capacidad de supervivencia, la relación entre agua y crecimiento, el clima o condiciones edáficas, entre otras. Raunkier (1934), describió un esquema en el cual la funcionalidad de las plantas radicaba en la localización de los meristemos (yemas de renuevo), al

observar esto, se obtiene información acerca de la estructura vegetal; por ello este autor define los atributos funcionales como propiedades estructurales.

La biología tiene un dogma central, “la forma de los órganos determina la función”, por ejemplo, la forma tridimensional de una proteína determina su función como enzima; la relación entre forma y función o patrones y procesos es también un tema clásico de la Ecología. Lindeman (1942), basa la relación de la eficiencia funcional de la energía ecológica en la estructura de las pirámides tróficas. Watt (1947) y Whittaker y Levin (1977), asocian patrones del ecosistema con la generación de procesos. Los cambios en la estructura de los bosques tienen efectos en los procesos como la productividad y ciclo de nutrientes. Los ecólogos reconocen que los patrones y procesos son causales recíprocas, es decir, los cambios en los procesos del ecosistema, causan modificaciones en los patrones del mismo, y viceversa (Terradas, 2001). En el caso de los grupos funcionales, es importante comprender las relaciones mutuas entre forma y función. Con base en el tipo de impacto o disturbio se pueden predecir respuestas en los distintos grupos funcionales vegetales.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo de la vegetación gypsófila en el APFFC se realizó en dos etapas: La primera etapa comprendió el trabajo de campo intensivo durante el mes de noviembre, de 2004. La segunda etapa incluyó la evaluación de los resultados obtenidos en el campo y visitas durante el mes de diciembre de 2004 para realizar observaciones específicas de las poblaciones vegetales y obtener datos complementarios. Para conocer el estado actual de la vegetación gypsófila en el APFFC y para proponer estrategias para la conservación y manejo de este tipo de comunidades los métodos propuestos son los siguientes:

#### **Muestreo de la vegetación**

El muestreo de la vegetación se realizó en sitios donde se detectó la presencia de suelos yesosos (Figura 2):

- a. Zona colindante a las dunas
- b. Zona de zacatal y sotol
- c. Zonas cercanas al Centro de Atención del área natural protegida (km 88-89)
- d. Zona colindante con el Centro de Atención del área natural protegida

Las unidades de muestreo dentro de cada zona se eligieron al azar, con ello se logra que cada unidad de población tenga igual probabilidad de formar parte de la muestra y resulta así óptimamente representativa (Matteucci y Colma, 1982; McCune y Grace, 2002) (figura 2). La localización de las unidades

de muestreo seleccionadas fueron registradas en un sistema de coordenadas, para lo cual se recurrió al uso de un GPS modelo GPSMAP 765.

El tamaño de las unidades de muestreo (parcelas) se definió de acuerdo con las características de la vegetación del área y con base en lo sugerido en otros estudios realizados en áreas semejantes (Matteucci y Colma, 1982; Inouye *et al.*, 1987; Bullock, 1996; Pan *et al.*, 1998). En donde dominaban las herbáceas el tamaño de las parcelas fue de 1 m<sup>2</sup> y en donde dominaban los arbustos fue de 10 m<sup>2</sup>. En cada zona se colocaron 20 parcelas (en total 80) considerando que entre más rica es la flora de un lugar más grandes o numerosas deben ser las parcelas (Smith, 1998).

### **3.1.1. Caracterización biológica de la vegetación gypsófila.**

La colecta de especies presentes en las parcelas de muestreo se realizó sólo cuando fue estrictamente necesario y considerando la densidad de las poblaciones: cuando fue propicio se recolectaron tres ejemplares por especie. Las especies incluidas en alguna categoría dentro de la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001) no se colectaron y se identificaron en el campo. Para la identificación de las especies se recurrió a libros especializados, floras locales, ejemplares de herbario y a la consulta con taxónomos especialistas en cada grupo.

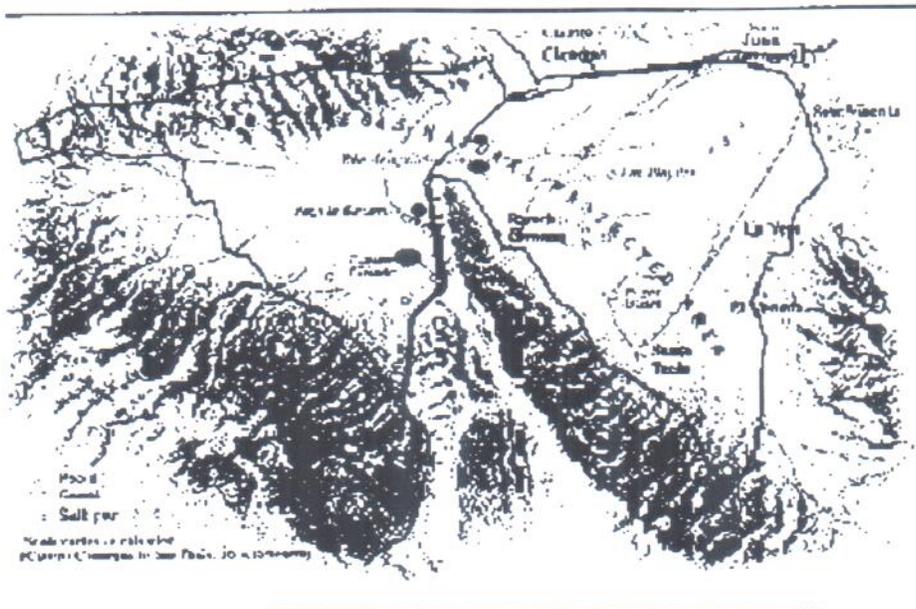


Figura 2. Localización de los sitios de muestreo dentro del Área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas (APFFC).

### 3.1.1.1. Caracterización estructural de la vegetación gypsófila.

La estructura de la vegetación se analizó con base en los valores relativos de la densidad, la frecuencia y la cobertura de las especies. Con estos valores relativos de los atributos estructurales se estimó el valor de importancia relativa (VIR) (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974).

- La Cobertura (C) viene dada por la formula:  $C = \pi \left[ \frac{1}{4} (d_1 + d_2) \right]^2$ , donde  $\pi = 3.1416$ ,  $d_1$  y  $d_2$  son los diámetros mayor y menor perpendiculares entre sí de la proyección vertical de la copa del arbusto o cobertura de las herbáceas.
- La densidad se calculó como el número de individuos en 1 m<sup>2</sup> (herbáceas) y en 100 m<sup>2</sup> (arbustos).
- La frecuencia se estimó como el número de unidades de muestreo (parcelas) en que apareció cada especie.

- Para calcular el VIR de las especies se utilizó la formula:
- $$\text{VIR} = \frac{1}{3} (\text{cobertura relativa} + \text{densidad relativa} + \text{frecuencia relativa}).$$

### 3.1.1.2. Grupos funcionales.

El estudio de los grupos funcionales (GF) en el APFFC tuvo como objetivo principal identificar y cuantificar cuales son los atributos más importantes de las poblaciones vegetales que influyen en la determinación del crecimiento, reproducción y supervivencia.

Hay dos alternativas para identificar GF: el uso de datos que involucran sólo atributos de las especies o dilucidar cuales son los factores ambientales relacionados con la presencia y/o función de las plantas.

En ambos casos se utilizan técnicas de análisis multivariable. La clasificación numérica tiene como propósito específico en el presente estudio describir si hay propiedades emergentes estructurales y/o funcionales de las poblaciones de plantas y comunidades gypsófilas que reflejen las condiciones ambientales prevalecientes (Cuadro 1) (Scholes *et al.*, 1997).

Los atributos que se propone evaluar para la clasificación funcional de la vegetación del APFFC son:

Cuadro 1. Atributos a evaluar en las poblaciones

Atributos o características
Fenología
Forma de crecimiento
Forma de reproducción
Tamaño de semilla
Número de semillas
Dispersión de semillas
Pubescencia de la hoja
Altura de la planta
Longitud de la hoja
Forma de la hoja
Ancho de la hoja
Mecanismos de defensa contra herbívoros
Arquitectura radical
Forma de vida

La clasificación numérica de los grupos funcionales (matriz G) se obtiene a partir de una matriz S de especies-atributos (Figura 3) por medio de un análisis de agrupamiento (AA). La matriz G (Figura 3) contiene una sola variable que representa grupos de especies con características semejantes. La relación entre la matriz G y una matriz de variables ambientales por parcelas de muestreo E se puede analizar por medio de una técnica de ordenación directa: el análisis de correspondencia canónica (ACC). Ambos análisis (clasificación y ordenación) se realizaron con el programa de computo PC-ORD (McCune. y Mefford, 1999; McCune y Grace, 2002).

Los resultados de estos análisis exploratorios son usados para proponer como los atributos de las especies (morfología, fisiología, comportamiento, entre otros) están relacionados con las características de los sitios o el medio.

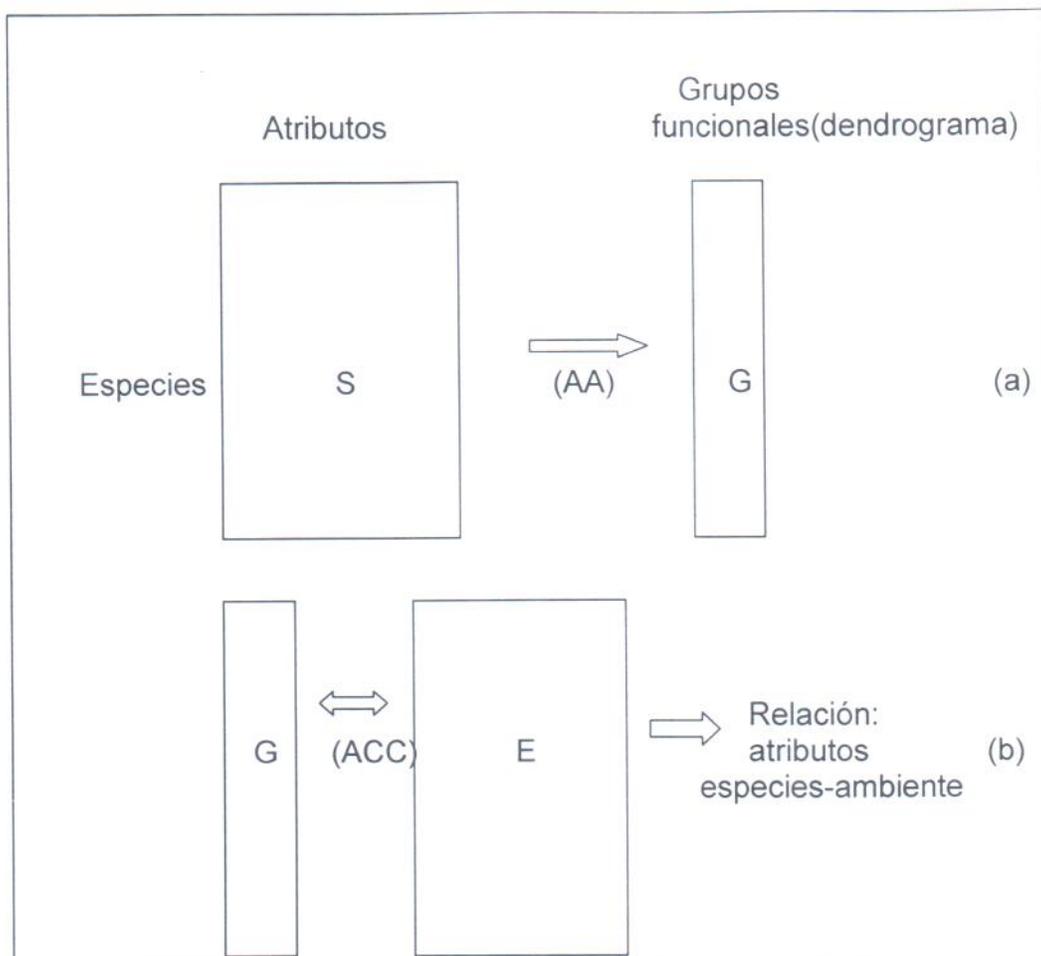


Figura 3. Matrices utilizadas para clasificar a las plantas en grupos funcionales (a) y para conocer la relación entre las variables ambientales y dichos grupos (b).

### 3.1.1.3. Evaluación de las fuentes de agua.

Los mecanismos de utilización de las distintas fuentes de agua por las especies dominantes del APFFC se evaluaron con base en el tipo de arquitectura radical.

### 3.1.1.3. Evaluación de variables ambientales

En cada una de las zonas de muestreo se evaluaron las siguientes características ambientales:

- |   |  |
|---|--|
| a.- Textura                                       | b.-Porosidad                                     |
| c.- Densidad aparente                             | d.- pH   |
| e.- Densidad real                                 | f.- Concentración de sales (salinidad del suelo) |
| g.- Materia orgánica                              | h.-Color   |
| i.- Cationes: Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> | j.-Conductividad eléctrica                       |

### 3.1.1.4. Distribución espacial de las poblaciones vegetales

#### 3.1.1.4.1 Clasificación y ordenación

Las técnicas estadísticas de clasificación y de ordenación son herramientas de análisis multivariable importantes para detectar los cambios en la composición y estructura de la vegetación a lo largo de gradientes ambientales. Con estas técnicas es posible simplificar y ordenar conjuntos complejos de datos acerca de la vegetación a través de la generación de modelos sobre las relaciones existentes entre las especies, la vegetación y el medio a escala local, de paisaje y regional (McCune y Grace, 2002; Sánchez-González y López-Mata, 2003; Palmer, 2005)

Con los datos obtenidos se elaboraron tres matrices de datos: la primera matriz consistió de 14 columnas (atributos de las especies) y de 36 filas (especies); la segunda matriz de cuatro columnas (zonas de muestreo) y de 36 filas (especies: datos de presencia ausencia); y la tercera matriz de las mismas cuatro columnas (zonas de muestreo) y de 8 filas (variables ambientales). Con

la primera matriz se realizó la clasificación numérica de la vegetación para definir los grupos funcionales; con la segunda matriz la clasificación numérica (con AA) para definir la semejanza entre sitios de acuerdo a su composición de especies; y con la segunda y la tercera matriz, la ordenación directa (con ACC), para establecer las relaciones entre la vegetación (grupos funcionales y especies) y las variables del medio. Para elegir las variables ambientales y edáficas más correlacionadas con la composición de las especies se utilizó el criterio de selección "hacia adelante" del programa CANOCO (Ter Braak y Šmilauer, 1998).



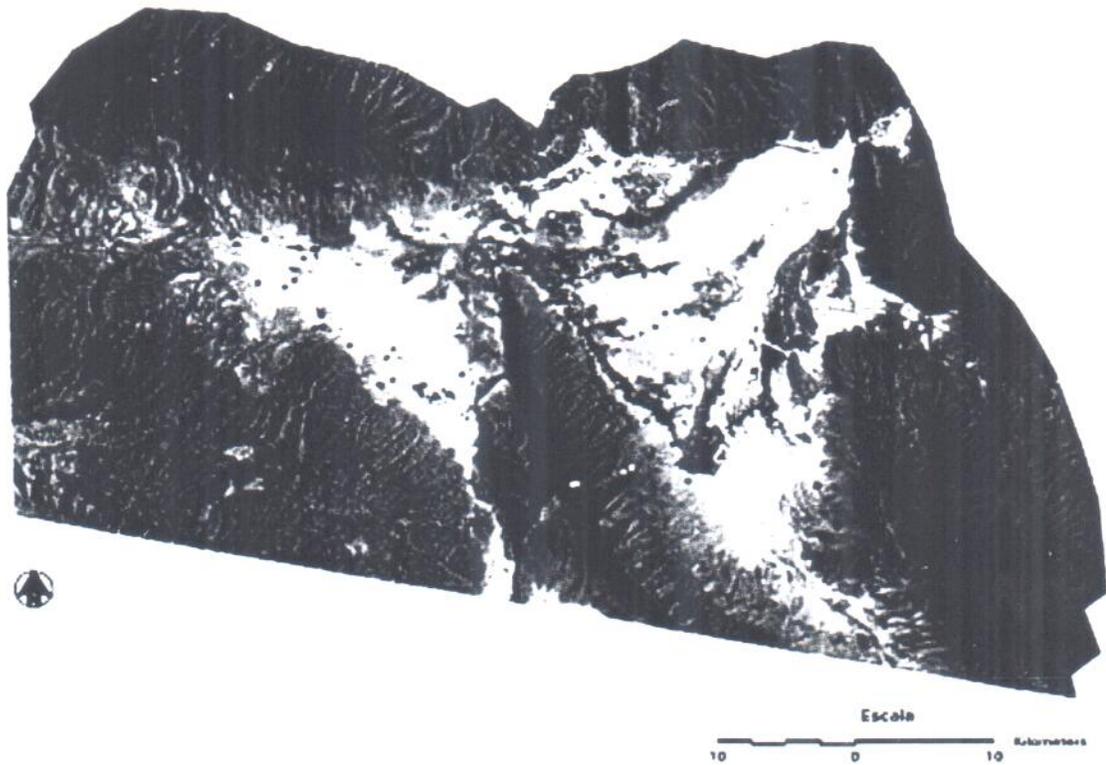


Figura 5. Imagen de satélite del APFFC, Coahuila (tomada el 11 de julio de 1995).

### 3.1.1.5.2. Población.

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda 1995 el Municipio de Cuatrociénegas contaba con 12 899 habitantes, de los cuales 9 185 vivían en la cabecera municipal y el resto en centros de población ejidal y en rancherías (INEGI, 1995).

Dentro del área protegida existen tres centros de población ejidal y algunos caseríos aislados, pero en su área de influencia inmediata se encuentra la ciudad de Cuatrociénegas y los centros de población de ocho ejidos:

Antiguos Mineros del Norte, Cuatrociénegas, Eliseo Mendoza Berrueto, El Venado, La Vega, Nueva Atalaya (San Marcos), San Juan de Boquillas, San Lorenzo, Santa Teresa de Sofía, San Vicente y Seis de Enero.

Las principales actividades económicas desempeñadas por la población, se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro 2-. Actividades económicas de la población

Rama de Actividad	Total	Porcentaje (%)
Agricultura, ganadería y pesca	1,110	34.56
Minería	375	11.67
Comercio	225	7.00
Industria manufacturera	1,086	33.81
Institución de gobierno	205	6.38
Construcción	211	6.57
Total	3,212	100.00

Tomado del programa de manejo del APFFC (INE-SEMARNAP,

1999)

### 3.1.1.5.3. Clima.

En las extensas llanuras al oeste y parte central del estado de Coahuila se presentan climas muy secos, semi-cálidos, con lluvias predominantemente en verano, con temperaturas altas e inviernos frescos. La influencia de estos climas se extienden en grandes áreas del Estado, como el Bolsón de Mapimí, las Lagunas de Mayrán y Viesca, La Comarca Lagunera, en el norte de la entidad y su parte central, en el gran Llano de Ocampo, en San Marcos, en Cuatrociénegas, en El Sobaco y en El Hundido.

El INEGI (1988) reporta para esta región un clima muy seco, semi-cálido, con porcentaje de lluvias invernales muy bajo. La escasa precipitación pluvial anual que predomina varía entre 100 y 440 mm, y se presenta en su gran mayoría en verano, manifestándose en escasos aguaceros (es relativamente común la condición de sequía). La oscilación de la temperatura es extrema, la media mensual más alta llega a rebasar los 30 ° C y la mínima es menor a los 12 ° C. En este tipo de climas continentales, muy secos, es común que la precipitación entre años varié mucho. Así, hay años muy secos y otros bastante húmedos, aunque prevalecen los primeros (INE-Semarnat, 1999).

Para conocer la frecuencia con que se presentan diferentes niveles de precipitación pluvial en el área, la información conocida se dividió en intervalos: la moda se localiza en el intervalo de 101 a 300 mm. Con los mismos datos de precipitación, pero en relación a los meses donde esta se presenta, la moda fluctúa entre 0.1 y 20 mm mensuales, la excepción es el mes de marzo que resultó ser el más seco. Es importante mencionar que durante el trabajo de campo ocurrieron lluvias y que tan solo en esos días se alcanzó el promedio anual registrado para la zona (INE-Semarnat, 1999).

#### **3.1.1.5.4 Hidrología**

El Valle de Cuatrociénegas forma parte de la Región Hidrológica Bravo-Conchos, dentro de la Cuenca Presa Falcón-Río Salado y de la Subcuenca Río Salado-Nadadores. Se encuentra dentro de la zona geohidrológica llamada Cuatrociénegas-San Miguel, en donde se han identificado dos fuentes de agua

subterráneas. La extracción anual de agua es de 49 millones de m<sup>3</sup> (de los cuales, 48 millones de m<sup>3</sup> son para uso agrícola) y la recarga es de 25 millones de m<sup>3</sup>, por lo que la condición del acuífero es de sobreexplotación (CNA, 1998).

En el Valle existen numerosos cuerpos de agua conocidos localmente como pozas, los cuales brotan de manantiales, sus diámetros van desde menos de un m hasta más de 100 m. La profundidad de los mismos va desde 50 cm hasta 18 m, algunas de las pozas están comunicadas natural o artificialmente entre sí por un complicado sistema de drenaje (INE-Semarnat, 1999).

La mayor parte de los manantiales se localizan en las faldas de la Sierra de San Marcos y Pinos, formando alrededor de 200 pozas dentro del Valle. Las características físico-químicas de las pozas son muy variables, la temperatura varía en un intervalo de 18 a 35 ° C, el pH de 5.76 a 8.3, la conductividad tiene valores entre 782 mS y 7.52 mS y los sólidos disueltos en el intervalo de 292 mg/l a 3.77 g/l. (INE-Semarnat, 1999)

También se encuentran algunos arroyos (como el Río Mezquites) la mayoría de los cuales son permanentes, sin embargo, la mayor parte del agua es subterránea. Existen dos lagunas de mayor dimensión dentro del Valle llamadas Playitas y Churince, la primera representa un sistema alterado al que llega agua procedente de un canal artificial y la segunda un sistema relativamente intacto dentro del Valle. (INE-Semarnat, 1999)

Originalmente, el Valle de Cuatrociénegas formaba una cuenca cerrada, por lo que es posible que se formaran en la parte más baja pantanos y áreas inundadas someras. En las cartas topográficas de 1964 todavía es posible distinguir algunas de esas áreas. En 1887 se exportó por primera vez agua del

Valle de Cuatrociénegas con propósitos agrícolas, la canalización de algunos de los manantiales de mayor producción de agua ha disminuido las áreas pantanosas y modificado el patrón de inundación del Valle. (INE-Semarnat, 1999)

Actualmente existen seis canales de uso agrícola en funcionamiento dentro del área protegida, todos ellos captan agua de manantiales y su sistema de conducción y de riego es por gravedad. El agua de los canales Saca Salada y Santa Tecla sale del Valle para abastecer a otros poblados. (INE-Semarnat, 1999)

#### **3.1.1.5.5. Geología.**

El Valle de Cuatrociénegas es parte de un sistema de formaciones semejantes entre sí que se repiten en toda la Sub-provincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses. Los estratos geológicos predominantes en las montañas de Coahuila son del Mesozoico, con un piso en la parte central del estado de formaciones graníticas y en el norte por estratos Precámbricos, que junto con otras rocas del Paleozoico, indican que en estos sitios hubo una masa de tierra adyacente a un mar del Pérmico. En el Mesozoico, emergen las Sierras de Coahuila y el mar se reduce formando la península de Coahuila, los depósitos de yeso en la parte central de Coahuila, indican la línea costera y la recesión del mar. Los depósitos ígneos del Terciario, y los sedimentos lacustrinos se encuentran erosionados, pero no modificados, lo mismo sucede con los conglomerados depositados en los valles intermontanos y en los pies de monte. (INE-Semarnat, 1999)

El Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas está en el límite entre dos Provincias Geológicas: el Golfo de Sabinas y la Plataforma de Coahuila, donde la Sierra de La Fragua sirve como parte-aguas. El Valle está rodeado por altas montañas, resultado de plegamientos, algunas de ellas, especialmente la Sierra de San Marcos y Pinos, presentan una gran cantidad de fracturas que posiblemente son las que permiten la recarga de los manantiales. En el extremo sureste del Valle, sobre la sierra hay yacimientos metálicos, que fueron explotados desde el siglo pasado por la compañía minera Reforma que llegó a ser muy importante regionalmente (actualmente no se encuentra en operación). (INE-Semarnat, 1999).

#### **3.1.1.5.6. Suelos**

En la Subprovincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses, dominan los litosoles, de color pardo y textura media, asociados a otros suelos (rendzinas) más profundos y oscuros que subyacen al material calcáreo y se encuentran en las regiones más altas (figura 6). También se encuentran litosoles asociados con regosoles calcáreos. En las bajadas de algunas sierras como La Madera, dominan los xerosoles de textura media y le sigue en dominancia el regosol calcáreo. (INE-Semarnat, 1999)

En las llanuras del sur de esta Subprovincia, frecuentemente tienen pisos rocosos, dominan los xerosoles háplicos y cálcicos limitados por fases líticas y petrocálcicas que ocasionalmente cuentan con superficies gravosas o pedregosas. En zonas donde se acumula el agua se encuentran xerosoles

lúvicos y gypsicos que presentan problemas de salinidad y sodicidad. Además se encuentran suelos lacustres o aluviales muy alcalinos, de tipo solonchak órtico. (INE-Semarnat, 1999)

En las sierras que rodean el APFFC predominan los suelos rocosos de tipo litosol (suelos someros con profundidades de 5 a 10 cm), generalmente asociados a rendzina y regosol (los cuales son ligeramente más profundos). En el piso del Valle se presentan suelos de tipo aluvial (solonchack, xerosol, regosol y yermosol), que son el resultado del acarreo y acumulación de materiales hacia las partes más bajas. Algunos de ellos, de los tipos salino y yesoso, son producto de la evaporación provocada por las altas temperaturas. (INE-Semarnat, 1999)

Las características químicas de los suelos salinos están determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes. De esta manera en el Valle los suelos se agrupan en tres tipos: suelos salinos, sódicos salinos y sódicos no salinos (Lasso, 1988).

Por su origen, la mayoría de los suelos presentan gran cantidad de sales disueltas de tipo carbonatos, sulfatos y yesos . Además de en el suelo, estas sales se encuentran en solución en las pozas de la región y en forma de sales cíclicas que son transportadas por el viento.

De acuerdo a una secuencia definida, los minerales menos solubles son los primeros en separarse de la solución: así el yeso y la anhidrita, menos solubles que la halita, se depositan primero, después según avanza la evaporación, se precipita la halita que es menos soluble (Leet y Judson, 1968). Esta es una de las características que presentan en su formación los suelos



características del Desierto Chihuahuense, las cuales se describen a continuación, de acuerdo a Pinkava (1984):

#### **3.1.1.6. Matorral desértico rosetófilo.**

Se localiza en las partes bajas de la sierra de San Marcos y hasta una altitud de 1 100 m. Se caracteriza por la presencia de diferentes especies de agaves, como la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), yucas (*Yucca* spp.), sotoles (*Dasyllirion* spp.), ocotillo (*Fouqueria splendens*), sangre de drago (*Jatropha dioica*) y candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*).

##### **3.1.1.6.1. Matorral desértico micrófilo**

Se presenta principalmente en las bajadas de la Sierra de Pinos. Las especies características son: gobernadora (*Larrea tridentata*), ocotillo (*Fouqueria splendens*), nopal (*Opuntia bradtiana*), sangre de drago (*Jatropha dioica*), (*Koeberlinia spinosa*), mezquite (*Prosopis glandulosa*) y huizache (*Acacia greggii*).

##### **3.1.1.6.2. Matorral desértico de transición.**

Conforma una banda estrecha entre el matorral desértico micrófilo y el pastizal halófilo. Las especies más abundantes son: huizache (*Acacia greggii*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), saladillo (*Suaeda mexicana*), (*Allenrolfea occidentalis*), rodadora (*Salsola iberica*) y algunos zacates como *Atriplex canescens* y *Sporobolus* sp. Es importante mencionar que dentro de éstos tipos de vegetación se encuentra una gran abundancia de cactáceas.

#### **3.1.1.6.3. Vegetación halófito.**

Este tipo de vegetación está formado por un conjunto de herbáceas, generalmente bajas, de hojas pequeñas y carnosas, con alturas de menos de un metro, asociadas en muchas ocasiones con especies características del pastizal halófito; resistentes a suelos con gran concentración de sales y mal drenaje. Este tipo de vegetación se encuentra predominantemente en el piso del Valle. Se presenta de dos formas: Pastizal halófito, en el que dominan las especies de gramíneas, principalmente *Distichlis spicata*, *Clappia suaedaefolia*, *Suaeda mexicana*, *Sporobolus tiroides*; y el Quenopodial; en el que predominan *Salicornia sp.*, *Atriplex canescens*, *A. acanthocarpa* y *Cynodon dactylon*. El mezquite (*Prosopis glandulosa*) suele estar presente en cualquiera de los dos tipos de vegetación.

#### **3.1.1.6.4. Vegetación gypsófila.**

Se localiza al suroeste del Valle, en los alrededores del sistema fluvial Churince. Las especies más comunes son: yuca (*Yucca treculeana*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), sotol (*Dasyilirion palmeri*), nopal (*Opuntia spp.*), ocotillo (*Fouqueria splendens*), efedra (*Ephedra trifurca*), *Sedum sp.* y algunas especies de compuestas.

#### **3.1.1.6.5. Áreas sin vegetación aparente.**

Lo conforman pequeñas áreas que se localizan alrededor de la Laguna Churince y de las salinas, situadas al norte y este del valle, donde abunda el

**BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES**

zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*) y algunas compuestas que se encuentran dispersas.

### 3.1.1.6.6. Vegetación acuática y semi-acuática.

Esta distribuida ampliamente en el Valle y asociada a cuerpos de agua alrededor de la Sierra de San Marcos y Pinos. Compuesta principalmente por *Nymphaea ampla* y *Chara* spp. En las orillas de los ríos, lagunas, pozas y manantiales son comunes los tules (*Typha dominguensis*) y especies como *Eleocharis* sp. y *Juncus torreyi*.

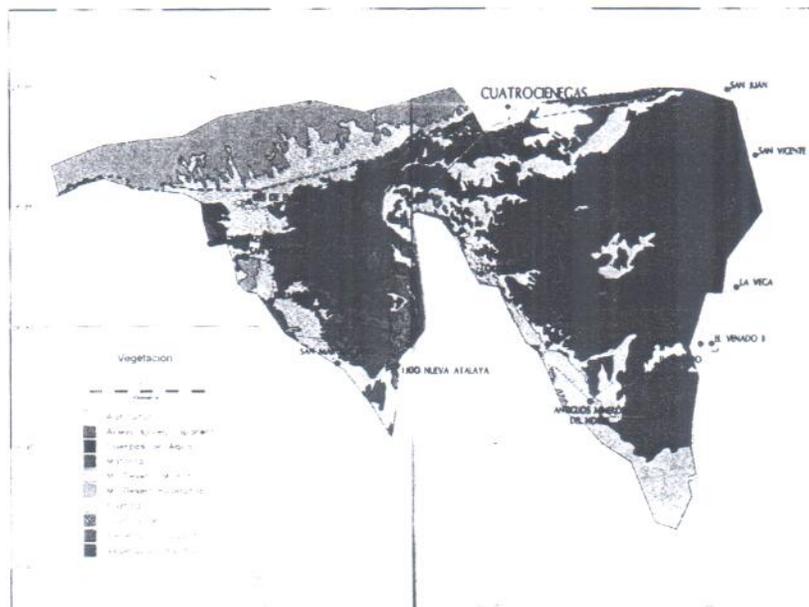


Figura 7.- Mapa de vegetación del APFF Cuatrociénegas.

#### 4.- RESULTADOS Y DISCUSION

En los sitios de muestreo estudiados se encontraron 3 órdenes, 14 familias y 36 especies vegetales. Cinco especies no presentaron flores o frutos por lo que se identificaron sólo a nivel de género (Cuadro 8 y 8a, Anexo 1). Dos especies están incluidas dentro de la Norma Oficial Mexicana (NOM, 2001), una en la categoría de amenazada\* y otra es endémica\*\*.

##### 4.1.1.1 Grupos Funcionales

El análisis de agrupamiento (AA) con un nivel de corte de menos del 50% de la información retenida permitió identificar cinco grupos funcionales. El Grupo I (arbustivo, anual / perenne) contiene formas arbustivas, anuales y perennes y se dispersan por anemocoria, con arquitectura radical profunda, lo cual les da la posibilidad de absorber agua de los mantos freáticos y ríos subterráneos. El grupo II (grupo de las especies perennes) contiene formas de tamaño pequeño, perennes, dispersadas por anemocoria, con hojas pubescentes y arquitectura radical dimórfica, que les da la posibilidad de aprovechar el agua de lluvia y el agua subterránea. El grupo III (arbustos bajos) comprende especies arbustivas, perennes con arquitectura radical superficial, por lo que presumiblemente sólo captan agua de lluvia. El grupo IV (de hojas modificadas: cactáceas) con dispersión por zoocoria, con hojas modificadas y de alturas variadas; de tallos gruesos que almacenan agua, algunas con raíces superficiales y otras profundas. El grupo V (hojas alargadas: pastos y liliáceas) contiene especies perennes de hojas alargadas (como *Dasyilirion*

*heteracantum*), delgadas, pubescentes y dispersadas por anemocoria (Figura 8, Cuadro 3).

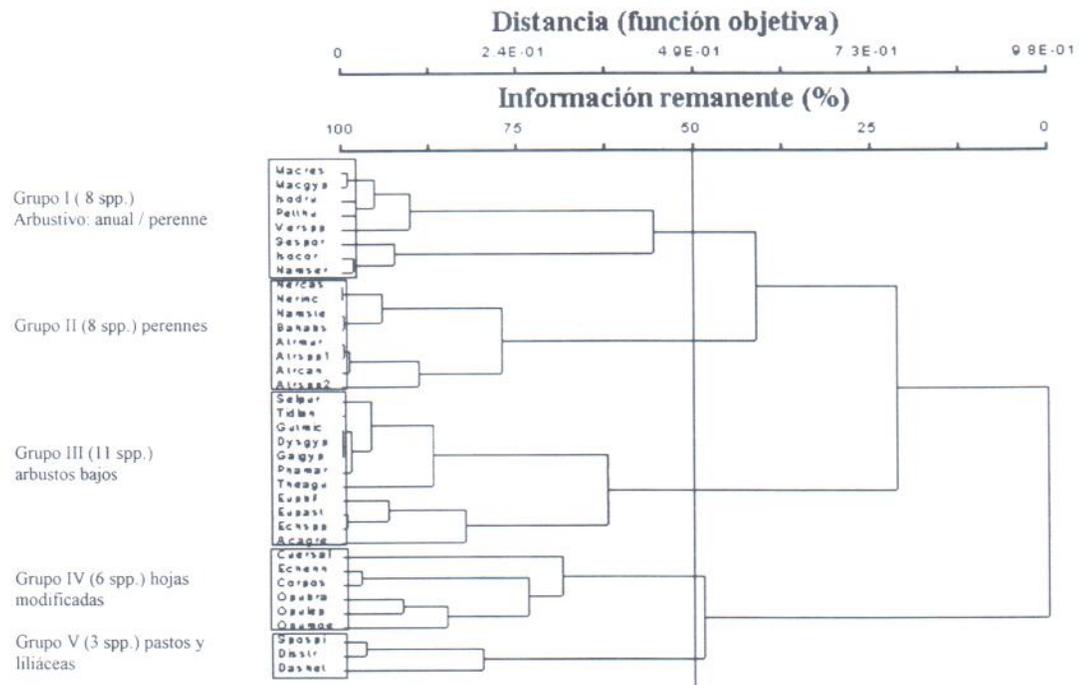


Figura 8. Dendrograma del análisis de agrupamiento que muestra los grupos funcionales de acuerdo a las características de las especies. Cada rama del dendrograma esta etiquetada con el acrónimo del nombre científico de las especies. La escala vertical es la función objetiva de Wishart, e indica el porcentaje de información presente a medida que los grupos se fusionan.

Cuadro 3. Grupos funcionales definidos por medio del AA y sus principales características (de acuerdo al porcentaje de especies componentes)

GRUPO	I	II	III	IV	V
Periodo de vida	Anuales (50%) Perennes (50%)	Perennes (75%)	Perennes (81%)	Perennes (100%)	Perennes (100%)
Forma de crecimiento	Arbustiva (87%)	Arbustivas (50%) Herbáceas (50%)	Arbustivas (81%)	Arbustivas (30%)	Herbáceas (30%)
Forma de reproducción	Semillas (100%)	Semillas (100%)	Semillas (100%)	Semillas (50%)	semilla y estolones (60%)
Tamaño de semilla	Pequeñas (100%)	Pequeñas (100%)	No se observó (81%)	Pequeñas (50%) Medianas (50%)	Pequeñas (60%) Medianas (30%)
Número de semilla	Pocas (100%)	Pocas (50%) Muchas (50%)	No se observó (81%)	Pocas (30%) Muchas (30%)	Pocas 60%) Muchas (30%)
Dispersión	Anemocoria (100%)	Anemocoria (75%)	No se observó (70%)	Zoocoria (50%)	Anemocoria (60%)
Pubescencia	Presente (50%) Ausente (50%)	Presente (60%)	Ausente (70%)	Ausente (100%)	Presente (60%)
Altura de la planta	de 0-100 mm (75%)	de 100-500 mm (75%)	de 0-100 mm (60%)	de 0-100 mm (30%) de 100-500 (30%)	de 0-100 mm (30%) de 100-500 (30%)
Longitud de la hoja	< 20 mm (40%)	< 20 mm (100%)	< 3 mm (80%)	< 10 mm (50%)	< 250 mm (60%)
Ancho de la hoja	< 3 mm (75%)	< 8 mm (40%)	< 3 mm (50%) <5 mm (50%)	< 3 mm (80%)	< 100 mm (60%)
Forma de la hoja	Simple (30%) Compuesta (30%)	Simple (60%)	Simple (55%)	Espinas (80%)	Largas y delgadas (100%)
Mecanismos de defensa contra herbívoros	No se observó (100%)	No se observó (100%)	No se observó (80%)	Espinas (80%)	No se observó (100%)
Arquitectura radical	Profunda (87%)	Dimórfica (60%)	Superficial (80%)	Profunda (60%)	Estolón (60%)
Forma de vida	Camefita (40%)	Camefita (60%)	Camefita (60%)	Camefita (50%)	Camefita (60%)

En el sitio de estudio 1 la especie que presentó el mayor valor de importancia relativa (VIR) fue *Nerisirenia castilloni* (20.97), seguida por la especie 2 o cuerno salado (12.06) y por *Sporobolus spiciformis* (11.53). En el sitio 2 la especie con mayor VIR fue *Sporobolus spiciformis* (64.91); y en el sitio

3 las especies con mayor VIR fueron el Cuerno salado (22.03), *Isocomo coronopifolia* (14.87) y *Opuntia bradtiana* (10.13). En el sitio 4 fueron el Cuerno salado (31.95) y *Petalonix thurberi* (10.07) (Cuadro 4, Anexo).

En las zonas áridas y semiáridas, las especies mejor adaptadas son las predominantes. En el caso particular de este estudio, las especies con mayor VIR fueron perennes y, por lo tanto, con mayor oportunidad de competir por los escasos recursos. Smith *et al.* (1997) mencionan que las especies perennes presentan una distribución regular estadísticamente significativa, presumiblemente a causa de la competencia por recursos, en particular por el agua. Esto influye en la fisonomía del lugar pues las especies dominantes se distribuyen en parches o manchones. En la figura 9 se puede observar claramente las diferencias en el valor de importancia relativa de las especies en cada sitio.

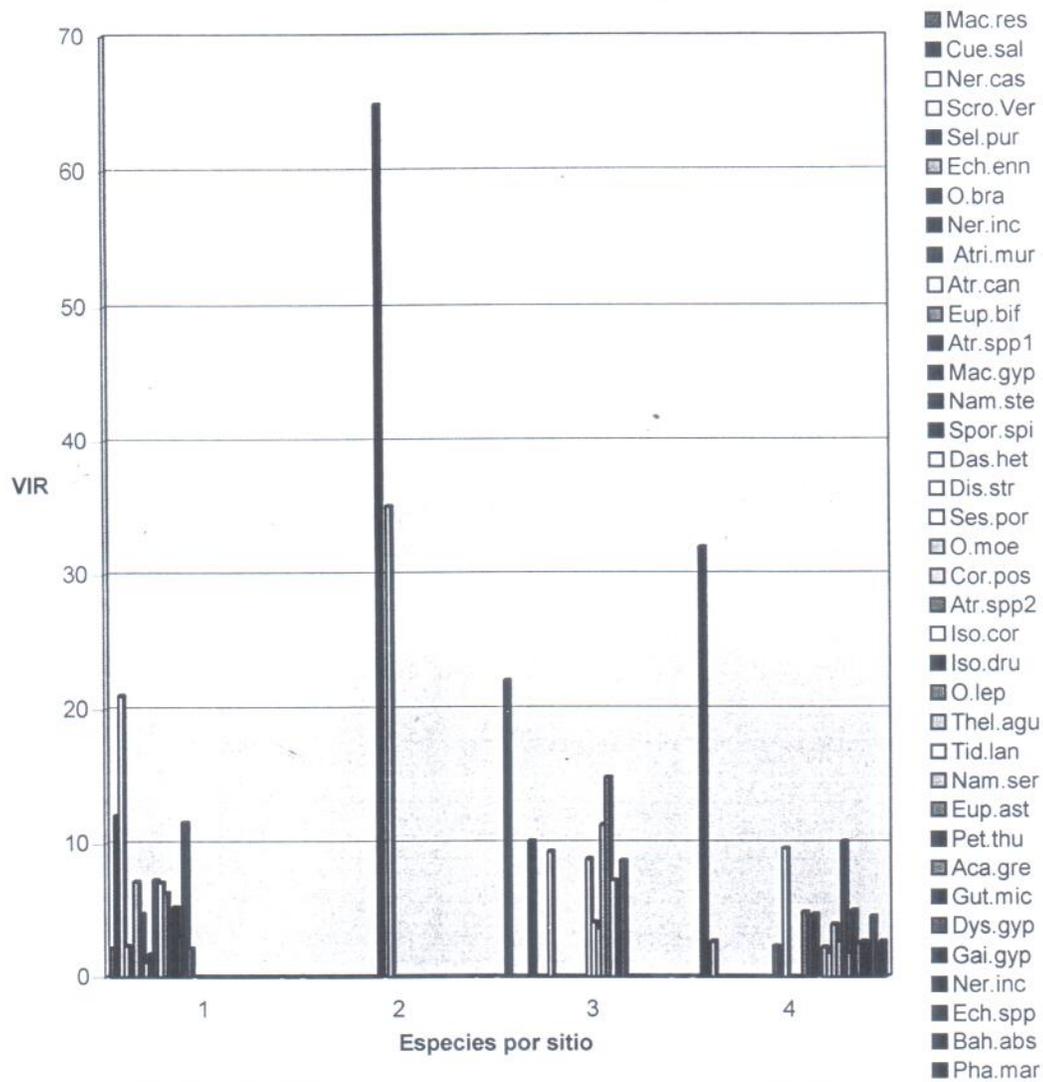


Figura 9.- Valor de importancia de las especies por sitio

Con respecto a las familias mejor representadas (Figura 10), se encontró que Gramineae fue más importante con un 21%, seguida de Mimoseae y Chenopodiaceae con el 19% en ambos casos, le sigue la Hydrophilaceae con el 9% y Amaranthaceae con el 6%.

Por lo anterior se deduce que la familia Gramineae, Mimoseae y Chenopodiaceae están mejor adaptadas a las condiciones del sitio o que las condiciones del medio les son más favorables

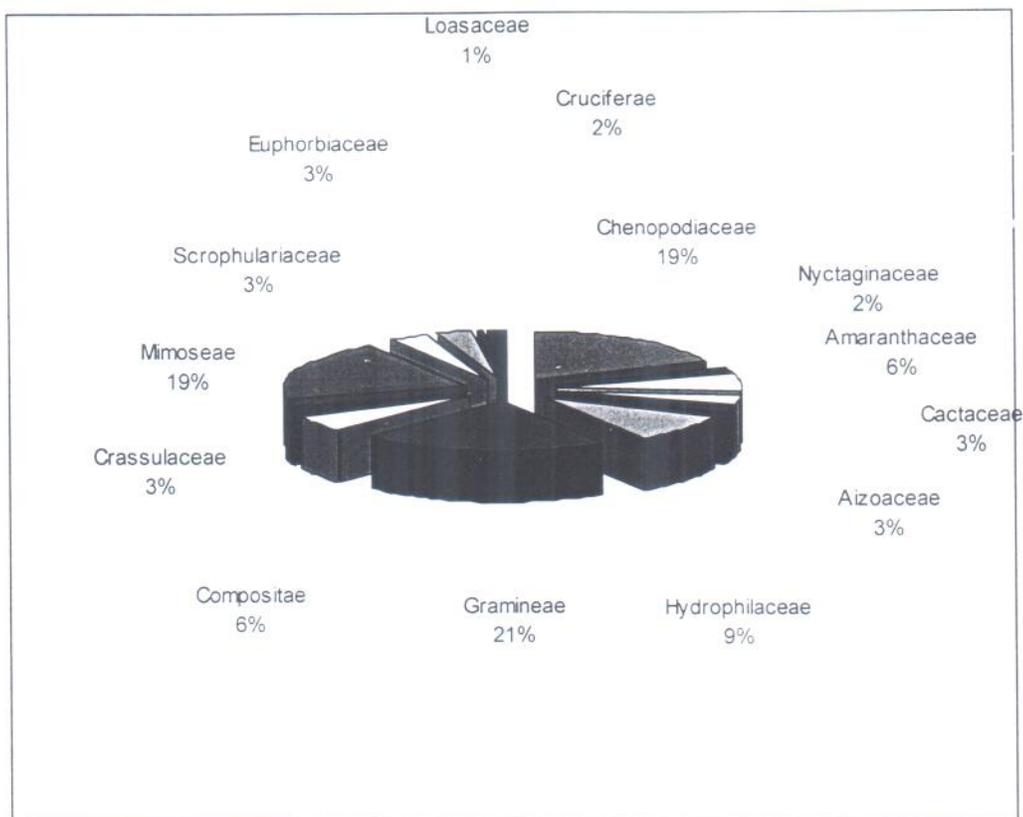


Figura 10.- Valor de importancia relativa por familia

El estudio de la flora gypsofita o gypsófila en México no es muy amplio, pero se pretende conocer, las especies que se encuentran en suelos yesosos, ya sea de manera obligada o facultativa, como lo menciona Johnston (1941). La importancia de conocer estos ambientes radica en que la distribución de las plantas es básicamente un reflejo de la salinidad del suelo, junto con la humedad, topografía, clima, valor de pH y factores bióticos que juegan un papel secundario, aunque frecuentemente significativo (Sánchez-Del Pino *et al.*; año; Henrickson, año). En el presente estudio se encontraron algunas especies reportadas previamente como gypsófilas. Por ejemplo: *Selinocarpus*

*purpusianus* se menciona como una especie confinada a suelos gypsofilos, es decir gypsofita obligada (Fowler y Turner, 1977), de la misma manera *Gaillardia gypsophila* fue reportada por Turner (1972), como gypsofita obligada y menciona al género *Machaeranthera*, *Nerysirenia* y *Nama* como gypsófitas obligadas, según el criterio de Johnston (1941). Turner (1977) y Sánchez-Del Pino (1999) reportan a *Tidestromia lanuginosa* como una especie gypsófila facultativa. Los géneros antes mencionados fueron encontrados en la zona estudiada.

Dadas las circunstancias de que sólo pocas especies y géneros tenían reportes como especies gypsófilas, es necesario, trabajar con todas y cada una de las especies encontradas para clasificarlas como facultativas, obligadas o tolerantes.

#### **4.1.1.2 CLASIFICACIÓN**

##### **4.1.1.2.1 Clasificación cualitativa**

En este tipo de clasificación se parte de la existencia de grupos individuales (sitios de muestreo), para los cuales, los sucesivos agrupamientos se basan en términos de afinidad y de un algoritmo particular elegido para establecer conglomerados. Así, cada sitio de muestreo se considera en forma individual y después se van fusionando sucesivamente en base a su afinidad (composición de especies), hasta que todos los sitios se sintetizan en un grupo.

La clasificación numérica de la vegetación se realizó mediante el análisis de agrupamiento (CA), una técnica jerárquica aglomerativa que analiza las

muestras en la forma ya explicada. Los resultados se presentan en un dendrograma, en el que la medida de distancia se transformó a la función objetiva de Wishart (1969) expresada como porcentaje de información remanente. Con esta función se evita que la unión de dos grupos ocurra a una distancia menor que en una función previamente establecida. Para determinar el número de grupos en el dendrograma se eligió un nivel de corte que considerará un compromiso entre la pérdida de información y la simplificación de un número de unidades de vegetación interpretables desde un punto de vista natural (McCune y Grace, 2002)

En el dendrograma resultante (Figura 11) se puede observar dos grupos: el primero formado por el sitio 1, 3 y 4; y el segundo grupo por el sitio 2, que tiene una composición de especies muy distinta de los tres sitios anteriores. La cercanía entre los sitios 1 y 3 nos indica una semejanza alta en la composición florística, mientras que el sitio 4 presenta una menor semejanza a los sitios anteriores, pero sigue siendo parte de este grupo.

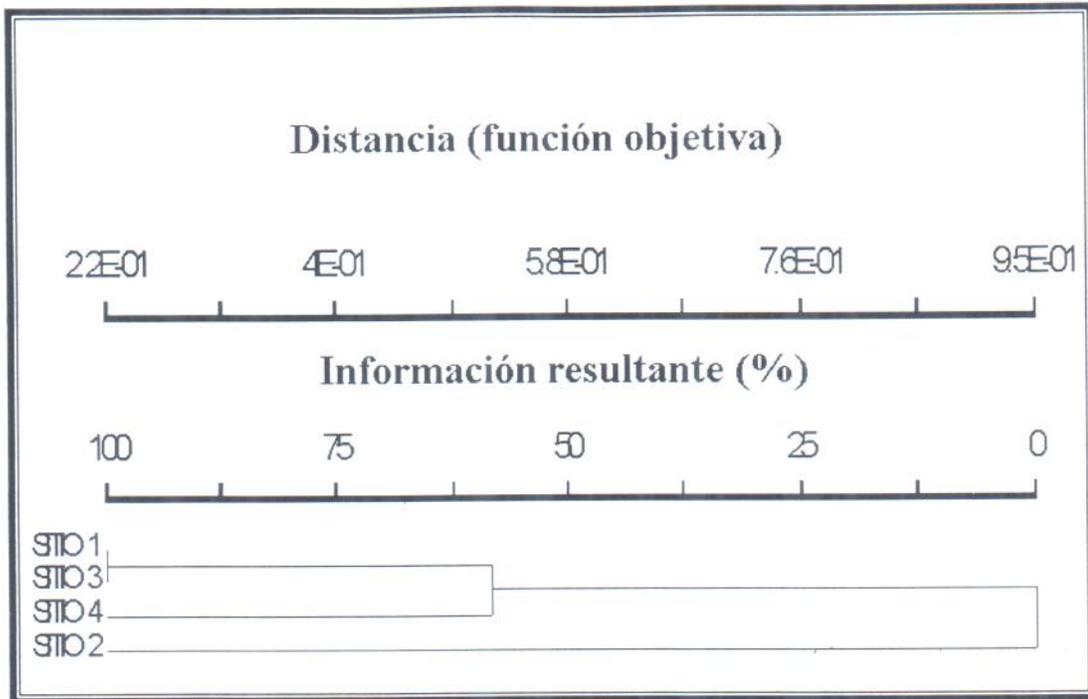


Figura 11.- Dendrograma mostrando la clasificación de la vegetación (Pre-Aus).

En los sitios 1,3 y 4 encontramos vegetación del tipo matorral desértico micrófilo representado por *Atriplex canescens*, *Euphorbia biformis*, *Opuntia leptocaulis*, *Dysodia gypsosifila* y *Nerisirenia incana* entre otras; y en el sitio 2 pastizal y matorral desértico rosetófilo, representado por *Dasyilirion heteracanthum*.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los sitios 1, 3 y 4 conforman el tipo de vegetación definida aquí como: Che<sup>6</sup>-Crus<sup>3</sup>-Cac<sup>7</sup>-Com<sup>7</sup>-Hyd<sup>2</sup> (Chenopodiaceae-Crusiferae-Cactaceae-Compositae-Hydrophilaceae), y el sitio 2 el tipo de vegetación Gra-Aga (Gramineae-Agavaceae). El nombre de los tipos de vegetación se baso en las familias que aparecieron con más frecuencia, el numero de veces en que aparecieron se indico mediante un subíndice y se indican con un acrónimo de las primeras 3 letras del nombre de

cada familia, la primera letra en mayúscula. Las familias que sólo aparecieron una vez no se tomaron en consideración.

#### 4.1.1.2.2 Clasificación cuantitativa

Se realizó una clasificación numérica politético aglomerativa basada en el valor de importancia de las 36 especies colectadas en la zona de estudio. De igual manera que en la clasificación cualitativa; cada sitio de muestreo se considera en forma individual y después se van fusionando sucesivamente los sitios con base en un índice de afinidad, hasta que todos los sitios se sintetizan en un solo grupo (Figura 12).

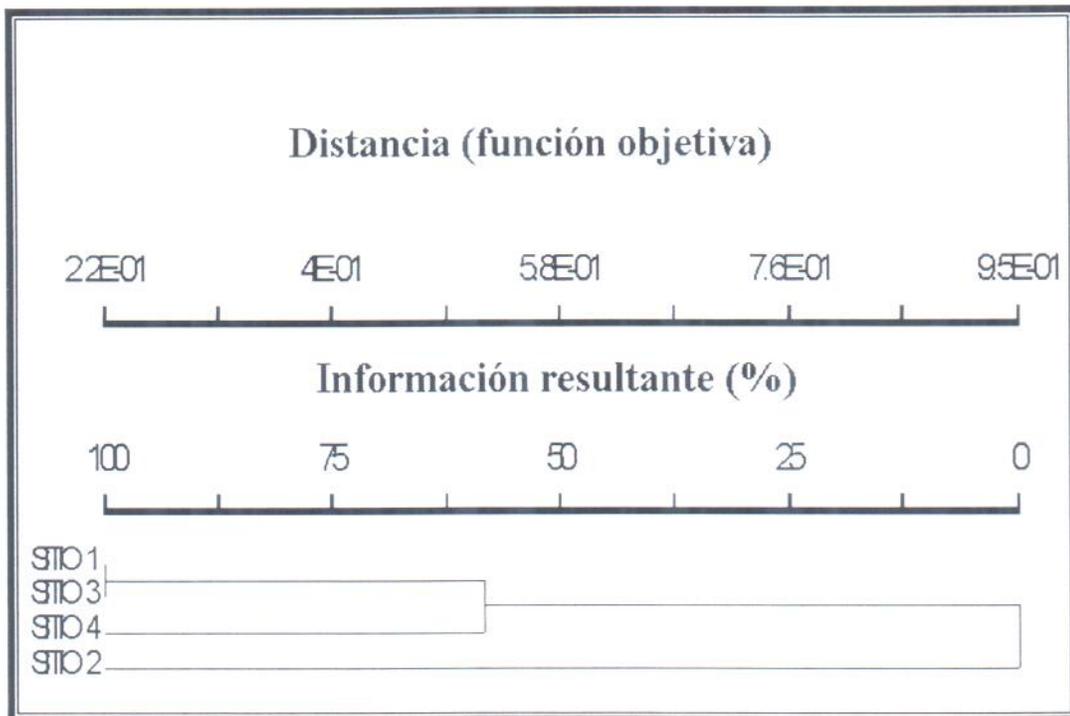


Figura 12.- Dendrograma representando la clasificación de las especies encontradas en base a su VIR.

En esta clasificación se confirma nuevamente la mayor afinidad entre los sitios 1 y 3, así como la menor semejanza del sitio 4 con los dos anteriores, y una completa disimilitud con el sitio 2.

#### 4.1.1.3 ORDENACIÓN INDIRECTA

Los resultados de la ordenación de la vegetación mediante el análisis de componentes principales corroboran los resultados del análisis de agrupamiento. La distancia entre los sitios de muestreo es la misma que en la clasificación, de acuerdo a la composición florística (Figura 13).

Los sitios 1, 3 y 4 comparten varias especies, el sitio 2 en cambio comparte sólo una especie con el sitio 1, las condiciones edáficas contrastantes entre estos dos sitios pueden estar influyendo en la distribución de las especies y así explicar estas diferencias en composición florística. Otras variables tales como la exposición, la pendiente o las condiciones físicas son muy semejantes entre los sitios.

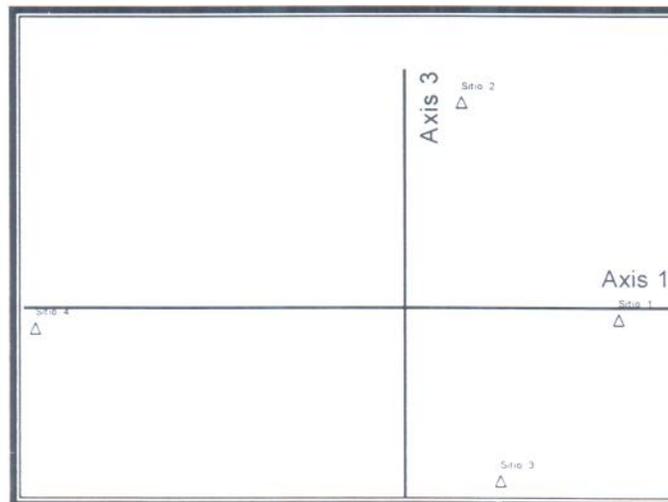


Figura 13.- Diagrama de salida del análisis de componentes principales mostrando la distribución de los sitios de muestreo en 2 ejes de ordenación (O1).

Los resultados anteriores sugieren que la variación en la composición de la vegetación puede deberse a las diferentes características edáficas de los sitios, produciendo mosaicos de vegetación, aún con la escasez de agua y la variación en la temperatura, propias de la zona.

En la Figura 14 se observa claramente la distribución de las especies con respecto a los sitios de muestro en los primeros dos eje del diagrama de ordenación. El valor de la raíz característica para el primer eje (0.73), indica que hay una alta correlación entre los sitios y las especies (Cuadro 5). La longitud del gradiente para este eje (5.73) es considerable, lo que sugiere un recambio significativo en la composición de especies entre sitios, definidos por gradientes edáficos relacionados con el primer eje, para este caso en particular. Los menores valores de las raíces características para los ejes 2 y 3 (0.49 y 0, respectivamente), así como la longitud del gradiente (2.2 y 0, respectivamente) corroboran la importancia del primer eje en cuanto a la explicación del alto grado de correspondencia entre sitios y especies.

Cuadro 5.- Resultado del análisis de correspondencia canónica indicando los valores de las raíces características y el % de varianza explicada para los 2 primeros ejes.

Ejes	1	2	3	4	Total inercia
Raíces características:	.735	.496	.000	.000	1.680
Longitud del gradiente:	5.731	2.235	.000	.000	
Varianza acumulada (%):	43.8	73.3	.0	.0	

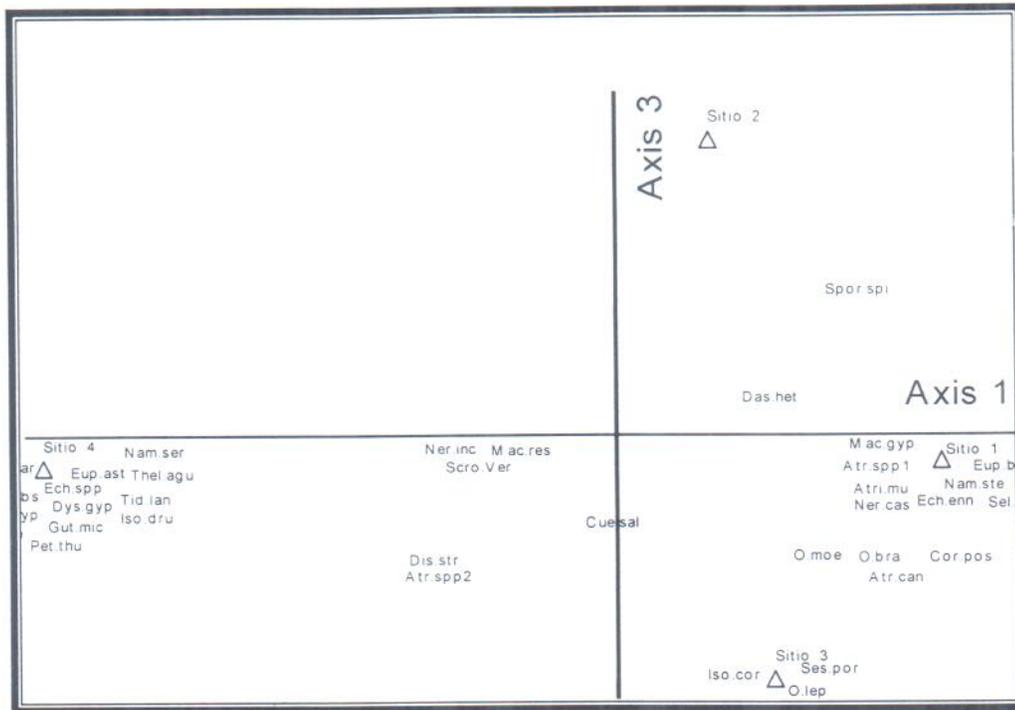


Figura 14.- Diagrama de salida de la ordenación indirecta de los sitios de muestreo y especies.

#### 4.1.1.3.1 Ordenación Directa

La ordenación directa de la vegetación se realizó mediante el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Las variables edáficas seleccionadas por el programa de cálculo CANOCO, con base en la correlación variables-distribución de las especies fueron la porosidad, la salinidad y la concentración de magnesio.

El valor de las raíces características para los tres primeros ejes de la ordenación (Cuadro 6), sugiere que hay una buena separación entre las comunidades vegetales, asociada a gradientes edáficos a lo largo de los ejes de variación (Sánchez, 2004). A diferencia de la ordenación indirecta, en este

tipo de ordenación, los tres primeros ejes indican una alta correlación entre las especies y las variables edáficas.

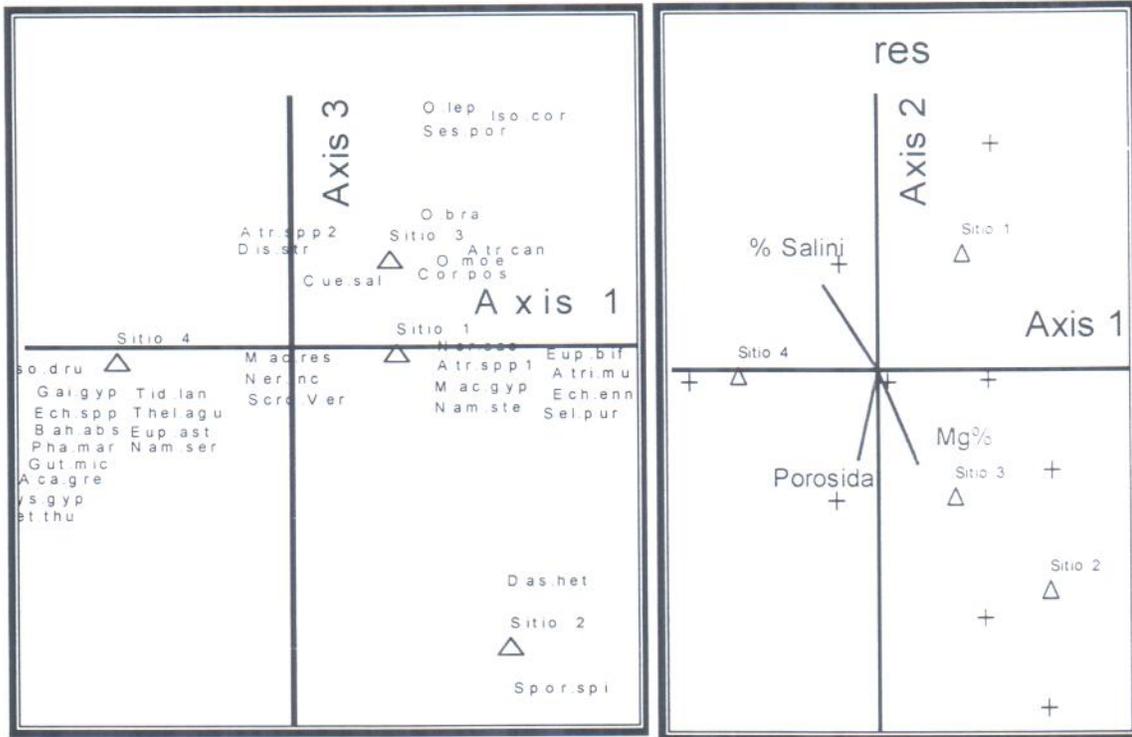


Figura 15.- Diagrama de salida del CCA en PCOR (Izq. Sitios/spp, Der. Sitio/Var. Amb.).

Las variables ambientales seleccionadas como más importantes muestran una correlación estadísticamente significativa, por lo que se infiere que un cambio menor en cualquiera de ellas puede influir en la distribución de las especies y/o en los tipos de vegetación.

Cuadro 6.- Resultado del análisis de correspondencia canónica indicando los valores de las raíces características, la correlación que hay entre las especies y las variables elegidas; así como, el % de varianza explicada por las relaciones especies-variable, para los 3 primeros ejes.

Ejes	1	2	3	4	Total
	inercia				
Raíces características:	.735	.513	.432	.000	
1.680					
Correlación especies y variables:	1.000	1.000		1.000	.000
Varianza acumulada:	43.8	74.3	100.0	.0	
De las relaciones especie-variables:	43.8	74.3	100.0	.0	

Los resultados generados con la prueba de permutaciones de Monte Carlo, indican que tanto los valores de las raíces características para los tres primeros ejes, como los valores de correlación entre las especies, y las especies y las variables ambientales, son significativos ( $p < 0.07$ ), lo que sugiere que los valores obtenidos con el CCA no se deben al azar y que el diagrama de ordenación proporciona una representación significativa de la distribución de las especies y las variables ambientales analizadas.

#### 4.1.1.4 Fuentes de agua

Las especies vegetales encontradas presentan varios tipos de arquitectura radical: superficial, dimórfica, profunda y rizomas (Figura 16). La zona analizada posee un suelo de carácter higroscópico, por lo tanto en sus

capas inferiores retiene agua. Las raíces de las plantas encontradas: dimórficas y superficiales se localizan en esta zona. Esto nos sugiere que la mayoría de las especies encontradas, utilizan el agua de la precipitación pluvial que es almacenada por el suelo y que las de raíces profundas utilizan el agua subterránea, las dimórficas tendrían además acceso a las dos fuentes.

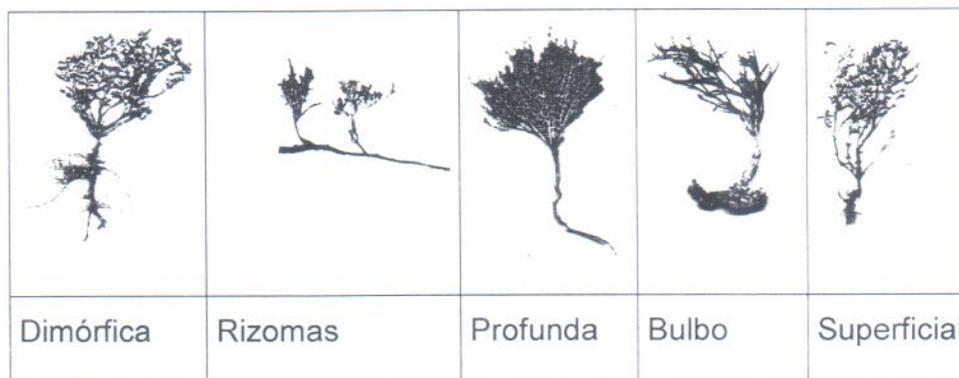


Figura 16.- Arquitectura de la raíz que presentan las especies estudiadas.

Las especies vegetales en los ecosistemas áridos son sensibles a eventos episódicos, tales como prolongados periodos de sequía o periodos de alta precipitación inusuales, los que pueden resultar en importantes cambios fisiológicos y modificaciones dramáticas en la composición de la comunidad.

La supervivencia de las especies perennes durante periodos largos de sequía es producto de la habilidad de las raíces para adquirir el agua remanente del suelo y de la habilidad de la parte aérea de tolerar el estrés hídrico.

El agua subterránea es también una fuente potencial de agua para especies con sistemas radicales profundos. Por ejemplo Aravena y Acevedo

(1985) en un trabajo realizado en Chile por demostraron que *Prosopis tamarugo* estaba utilizando sólo agua subterránea.

En la presente investigación, se debe tener en cuenta que el Valle de Cuatrociénegas cuenta con un complicado sistema de pozas y canales subterráneos, sin olvidar que las características edáficas del sitio le confieren la particularidad de ser higroscópico, por lo que la lejanía relativa con las pozas más evidentes, y la falta de lluvia, no representa un problema grave para las especies que se encuentran en el lugar, ya que la particularidad de sus raíces y las modificaciones de las partes aéreas son parte de su adaptación al medio.

Para una comunidad de arbustos desérticos del noreste de México, Maya y Arriaga (1996), muestran que las especies se pueden agrupar de acuerdo a la producción de estructuras vegetativas, en relación a la disponibilidad de agua, y que estas son afectadas diferencialmente por años excepcionalmente húmedos asociados al fenómeno del niño. En la actualidad, con el cambio en el régimen de lluvias, la zona de estudio no es la excepción, la precipitación ha sido mayor que en otros años, incluso en el periodo del muestreo. Es recomendable un estudio detallado de las especies que, al ser detonadas por el exceso de lluvia empiecen a florecer, con el fin de tener un registro de la mayor cantidad de especies posible.

Se debe mencionar que los sitios 1 y 2, se encontraban a 3 km de la poza llamada la Becerra y a 6 km de la laguna llamada Churince, y que entre estas lagunas o pozas existe comunicación subterránea; en el caso de los sitios 3 y 4, el más cercano a una poza es el sitio 4, ya que circundaba a la poza azul.

Estudios de excavación de plantas del desierto han demostrado que las raíces pueden ocupar probablemente todas las zonas del suelo que son anualmente recargadas con agua, que unas pocas penetran hasta el nivel freático y que las raíces de las plantas anuales están limitadas a la capa superior del suelo (Manning y Barbour, 1989). Varios autores (Drew, 1979; MacMahon y Schimpf, 1981) sugieren que la excavación de raíces *per se* ha contribuido muy poco al entendimiento de las fuentes de agua utilizadas por diferentes especies. El que la mayoría de la biomasa radical se localice en las capas superiores del suelo no significa que todas estas raíces están funcionalmente activas para absorber agua o que el agua siempre es extraída de esta zona. Se sugiere que las raíces de diferentes profundidades poseen diferentes propósitos funcionales. Por ejemplo, las raíces profundas podrían ser primariamente para la absorción de agua mientras que las raíces superficiales servirían para la absorción de nutrientes (Squeo, 1999).

Cuadro 7.- Estructura radical por especie.

Especie	Estructura radical	Especie	Estructura radical
<i>Atriplex canescens</i>	Dimórfica	<i>Sporobolus Spiciformis</i>	Superficial
<i>Atriplex muricata</i>	Dimórfica	<i>Distichlis stricta</i>	Superficial
<i>Selinocarpus purpusianus</i>	Superficial	<i>Isocoma coronopifolia</i>	Superficial
<i>Tidestromia lanuginosa</i>	Superficial	<i>Isocoma drummondii.</i>	Superficial
<i>Opuntia leptocaulis</i>	Profunda	<i>Machaeranthera restiformis</i>	Superficial
<i>Opuntia bradtiana</i>	Profunda	<i>Bahia absinthifolia</i> var. <i>dealbata</i>	Superficial
<i>Coriphanta</i> sp.	Profunda	<i>Gaillardia gypsophila</i>	Superficial
<i>Thelocactus aguirreanus</i>	Profunda	<i>Gutierrezia microcephala</i>	Dimórfica
<i>Opuntia muelleri</i>	Superficia	<i>Dyssodia gypsophilla</i>	Superficial
<i>Echinocereus Enneacanthus</i> var. <i>dubius</i>	Profunda	<i>Echeverria</i> spp	Superficia
<i>Sesurium portulacastrum</i>	Superficia	<i>Acacia greggii</i>	Profunda
<i>Nama stenophyllum</i>	Superficia	<i>Verónica</i> spp?	Superficia
<i>Nama serpylloides</i> var. <i>confertum</i>	Superficia	<i>Euphorbia astyla</i>	Superficia
<i>Phacelia marshall-johnstonii</i>	Superficia	<i>Euphorbia biformis</i>	Superficia
<i>Petalonyx crenatus</i>	Profunda	<i>Nerisyrenia castilloni</i>	Dimórfica
<i>Nerisyrenia incana</i>	Superficia		

## 5.- CONCLUSIONES

En el estudio de la vegetación gypsófila en el Valle de Cuatrociénegas, se encontraron 2 especies y 3 géneros reportados como gypsófilas obligadas y una especie catalogada como gypsófila facultativa, en todos los casos ya tenían reporte. Las otras especies encontradas aunque no están reportadas como gypsófilas, evidentemente toleran las condiciones edáficas del lugar, obteniendo parches de vegetación únicos.

Evidentemente la vegetación del Valle de Cuatrociénegas no es homogénea en su estructura, función y distribución, a pesar de las condiciones ambientales presentes, se dan parches de vegetación determinados por las condiciones edáficas (porosidad, salinidad y magnesio), ya que no existen gradientes altitudinales o grandes variaciones ambientales; según la clasificación, los sitios 1 y 3 comparten las mismas características de suelo, por lo tanto similar dinámica poblacional, a diferencia del sitio 2 cuyas condiciones son distintas. Se comprobó la correlación existente entre las técnicas de clasificación y ordenación, lo cual nos dio como resultado 2 grupos de vegetación, a partir del 50% de información. Las unidades de vegetación obtenidas son para el primer grupo Che<sup>6</sup>-Crus<sup>3</sup>-Cac<sup>7</sup>-Com<sup>7</sup>-Hyd<sup>2</sup>, en este grupo existe una semejanza de casi el 100% entre el sitio 1 y 3 y del 55% de estos sitios con respecto al sitio 4; para el segundo grupo tenemos la unidad Gra-Aga, que salen del rango mencionado anteriormente, por lo que se deduce que la composición es muy diferente a todas las demás.

Tal es el caso del sitio 2, en el que solo encontramos a *Sporobolus spiciformis* y *Dasyilirion heteracanthum*, su distribución en este sitio y solo en él, parece responder a la porosidad encontrada únicamente en este lugar, así como el valor de porcentaje de salinidad fue el más bajo.

En cuanto a los grupos funcionales, estos reflejan diferencias entre especies, debidas a sus atributos particulares, ya que cada atributo le brinda a la especie una mejor adaptación a su medio, lo cual corrobora la intención de este tipo de estudios, la correlación entre atributos y especies. Para este estudio en particular la forma de la hoja es muy importante, ya que de esa característica se obtienen dos grupos principales.

Este tipo de clasificación es válido ya que se toman las características o atributos diferentes de las especies al mismo tiempo y en el mismo lugar (utilizando una aproximación dato definido), evitando así errores. Y nos ayuda a predecir con ayuda de otros estudios los cambios probables que se darían de cambiar ciertas condiciones.

En cuanto a la correlación con las variables edáficas, desde el punto de vista edafológico, el material que se encontró en la zona de estudio no es propiamente un suelo, ya que contiene una gran cantidad de cristales de sulfato de calcio, lo cual nos indica que la vegetación encontrada está altamente especializada.

Evidentemente la composición florística del Valle de Cuatrociénegas, cuenta con ecotonos o parches de vegetación muy marcados, como se menciono, esto se debe a las condiciones edáficas presentes y de ello se infiere

que si alguna condición cambia drásticamente, alguna especie podría desaparecer.

En cuanto a las fuentes de agua utilizadas, el tipo de arquitectura radical no necesariamente nos indica que fuentes de agua utiliza la planta, ya que las raíces, además de ser profundas o tener otra característica, se expanden para asegurar captar más agua de lluvia.

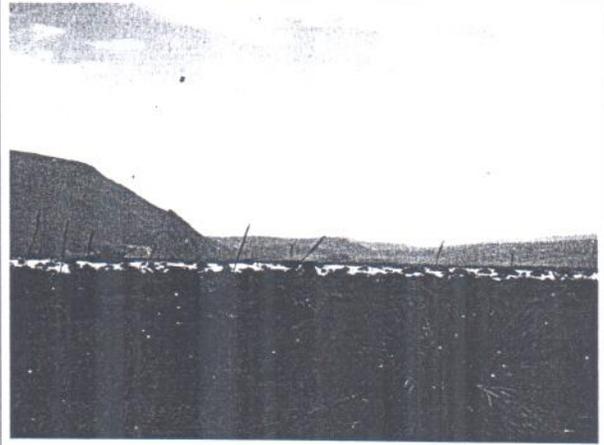
## 6.- ANEXO

### 6.1.- Fotografías de la zona de muestreo.

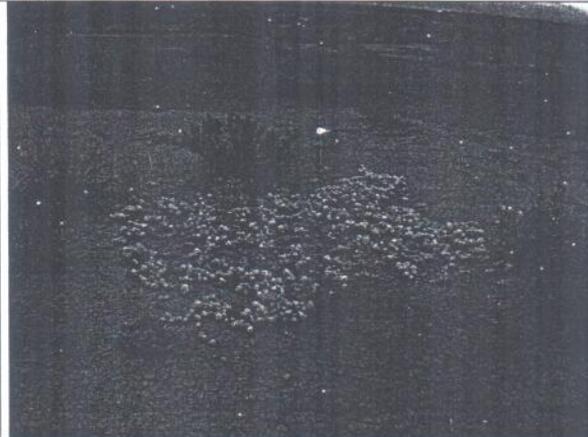
Foto 1.-Sitio de muestreo 1



Foto 2.-Sitio de muestreo 2



Sitio de muestreo 3



Sitio de muestreo 4



Foto 5.-Cuadrante de muestreo, sitio 2



Foto 6.-Fuente de agua más cercana a los sitios 1 y 2. Poza la Becerra.

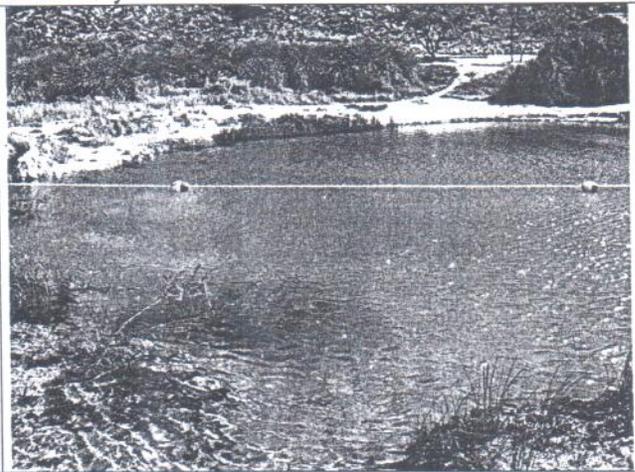


Foto 7.-Toma de muestra de suelo, sitio 1

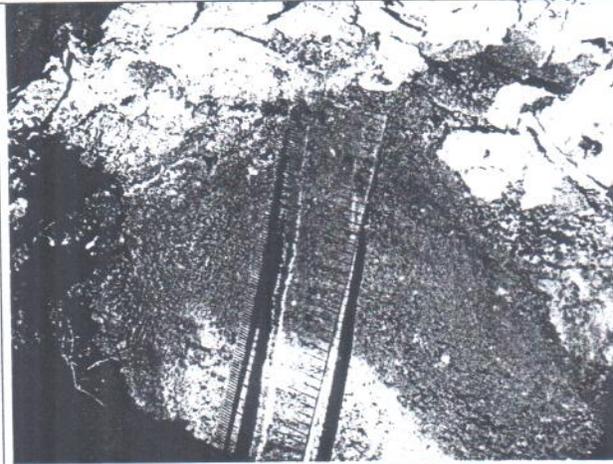
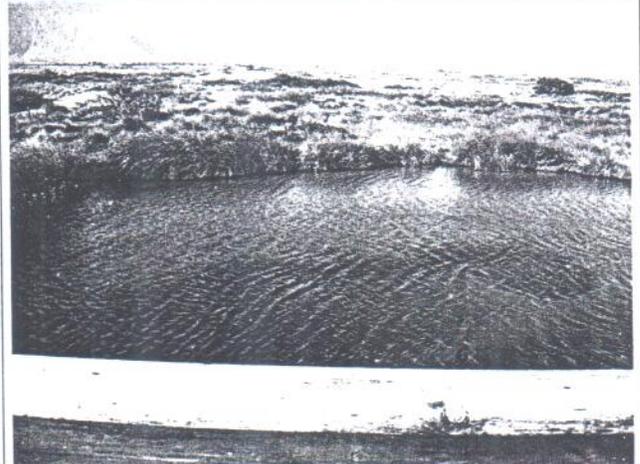


Foto 8.-Poza azul, cercana a los sitios 3 y 4



Cuadro 4.- Valor de importancia de las especies por sitio.

Especie	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
<i>Machaeranthera restiformis</i>	2.13	-	-	0
<i>Crusiferae</i>	12.06	-	22.03	31.95
<i>Nerisirenia castilloni</i>	21	-	-	-
<i>Veronica spp</i>	2.31	-	-	2.62
<i>Selinocarpus purpusianus</i>	1.70	-	-	-
<i>Echnocerus enneacanthus</i>	7.10	-	-	-
<i>Opuntia bradtiana</i>	4.67	-	10.13	-
<i>Nerisirenia incana</i>	1.70	-	-	2.24
<i>Atriplex muricata</i>	7.22	-	-	-
<i>Atriplex canescens</i>	7.04	-	9.34	-
<i>Euphorbia biformis</i>	6.25	-	-	-
<i>Atriplex sp1</i>	3.84	-	-	-
<i>Machaeranthera gypsophila</i>	5.17	-	-	-
<i>Nama stenophyllum</i>	3.00	-	-	-
<i>Sporobolus spiciformis</i>	11.53	65	-	-
<i>Dasyilirion heteracanthum</i>	2.14	35.08	-	-
<i>Distichlis stricta</i>	-	-	8.77	9.59
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	-	-	4.04	-
<i>Opuntia moelleri</i>	-	-	3.61	-
<i>Coriphanta poselgeriana</i>	-	-	11.33	-
<i>Isocomo coronopifolia</i>	-	-	14.87	-
<i>Opuntia leptocaulis</i>	-	-	7.19	-
<i>Isocomo drummondii</i>	-	-	-	4.63
<i>Thelocactus aguirreanus</i>	-	-	8.63	2.19
<i>Atriplex sp2</i>	-	-	-	4.80
<i>Tidestromia lanuginosa</i>	-	-	-	1.81
<i>Nama serpylloides</i>	-	-	-	3.87
<i>Euphorbia astyla</i>	-	-	-	2.62
<i>Petalonix thurberi</i>	-	-	-	10.07
<i>Acacia greggii</i>	-	-	-	1.78
<i>Gutierrezia microcephala</i>	-	-	-	4.91
<i>Dyssodia gypsophilla</i>	-	-	-	2.51
<i>Gaillardia gypsophila</i>	-	-	-	2.62
<i>Echeveria spp.</i>	-	-	-	4.49
<i>Bahia absinthifolia</i>	-	-	-	2.29
<i>Phacelia marshalljohnstonii</i>	-	-	-	2.62

Cuadro 8.- Listado de las especies encontradas en el área de estudio

Familia	Especie	Autor	Hábitat
Crassuleceae	Cuerno salado		
Chenopodiaceae	<i>Atriplex canescens</i>	(Pursh)Nutt.	G
Chenopodiaceae	<i>Atriplex muricata</i>	H.B.K	D
Chenopodiaceae	<i>Atriplex</i> sp.		D
Chenopodiaceae	<i>Atriplex</i> sp.		D
Nyctaginaceae	<i>Selinocarpus purpusianus</i>	Heimerl.	G
Amaranthaceae	<i>Tidestromia lanuginosa</i>	Nutt., Standl.	T
Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i>	DC.	G,D
Cactaceae	<i>Opuntia bradtiana</i>	(Coult.)K.Brandg	D
Cactaceae	<i>Coryphantha poselgeriana*</i>	(Dietr.) Britt & Rose	G
Cactaceae	<i>Thelocactus aguirreanus</i>	(Glass & Foster)Bravo	D
Cactaceae	<i>Opuntia muelleri</i>	Berger	G
Cactaceae	<i>Echinocereus enneacanthus</i> var. <i>dubius</i>	Engelm. (Engelm.)L. Benson	D,G
Agavaceae	<i>Dasyilirion heteracanthum</i>	I.M. Johns	G
Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	L.	G
Hydrophilaceae	<i>Nama stenophyllum</i>	(Woot.)C.L.Hiten	G
Hydrophilaceae	<i>Nama serpylloides</i>	Hemsl. I.M.Johnston	G,D
Hydrophyllaceae	<i>Phacelia marshall-johnstonii</i>	Atwood & Pinkava	G
	<i>Petalonyx crenatus</i>	Wats.	G
	<i>Nerisyrenia incana</i>	Rollins	G
	<i>Nerisyrenia castilloni</i>	Rollins	G

Cuadro 8a.- Continuación

Familia	Género	Especie	Autor	Habitat
Poaceae	Sporobolus	spiciformis	Swallen	G
Poaceae	Distichlis	stricta	(Torr.)Rydb.	B
Asteraceae	Isocoma	coronopifolia.	A Gray, Greene	B,G
Asteraceae	Isocoma	drummondii.	(Torr & Gray) Greene	B,G
Asteraceae	Machaeranthera	restiformis	B.L. Turner	G
Asteraceae	**Machaeranthera	gypsophila	B.L Turner	G
Asteraceae	Bahia	absinthifolia	Benth A. Gray	D,G
Asteraceae	Gaillardia	gypsophila	Turner	C
Asteraceae	Gutierrezia	microcephala	(DC) A. Gray.	D
Asteraceae	Dyssodia	gypsophilla	(Turner) Strother	C
Crassulaceae	Echeveria	Sp		D
Fabaceae	Acacia	greggii	A. Gray	T
Scrophulariaceae	Veronica	spp	L.	
	e			
Euphorbiaceae	Euphorbia	astyla	Engelm. Ex Boiss.	G
Euphorbiaceae	Euphorbia	biformis	S. Watson.	G

G::Dunas de yeso y planicies

D: Matorral desértico y planicies

B: Pastizales del piso del valle

## 6.2 Propiedades físicas-químicas de los suelos.

Cuadro 9.- Propiedades físicas-químicas de los suelos.

Característica	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio4
Color	10YR 6/3	10YR 7/3	2.5YR 4/4	10YR 5/3
% arcilla	8.4	6.4	7.06	9.6
% arena	73.6	88.93	7.06	76.4
% limo	8	4.66	32.26	14
Densidad aparente	1.26	1.28	1.19	1.14
Densidad real	2.11	2.27	2.14	2.12
Porosidad	40.28	51.27	44.11	43.83
Materia orgánica	0.96	0.64	1.93	1.55
pH	8.52	8.63	8.64	9.06
% Salinidad	35.4	10.16	40<	40<
C.E(mmhos)	50000<	16166.66	59400	50000<
C.E(ds)	14.33	16.16	59.4	42.8
Ca(cmol(+))Kg-1)	466.95	407.59	370.87	495.72
Mg(cmol(+))Kg-1)	479.19	435.13	301.10	500.31

## 7. LITERATURA CITADA

- Alvarez-Sánchez, J. 1993. *Contribución de la Sociedad Mexicana de Botánica a la Investigación y Conservación de la Biodiversidad*. Vol. Esp. (XLIV) Rev. Soc. Méx. Hist. Nat. pp. 51-57.
- Aravena R. y Acevedo E. 1985. *The use of environmental isótopos oxygen-18 and deuterium in esstudy of water relations of Prosopis tamarugo Phil.* En: Habit M.A. ed. *The current state of knowledge on P. tamarugo* FAO, Santiago de Chile, Chile 251-256.
- Austin, M.P. y Smith, T.M. 1989. *A new model for the continuum concept. Vegetation.* 69:35-45.
- Barbault R., Colwell R.K., Dias B., Hawksworth D.L., Huston M., Laserre P., Stone D. & Younes T. 1991. *Conceptual frame work and research issues for species diversity at the community level.* In O.T. Solbrig (ed), *From Genes to Ecosystems: a Research Agenda for Biodiversity*. Cambridge Masschusetts.
- Barbour, M. G. 1970. *Is any angiosperm an obligate halophyte ?* Am. Midl. Nat. 84:105-120.
- Bernabé M.E.J. 2000. *Principales Asociaciones Vegetales del Desierto Chihuahuense*. Tesis de Ingeniería forestal. UACH. México.
- Botkin D. B. 1975. *Functional groups of organisms in model ecosystems.* In Levin, S.A.(eds), *Ecosystems analysis and prediction*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

- Braun-Blanquet, J.J. 1932. *Plant sociology, the study of plant communities*. Hafner Pub. Co. New York, USA.
- Bridge, P.D.1993. *Classification, en Biological data analysis. A practical approach*. The practical approach series. Rickwood, D & Hames, B.D., IRL. Press, Oxford University Press. 219-241.
- Brown D.E. 1982. *Chihuahuan desert scrub*. Desert Plants. 4(1-4): 2110
- Bullock, J. 1996. *Plants*. In: Ecological census techniques. Ed. W.J. Sutherland. Cambridge Univesity Press. Cabridge, U.K. pp. 11-137.
- Calegari, Valerie.1997. *Enviromental Perceptions and local conservation. Eforts in Cuatro Cienegas, Coahuila , México*. Tesis de maestría. Universidad de Texas at Austin. Austin, Texas.
- Comisión Nacional del Agua. 1998. *Programa Hidráulico Estatal 1996-2020*. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Gerencia Estatal en Coahuila. Unidad de Programación.
- Drew M.C. 1979. *Root development and activities*. En: Goodall D.W., Perry R.A. y Howes K.W. eds. *Arid-land ecosystems: structure, functioning and management*. Vol. I. Cambridge University Press, Cambridge, 573-606.
- Fowler, B. A. y Turner B.L. 1977. *Taxonomy fo Selinocarpus and Ammocodon (Nyctaginaceae)*. Phytologia. Vo. 37, no. 3. 177-208 pp.
- Friedel M.H., Bastin G. N.& Griffin G. F. 1988. *Range assessment and monitoring of arid lands: the derivation of functional groups to simplify vegetation data*. Journal of Environmental Management, 27.

- García E. y Flores Flores J 1996. *Aprovechamiento de Plantas Silvestres de Zonas Áridas de México (Desierto y Pastizal)*. Geografía Agrícola, estudios de agricultura mexicana. Num.22-23, Enero a Julio. pp: 22.
- Gauch, H.G. 1982. *Noise reduction by eigen vector ordinations*. Ecology (63)6: 1643-1649.
- Gitay, H. y I.R. Noble. 1997. *What are functional types and how should we seek them?* In: T.M. Smith, H.H. Shugart y F.I. Woodward. *Plant Functional Types, their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Glenn E. P. 1995 *Halófitas Terrestres*. Encyclopedia Of Environmental Biology. Vol. 3. pp 403-418. William A. Nierenberg (Edit.). Academic Press Inc. USA.
- Godinez, A. 1998. *Los desiertos mexicanos, sus características e importancia*. Ciencia y Desarrollo. 143:17-22.
- Goodland, R. 1995. *The concept of environmental sustainability*. Ecol. Sist.. 26: 1-24.
- Granados S.D. 2001. *Ecología y manejo de recursos en zonas áridas*. Inédito. UACH. Chapingo, México.
- Granados S.D. y López R.F.G. 2001. *Ecología y Recursos Bióticos del Desierto Chihuahuense*. Inédito. UACH. Chapingo, México.

- Granados-Sánchez D. y A. Sánchez-González. 2003. *Clasificación fisonómica de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de un gradiente altitudinal*. TERRA 21 (3): 321-332.
- Greig-Smith, P. 1983. *Quantitative plant ecology: series studies in ecology*. 3<sup>a</sup> ed. University of California Press. USA. Vol. 9
- Heal O.W. & Grime J.P., 1991. *Comparative analysis of ecosystems: past lessons and future directions*. In Cole, J., Lovett G. & Findlay S. (eds), *Comparative analysis of Ecosystems: Patterns, Mechanisms and Theories*, New York: Springer Verlag.
- Hernández X.E. 1955. *Apuntes para una clase de Botánica económica*. In: Xolocotzia I. Obras de Efraim Hernández Xolocotzi. UACH, Chapingo, México.
- Hill M.O., Gauch, H.G. 1980. *Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique*. *Vegetation*, 42: 47-58.
- INE-SEMARNAP. 1999. *Programa de Manejo de Área de Protección de Flora y Fauna Cuatociénegas, México*. Instituto Nacional de Ecología. 166 pp.
- Inouye, R.S., N.J. Huntly, D. Tilman, J.R. Tester, M. Stillwell y K.C. Zinnel. 1987. *Old-Field succession on a Minnesota sand plain*. *Ecology* 68: 12-26.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1995. *Anuario estadístico del Estado de Coahuila*. México. 338 pp.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática. 1988. *Cartas de Coahuila*.
- James, C.F. y McCulloch, E.C. 1990. *Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's Box?* *Annu. Rev. Ecol. Sys.* 21:29-66.

- Johnson R. A. 1981. *Application of the guild concept to environmental impact analysis of terrestrial vegetation*. Journal of Environmental Management, 13
- Johnston, I.M. 1941. *Gypsophily among Mexican deserts plans*. Journal of the Arnold Arboretum. Vol. XXII No. 2. 145-170
- Juárez M. 1989. *Uso de la flora silvestre en tres tipos de vegetación del Altiplano Potosino-Zacatecano*. Tesis Profesional. Biólogo. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Kent, M. y Coker, P. 1992. *Vegetation description and analysis: a practical approach*. Belhaven Press. Londres, Inglaterra.
- Lasso, 1988. *Caracterización de los Suelos del Valle de Cuatrociénegas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Ingeniería. Departamento de Suelos (inédito).
- Leet y Judson .1968. *Geología física*. Limusa Noruega. Ediciones México.
- Lindeman R. L. 1942. *The trophic-dynamic aspect of ecology*. Ecology, 23, 399-418.
- MacMahon J.A. y Schimpf D.J. 1981. *Water as factor in the biology of North American desert Plant*. En: Evans D.D. Y Thamez J.L. eds. Water in desert ecosystems. US/IBP Synthesis Series 11. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, 114-171.
- Manning S.J. y Groenvelde D.P. 1989. *Shrub rooting characteristics and water acquisition on xeric sites in the western Great Basin*. En: Proceedings

symposium on cheat grass invasion, shrub die-off, and other aspects on shrub biology and management. US Forest Service tech Report INT-276, 238-244.

Matteucci, S.D. y A. Colma. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Serie Biología, Monografía No. 22. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 168 pp.

Maya Y. y Arriaga L. 1996. *Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in north-western México*. Journal of Arid Environments 34: 23-35.

McCune, B. y J.B. Grace. 2002. *Analysis of ecological communities*. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon. 300 pp.

McCune, B. y M. J. Mefford. 1999. *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 4 for Windows. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon. 237 pp.

Minchin, P.R. 1987. *An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination*. Vegetation 69:89-107.

Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley. New York, New York. 547 pp.

Norma Oficial Mexicana 2001. NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres -categorías de

**BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES**

riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- lista de especies en riesgo.

Palmer, W.M. 1993. *Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence análisis*. *Ecology* 74:8. 2215-2230.

Palmer, W.M. 2005. *Ordination methods for ecologists*.  
<http://www.carex..osuunx.ucc.okstate.edu>.

Pan, D., Bouchard, A. , Legendre, P. , Domon, G. 1998. *Influence of edaphic factors on the spatial structure of inland halophytic communities: a case study in China*. *Journal of Vegetation Science* 9:749-804.

Patten, R.S. y J.E. Ellis. 1995. *Patterns of species and community distributions related to environmental gradients in an arid tropical ecosystem*. *Vegetatio* 117: 69-79.

Pinkava, Donald J. 1979. *Vegetation and flora of the Bolson of Cuatrociénegas Region, Coahuila, México I*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No. 38. 35-75.

Pinkava, Donald J. 1984. *Summary, endemism, and corrected catalogue*. See Marsh, ed.

Powell, A.M. and Turner B.L. 1977. *Aspects of the plants biology of the gypsum outcrops of the Chihuahuan Deserts* pp.315-325.

Ramírez, S. S. E. 2002. *Botánica Económica del Desierto Chihuahuense*. Tesis de Licenciatura en Biología. FES-Iztacala. UNAM.

- Randerson, P.F. 1993. *Ordination, en: Biological data analysis. A practical approach.* The practical approach series. Rickwood, D & Hames, B.D., IRL. Press, Oxford University Press. 173-212.
- Raunkiaer C, 1934. *The life-forms of plants and statistical plant geography.* Oxford University Press.
- Reyes-Aguero J.A., Aguirre-Rivera J.R. y Peña-Valdivia C.B. 2000. *Biología y Aprovechamiento de Agave Lechuguilla Torrey.* Bol. Soc. Bot. México.67:75-88.
- Root R.B. 1967. *The niche exploration pattern of a blue grey gnatcatcher.* Ecological Monographs, 37.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México.* 1ª edición. Editorial Limusa. México, D.F. 203 pp.
- Rzedowski, J. 1991. *La diversidad biológica de Ibero-América,"El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar.*Acta Botánica Mexicana 15:47-64.
- Rzedowski, J. 1992. *Diversidad y Orígenes de la flora fanerogámica de México.* Ciencias. 6:47-56.
- Sánchez G. A. 1998. *Clasificación y ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México.* Tesis de Maestría. ENEP Iztacala, UNAM. México.

- Sánchez, G.A. 2004. *Análisis sinecológico, Florístico y Biogeográfico de la Vegetación del Norte de la Sierra Nevada, México*. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados.
- Sánchez-Del Pino I., Flores O. H. y Valdez J. 1999. *La familia Amaranthaceae en la Flora Halófila y Gipsófila de México*. Anales del instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica 70(1):29-135.
- Sánchez-González, A. y D. Granados-Sánchez. 2003. *Ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce a lo largo de gradientes ambientales*. TERRA 21 (3): 311-319.
- Sánchez-González, A. y L. López-Mata. 2003. *Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal*. Anales del Instituto de Biología (Serie Botánica), Universidad Nacional Autónoma de México 74: 47-71.
- Scholes, R.J., G. Pickett, W.N. Ellery y A.C. Blackmore 1997. *Plant functional types in African savannas and grasslands*. In: T.M. Smith, H.H. Shugart y F.I. (Eds.). Woodward. *Plant Functional Types, their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Silvertown, J. y Wilson, J.B. 1994. *Community structure in a desert perennial community*. Ecology 75: 409-417.
- Smith T. M, Shugar H. H, Woodwaed F. I, 1997. *Plant Functional Types*. Cambridge University Press. USA.

- Smith, R. L. 1998. *Ecology and field biology*. Appendix A. Sampling plant and animal populations. Fifth edition.
- Squeo, F.A., N. Olivares, A. Valenzuela, A. Pollastri, E. Aguirre, R. Aravena, C. Jorquera y J.R. Ehleringer. 1999. *Fuentes de agua utilizadas por las plantas desérticas y su importancia en los planes de manejo y restauración ecológica*. Bol. Soc. Bot. México. 65: 95-106.
- Suárez, M J. 2003. *Clasificación y Ordenación de las Comunidades Vegetales de las Sierra de San Joaquín, Querétaro en su vertiente Sur*. Tesis de Licenciatura. FES-Iztacala. UNAM.
- Sutton A. M. 2000. *El Desierto Chihuahuense, nuestro desierto*. Fondo Mundial para la naturaleza(WWF)URL: <http://www.pronatura.org/>
- Ter Braak, C.J.F. y P. Šmilauer. 1998. *CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4)*. Microcomputer Power. New York, New York. 351 pp.
- Terradas, J. 2001. *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Omega, España. 703 pp.
- Turner B.L. 1972. *Two new Gypsophilous species of Gaillardia (Compositae) from northcentral Mexico*. The Southwestern Naturalist 17(2):181-190.
- Ungar, I.A. 1974. *Inland halophytes of the United States*. In: Reinhold, R. J. & Queen, W. H. (eds.) *Ecology of halophytes*. 235-306 pp.

- Valério DePatta, P. 1999. *On the identification of optimal plant functional types*.  
Journal of Vegetation Science. 10: 631-640.
- Vela y Lozano. 1995. *Distribución vegetal en el área de protección de flora y fauna de Cuatrociénegas, Coahuila, México*. [www.labsig.mty.itesm.mx/proyectos/4ciénegas/4ciénegas](http://www.labsig.mty.itesm.mx/proyectos/4ciénegas/4ciénegas)
- Walker B.H. 1992. *Biodiversity and ecological redundancy*. Conservation Biology, 6, 18-23.
- Watt A. S. 1947. *Pattern and process in the plant community*. Journal of Ecology, 35, 1-22.
- Whittaker R. H. & Levin S. I. 1977. *The role of mosaic phenomena in natural communities*. Theoretical Population Biology, 12, 117-39.
- Whittaker, R.H. 1970. *Communities and ecosystems*. Editorial Macmillan. New York, USA.
- Wishtart, D. 1969. *An Algorithm for hierarchical classification*. Biometrics 25: 165-170.
- Woodall, W.D. 1978. *Numerical clasificación*. In Whittaker, R.H. (Edit.), *Clasificación of Plant communities*. Kluwer Academic Publishers group. Netherlands, 249-283 pp.
- Zavala, H.J.A. *Introducción al enfoque multivariado en estudios de vegetación*. Cuadernos de divulgación, INIREB. No. 26. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Jalapa Veracruz. México, 1986.