

00376

5
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**“ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE COMUNIDADES VEGETALES CON
RELACIÓN A LA EVOLUCIÓN DEL PAISAJE, EN LA ZONA
SEMIÁRIDA DE COXCATLÁN, PUEBLA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
(ECOLOGIA Y CIENCIAS AMBIENTALES)

P R E S E N T A:

BIOL. MARIA NORMA OLINDA FERNANDEZ BUCES

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALFONSO VALIENTE BANUET

274775

MEXICO, D.F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

a Jean François y Marianne

a Tato y Julito

a Pepe, Alex, Manuel y Cau.....

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Alfonso Valiente Banuet**, del Instituto de Ecología de la UNAM por la dirección de esta tesis, sus comentarios y orientación a lo largo de todos los años que tenemos de conocernos.

Al comité evaluador: **Dra. Patricia Dávila** de la ENEP Iztacala, al **Dr. José Ortega Ramírez** del Instituto de Geofísica, a la **Dra. Silke Cram** y a la **Dra. Helena Cotler**, ambas del Instituto de Geografía, al **Dr. Alejandro Velázquez** del Instituto de Ecología, campus Morelia, por la revisión crítica, orientación y comentarios sobre el presente trabajo; y particularmente a la **Dra. Christina Siebe Grabach** por todo el apoyo brindado, su confianza y amistad invaluable.

Al **Ing. Sergio López Mendoza**, por las facilidades brindadas para la realización de la maestría y de esta tesis durante mi participación con la empresa Grupo Selome, de la cual éra Director General. Agradezco su orientación, apoyo y consejos para mi mejor desarrollo profesional.

Al **Dr. Richard Webster**, del Rothamsted Experimental Station (Inglaterra), por sus comentarios críticos y sugerencias.

A los compañeros del Laboratorio de Comunidades del Instituto de Ecología de la UNAM por sus porras, apoyo en campo y comentarios sobre el trabajo, particularmente a **Noé, Chano, Luguí, Adolfo, Rocío, Javier, Rodolfo y José Antonio (Soriano)**.

A los compañeros del Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM por su apoyo moral en estos tiempos difíciles de huelga....., particularmente a **Andrea, Luci, Gaby, Pili, Daniel, Luis, Pedro, Carmen, Kumi, Brigitte, Manuel y Faustino**.

Al **Biól. Javier Medina** por permitirme el uso de algunos de sus datos no publicados en esta tesis.

A los compañeros de la empresa Grupo Selome: **Mari Carmen, Fabián, Lulú, Alejandro, Vero y Rosalba**, por su apoyo en la realización de la maestría y la tesis; particularmente al **Biól. Sergio López Noriega** por su apoyo y amistad incondicional desde hace más de 30 años, a quien dedico todos los AUNADOS que existen en el presente texto....

A la **Dra. Luz María Calvo**, por darme el empujón que necesitaba para hacer la maestría.

A la **Comunidad del poblado de San Rafael, Coxcatlán, Puebla**, por permitirme la realización de este trabajo en sus terrenos.

A mis amigos de siempre..... **Adriana R., Christina, Laura, Adriana C., Irene, Beatriz, Ana Elena, Olga, Bertha, Ruth, Víctor, Cesar, Horacio, Sergio y Ceci**..... por las porras que siempre me echan.

A **papi Jacques y Amachi**, por apoyarme como una hija.

A mis **baby-sitters**, sin quienes JAMAS hubiera podido realizar este trabajo...

INDICE GENERAL

Contenido	Páginas
Resumen.....	1
1. Introducción.....	3
1.1 Contexto general del trabajo	3
1.2 Abanicos aluviales	3
1.3 Suelos	4
1.4 Vegetación.....	5
1.5 Generalidades sobre el abanico aluvial en estudio.....	6
2. Hipótesis	7
3. Objetivo General.....	8
3.1 Objetivos Particulares.....	8
4. Antecedentes.....	9
4.1 Formación de abanicos aluviales	9
4.2 Suelos	13
4.2.1 Carbonatación de suelos con referencia a su edad.....	16
4.2.2 Modificación de la textura en suelos con referencia a su edad..	18
4.3 Vegetación	19
4.3.1 Patrones de distribución y dinámica de comunidades a lo largo de una cronosecuencia.....	20
5. Material y Método.....	23
5.1 Descripción del área de estudio.....	23
5.2 Material y Método.....	26
5.2.1 Caracterización geomórfica del abanico.....	26
5.2.2 Muestreo y análisis de los suelos en el área de estudio.....	27
5.2.3 Muestreo y análisis de la vegetación en el área de estudio	29
6. Resultados.....	31
6.1 Caracterización geomorfológica del área de estudio (Barranca Muchil, Coxcatlán)	31
6.2 Descripción de la conformación actual del abanico aluvial de la Barranca de Muchil.....	34
6.3 Suelos.....	38
6.3.1 Morfología de los precipitados de carbonato de calcio.....	45
6.3.2 Textura.....	48
6.3.3 Nutrientes.....	49
6.4 Listado florístico y tipos de vegetación.....	55
7. Discusión.....	70
Hipótesis sobre la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla.....	79
8. Conclusiones.....	90
Bibliografía	93

INDICE DE FIGURAS

Núm.	Contenido	Pág.
1	Esquema general de un abanico aluvial.	9
2	Formas originadas a partir de la erosión de una superficie cóncava (Modificado de Klein, 1985).	12
3	Area de estudio.	24
4	Diseño y operación del nivel de campo.	27
5	Ubicación de los transectos y cuadrantes de muestreo por nivel.	29
6	Esquema geomorfológico del área de estudio.	33
7	Niveles topográficos a lo largo de la sección transversal del abanico (sección A-A').	35
8	Posible evolución del paisaje en el abanico aluvial de Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla.	37
9a	Esquematación del perfil de suelo, nivel 1.	46
9b	Esquematación del perfil de suelo, nivel 2.	46
9c	Esquematación del perfil de suelo, nivel 3.	47
9d	Esquematación del perfil de suelo, nivel 4 (Datos no publicados de J. Medina, 1999).	48
10a-c	Contenido de arena, limo y arcilla en el solum.	50
11a-c	Distribución de nutrientes por horizonte en los diferentes niveles topográficos.	51
12a-c	Cantidades de nutrientes en el solum por nivel.	52
13a-d	Indices de dominancia de árboles para cada tipo de vegetación.	63
14a-d	Indices de dominancia de arbustos y hierbas por tipo de vegetación.	64
15	Análisis de componentes principales. Agrupación de especies en 5 grupos.	67
16	Patrón gradual de similitud entre niveles topográficos próximos.	69
17a	Hipótesis sobre la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla. Tiempo 0.	83
17b	Hipótesis sobre la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla. Tiempo 1.	84
17c	Hipótesis sobre la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla. Tiempo 2.	85
17d	Hipótesis sobre la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla. Tiempo 3	86
17e	Hipótesis sobre la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla. Tiempo 4.	87
17f	Hipótesis sobre la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla. Conformación actual.	88

INDICE DE CUADROS

Número	Contenido	Página
1	Estadios de carbonatación (según Machette, 1985).	17
2	Estadios de carbonatación (según Harden et al. 1991, y Monger, Daugherty y Gile, 1991).	17
3	Principales características de los suelos en cada nivel topográfico.	44
4	Cantidades de nutrimentos por nivel topográfico.	49
5	Resumen de propiedades ecológicas de los suelos por nivel topográfico.	54
6	Relación de especies por tipo de comunidad en el abanico aluvial de Barranca de Muchil.	55bis
7	Indice de dominancia por especie y tipo de comunidad en abanico aluvial de Barranca Muchil.	55bis
8	Indice de similitud de Jaccard entre niveles topográficos.	65
9	Porcentaje del total de la varianza explicada por factores.	65
10	Peso de cada variable latente en las 5 variables manifiestas (factores).	66

RESUMEN

Las comunidades vegetales en zonas áridas fueron consideradas en el pasado como estáticas, en donde la composición de especies había llegado a un estado terminal y la sucesión de comunidades era inexistente. Estudios recientes han demostrado que dichas comunidades distan mucho de ser estáticas y que de forma conjunta, los cambios en el relieve y en las propiedades edáficas, repercuten en la capacidad de un suelo de soportar ciertas especies vegetales, lo que conlleva a variaciones en los patrones de distribución y dinámica de las comunidades de plantas establecidas.

En este trabajo se analizó la relación existente entre la distribución y composición de las comunidades vegetales, con respecto a la geomorfología y la evolución del suelo en un abanico aluvial al pie de la barranca Muchil, en Coxcatlán, Puebla. Este abanico corresponde a una unidad de paisaje del Cuaternario que sobreyace a otras generaciones de abanicos aluviales previos. Sobre el depósito coluvial más reciente, se desarrolla una comunidad de bosque tropical caducifolio. Esta comunidad aparentemente refleja una distribución homogénea en toda la superficie del abanico; sin embargo, al analizarla con mayor detalle, resalta que está conformada por diferentes agrupaciones de especies, distribuidas al parecer, en función del relieve de la propia superficie aluvial. Por ello, el presente trabajo se enfocó a la identificación de las diferencias en la distribución y composición de la vegetación, en relación con las variaciones en las propiedades edáficas, como producto de la evolución de los suelos y del relieve, dentro del contexto de la evolución del paisaje.

El trabajo se organizó bajo tres enfoques: el geomorfológico, el edáfico y el de vegetación. Con base en fotointerpretación, análisis cartográfico, bibliográfico y recorridos en campo para corroboración de la información recabada en gabinete, se estudió la geomorfología del área, los antecedentes paleoclimáticos y la topografía del abanico para reconocer su conformación actual y establecer una posible historia de formación y erosión. Se realizó un levantamiento topográfico a lo largo de una sección transversal a la altura del abanico medio, la cuál reveló la presencia de cuatro niveles topográficos, escalonados de mayor a menor en sentido Oeste-Este. Sobre esta sección se realizaron 4 perfiles de suelos y una serie de perforaciones corroboratorias. A partir del análisis de suelos se identificó la existencia de una cronosecuencia edáfica del nivel más alto al más bajo. Esta cronosecuencia fué determinada con base en diferencias relativas en la edad de los suelos, establecida a partir del análisis de la morfología de los depósitos de carbonato de calcio, cambios texturales y variaciones en las concentraciones de nutrientes. Asimismo se analizó la composición, dominancia y distribución de las especies vegetales para cada nivel topográfico, utilizando un muestreo por cuadrantes a lo largo de un transecto, cubriendo un

área de 500 m² en cada nivel. Los resultados mostraron que la comunidad vegetal en esta parte del abanico puede ser dividida en cuatro tipos de vegetación, relacionados con suelos con diferentes propiedades edáficas y con cada uno de los niveles topográficos identificados. Sobre el nivel topográfico más alto se desarrolla una comunidad vegetal en donde especies de árboles como *Fouquieria formosa*, *Bursera aptera* y *Manihotoides pauciflora*, así como una asteracea (*Sanvitalia fruticosa*), son dominantes. En un siguiente nivel topográfico, se identificó una comunidad con especies dominantes como *Bursera morelensis*, *Bursera aptera*, *Mimosa luisana* y *Mimosa polyantha*. Los dos niveles más bajos corresponden a los suelos más jóvenes donde dominan las cactáceas columnares de la especie *Pachycereus weberi*, junto con árboles de *Senna wisliseni* en el nivel más bajo, seguido en edad relativa por el suelo en el segundo nivel con especies de cactáceas columnares como *Escontria chiotilla* y *Stenocereus stellatus*, y árboles de la especie *Cercidium praecox*.

Esta tesis analizó la variación en las comunidades vegetales desde una perspectiva poco considerada en la literatura, ya que relaciona las implicaciones de la geomorfología y los suelos, en la discontinuidad de la distribución de las especies vegetales, para obtener una visión integral de la serie de cambios que conjuntamente definen la evolución de un paisaje. En el caso particular de Barranca Muchil, la evolución de la superficie del abanico a partir de eventos de erosión y depositación, conllevó aparentemente a diferentes tiempos para el desarrollo de procesos pedogenéticos en suelos muy próximos, lo que dió como resultado que las propiedades edáficas fueran cambiando de tal manera que fueran mayor o menormente adecuadas para la persistencia de ciertas especies vegetales.

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE COMUNIDADES VEGETALES CON RELACIÓN A LA EVOLUCIÓN DEL PAISAJE, EN LA ZONA SEMIÁRIDA DE COXCATLÁN, PUEBLA.

1. INTRODUCCION

1.1. Contexto General del Trabajo

El estudio de la ecología del paisaje surge a mediados de los años 30's en Alemania y Gran Bretaña, como producto de la convergencia del estudio de la geografía física y la vegetación (Neef, 1982; Haines-Young, Green y Cousins, 1994). Integra diversas ciencias, entre las que resaltan la geología, la geografía, la geomorfología, la climatología, la biología y la edafología (Jongman, TerBraak y Van Tongeren, 1995; Naveh y Lieberman 1997). Autores como Jongman, TerBraak y Van Tongeren (1995) señalan que la ecología puede ser dividida en tres grandes líneas: 1) *Autoecología*, que corresponde al estudio de una especie en relación con su ambiente, 2) *Sinecología*, que corresponde a la ecología de comunidades, mediante el estudio de varias especies en relación a su ambiente, y 3) *Ecología del paisaje*, la que en una escala espacial mayor, estudia los patrones de distribución espacial y los procesos asociados a éstos. Considera el desarrollo de la heterogeneidad espacial y las interacciones espacio-temporales de las especies y su ambiente. Para autores como con Vink (1983), la ecología del paisaje "*Es el estudio de la relación entre fenómenos y procesos en el paisaje o geósfera, incluyendo las comunidades de plantas, animales y el hombre*"; para Forman y Godron (1986) "*Es el estudio de la estructura, función y cambio en una área de terreno heterogénea, compuesta por ecosistemas en interacción*". Se puede decir que la mayoría de las definiciones sobre la ecología del paisaje consideran que **describe y analiza la interacción en espacio y tiempo que se dá entre los procesos bióticos y abióticos dentro de una área determinada, a fin de poder realizar predicciones sobre eventos.**

Existe una estrecha relación entre la geomorfología, el suelo y la vegetación en el paisaje, por lo que en esta tesis se analizan los cambios en la composición y dinámica de las comunidades vegetales, bajo distintas condiciones del suelo y del relieve, como parte del proceso de la sucesión ecológica en la evolución de un paisaje. Este trabajo corresponde a un estudio de caso realizado sobre un abanico aluvial al pie de la barranca de Muchil en Coxcatlán, Puebla.

1.2. Abanicos Aluviales

Los abanicos aluviales constituyen uno de los rasgos más sobresalientes de zonas áridas y semiáridas en Norteamérica (Blissenbach, 1954; Christenson y Purcell, 1985;

Blair y McPherson, 1994). Se forman a partir de un evento de depositación vertiginosa de material detrítico mal clasificado, que se origina en la desembocadura de una corriente monatañosa en su límite con una superficie plana, debido al cambio abrupto de pendiente. En su proceso de formación intervienen varias formas de depositación de material, predominando dos de ellas, el flujo de derrubios ó *Debris flow* y el *Sheetflood* (Blair y McPherson, 1994). Ambas son consideradas como procesos primarios de gran intensidad y poco frecuentes, muchas veces separados por períodos muy largos de tiempo, que dependiendo de las condiciones climáticas y del origen del material parental, permiten el inicio de procesos pedogenéticos que resultan en la formación de suelos (Tricart, Raynal y Besaçon, 1972; McAuliffe, 1994; Parker, 1995).

A partir de los procesos de formación de abanicos aluviales, intervienen una serie de procesos secundarios (flujo superficial de agua, erosión eólica, intemperismo de sedimentos, entre otros), cuya función es de carácter moldeador, ya que ocasionan una continua erosión de la superficie del abanico, dando como resultado su configuración actual.

1.3. Suelos

Las propiedades y distribución de los suelos en un abanico aluvial están relacionadas con su posición geomórfica y la topografía del sitio (McAuliffe, 1994; Parker, 1995); particularmente con el escalonamiento que se forma en la superficie del mismo como resultado de su erosión (Klein, 1985). Esta erosión origina que las superficies con suelos más jóvenes generalmente se localicen en las márgenes de los escurrimientos activos, mientras que las superficies más antiguas se localicen en elevaciones mayores hacia el centro del abanico, siguiendo una sucesión gradual de edades o *cronosecuencias edáficas* (Klein, 1985; Eash y Sandor, 1995).

Las *cronosecuencias* han sido determinadas por varios autores (Harden *et al.*, 1991; Eash y Sandor, 1995) mediante el uso de algunas características edáficas cuya evolución sea progresiva en el tiempo, independientemente de la influencia de otros factores externos. Cambios texturales y la formación de horizontes característicos (p.e. cálcicos y petrocálcicos), corresponden a aquellas propiedades que son mayormente utilizadas para tal fin. De acuerdo con ello, la edad del suelo puede ser estimada de forma relativa mediante el análisis de parámetros como el contenido de arcillas (McAuliffe, 1994; Eash y Sandor, 1995); así como por la presencia de diferentes grados de depositación de carbonato de calcio sobre los clastos, hasta formar horizontes cálcicos y petrocálcicos, propios de suelos antiguos en zonas áridas y semiáridas (Machette, 1985; Harden *et al.*, 1991; Monger, Daugherty y Gile, 1991; McAuliffe, 1994; Parker, 1995; Eash y Sandor, 1995). Estos dos últimos horizontes se forman generalmente a partir de procesos de infiltración-precipitación que son tiempo-dependientes, por lo que los cambios en las

características de un determinado suelo van a estar dados en función del tiempo de pedogénesis transcurrido en el mismo. De igual manera, parámetros como el aclaramiento del color, cambios en pH, mayor estructuración, variación en los contenidos de nutrientes, así como la formación y profundidad de horizontes de acumulación de precipitados de yeso y sílice, constituyen otro tipo de evidencias de variaciones en el suelo debidas a mayores o menores tiempos de pedogénesis.

1.4. Vegetación

Los cambios en las propiedades edáficas mencionados repercuten en la capacidad de un suelo de mantener diferentes especies vegetales. Estudios recientes han demostrado la existencia de una asociación entre ciertas condiciones geomórfico-edáficas y los patrones de distribución y dinámica de las comunidades de plantas establecidas (McAuliffe, 1994; Parker, 1995 y Silva, 1996). Estos autores señalan que algunas especies de plantas longevas no se encuentran en suelos viejos, en los que la variación en las propiedades del suelo con el paso del tiempo, han conllevado a que estos sitios dejen de ser adecuados para su permanencia o su entrada a los mismos. En ciertos casos, las bajas densidades de algunas especies en una superficie geomórfica han sido interpretadas como el resultado del declinamiento de lo que fueron poblaciones más densas (McAuliffe, 1994; Valiente-Banuet *et al.*, 1995). De esta manera, el suelo donde cierta especie se establece, al paso del tiempo puede ser cualitativa y cuantitativamente diferente y puede resultar menos adecuado para su desarrollo, por lo que ya no sea posible el establecimiento subsecuente de individuos de su misma especie, dando como resultado su extinción local (McAuliffe, 1994; Valiente-Banuet *et al.*, 1995; Silva, 1996). Este proceso de extinción local de especies y la colonización de otras bajo las nuevas condiciones de suelo imperantes, sugieren la existencia de una dinámica en las comunidades, la cual se ve reflejada a manera de cambios en la composición florística y dominancia de las plantas en la comunidad.

Trabajos como el de McAuliffe (1991,1994) y Parker (1996) analizan diferencias fisicoquímicas a lo largo de cronosecuencias de suelos, en íntima asociación con las variaciones en las especies de plantas que las sostienen. Estos autores enfatizan que los abanicos aluviales constituyen una geoforma idónea para la realización de estudios referentes a la evolución del paisaje, ya que corresponden a geoformas recientes (Cuaternario tardío), conformadas por una diversidad de superficies de diferentes edades, características erosivas, propiedades edáficas, así como cambios en los patrones de distribución de la vegetación; y en los que a su vez, es factible encontrar cierta homogeneidad en la composición del material parental, el clima, la inclinación del terreno, el aporte de polvos, el manto freático y drenaje interno; todas ellas condiciones necesarias

para poder identificar la presencia de una cronosecuencia en el suelo, en la cual, la única variable determinante de las diferencias entre un suelo y otro es el factor tiempo (Harden *et al.*, 1991; McAuliffe, 1994; Parker, 1995).

1.5. Generalidades sobre el abanico aluvial en estudio

Se localiza al sureste del Valle de Tehuacán, al pie de la Barranca de Muchil, dentro del municipio de Coxcatlán, Puebla ($18^{\circ} 12' - 18^{\circ} 14' N$; $97^{\circ} 07' - 97^{\circ} 09' O$) cuenta con una extensión aproximada de 2.2 km de base por 3 km de longitud. De acuerdo con los criterios establecidos por Christenson y Purcell (1985), por sus características morfológicas corresponde a un abanico joven, cuya formación pudo ocurrir hace aproximadamente 10,000 a 4,000 años; localizando su origen en el Holoceno, a partir de importantes eventos de precipitación torrencial de acuerdo con lo reportado por Akin, (1991) y Hodell *et al.* (1991) para la región caribeña, en la cual se incluye el área de estudio.

Lejos de estar conformado por una superficie homogénea convexa, el abanico de Barranca Muchil muestra un escalonamiento del terreno en sentido Oeste-Este como evidencia de la tectónica local y la erosión hídrica que generalmente afecta estas unidades de paisaje con el tiempo. Es en estos desniveles del terreno que es factible observar la predominancia de ciertas especies como algunas cactáceas columnares (*Pachycereus weberi* y *Escontria chiotilla*), distribuidas de manera particular en los niveles más bajos, próximos a los arroyos; mientras que en los niveles de terreno más altos claramente predominan formas arbóreas de los géneros *Bursera*, *Fouquieria* y *Acacia*, estando prácticamente ausentes las primeras. No obstante, los desniveles a los que se hace referencia se localizan a lo largo de una franja de tan solo 100 x 740 metros, transversales al ápice del abanico, y están conformados por material procedente de un mismo evento de depósito aluvial, presentan un mismo tipo de material parental, se ubican aproximadamente a la misma distancia de la fuente de coluvión, presentan historias geológicas similares y las mismas condiciones climáticas, por lo que sus características en lo referente a la composición de sus suelos y la vegetación, se esperaría que fueran muy similares. Sin embargo, las superficies de los diferentes niveles de terreno estuvieron, al parecer, sujetas a diferencias erosivas a lo largo del tiempo, lo que explicaría que los suelos en cada uno de ellos sean distintos, reflejándose a su vez en la variabilidad de las especies vegetales encontradas.

Se estima que la superficie convexa del abanico aluvial en barranca de Muchil ha sido erosionado en el transcurso del tiempo, dando como resultado una graduación de niveles topográficos, en los que los niveles más altos corresponden a las superficies más antiguas, remanentes de un primer evento de depósito, mientras que los más bajos corresponden a las superficies más recientes, conformadas por procesos moldeadores (principalmente por

erosión). Los diferentes tiempos de estabilidad erosiva en dichos niveles, han permitido distintos tiempos de incidencia de los procesos pedogenéticos, por lo que de ser así, será factible identificar una cronosecuencia de suelos en ellos, en donde los suelos con características edáficas propias de mayores tiempos de pedogénesis, se localizarán en los niveles más altos, siguiendo una sucesión gradual de edades hacia niveles más bajos.

La distribución de comunidades vegetales sobre superficies de abanicos aluviales con diferentes edades ha sido analizada en trabajos como el de McAuliffe (1994) y Parker (1995), en donde se muestra que los procesos que delimitan la distribución y abundancia de las plantas en zonas áridas están fuertemente relacionados con la evolución de los suelos y las geformas. El desarrollo de las comunidades vegetales y su distribución dependen de condiciones particulares de porosidad del suelo, penetrabilidad de raíces, retención de agua y cantidad de materia orgánica, entre otras (Rending y Taylor, 1989; Siebe, Jahn y Stahr, 1995), por lo que al ocurrir la transformación de los suelos con el paso del tiempo, las anteriores características se modifican y por consiguiente, las especies vegetales experimentan restricciones para su desarrollo, resultando en la extinción local de algunas especies y el surgimiento de otras; modificándose con ello la composición florística y dominancia de especies en la comunidad.

2. HIPOTESIS

Las diferencias que se observan en la composición florística de las comunidades vegetales en cada uno de los niveles topográficos en el abanico de barranca Muchil, pueden ser reflejo del proceso de diferenciación local de la vegetación a partir de cambios en las propiedades fisico-químicas de los suelos conforme éstos evolucionan. De ser así, se esperaría encontrar una secuencia de suelos de diferentes edades (cronosecuencia), asociados a los distintos niveles topográficos presentes y a su vez, cada nivel estará representado por una comunidad vegetal con cierta composición florística y características particulares de dominancia de sus especies integrantes.

La identificación de patrones de distribución y dinámica de las comunidades vegetales a lo largo de una cronosecuencia, permitirá inferir los procesos de la dinámica vegetacional, con lo que será factible suponer la secuencia de eventos que han llevado a la evolución del paisaje en el abanico de la Barranca de Muchil a lo largo del tiempo.

3. OBJETIVO GENERAL

El propósito de este estudio es analizar la relación existente entre la distribución y composición de las comunidades vegetales con respecto a la evolución del suelo y la geomorfología del abanico, con el fin de inferir la evolución del paisaje en el mismo, como un proceso que integra la evolución del relieve, el suelo y la vegetación en el tiempo.

3.1 Objetivos Particulares

- a) Analizar la conformación actual de la superficie del abanico y su posible historia de formación y evolución, con base en el estudio de la geomorfología, antecedentes paleoclimáticos y la topografía del mismo.
- b) Determinar la existencia de una cronosecuencia edáfica asociada con los cambios en la superficie del abanico, mediante el levantamiento de una sección topográfica y el análisis de la composición y características de los suelos en cada uno de los niveles topográficos presentes; con particular énfasis en los estadios de desarrollo morfogenético de los carbonatos y las variaciones en la proporción de arcillas como parámetros indicadores de la edad relativa del suelo.
- c) Analizar la distribución de las comunidades vegetales asentadas en cada nivel topográfico, con base en el estudio de las variaciones en la composición, dominancia y distribución de especies por nivel.
- d) Establecer las posibles correlaciones entre los aspectos geomorfológicos y el suelo con la discontinuidad de la distribución de las especies vegetales, con base en la comparación de los resultados de este estudio y aquellos encontrados por otros autores en estudios similares.
- e) Discutir la posible secuencia de escenarios en la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la barranca de Muchil, con base en algunas especies indicadoras y los resultados de este estudio.

4. ANTECEDENTES

4.1 Formación de abanicos aluviales

No todos los arroyos desembocan en el mar o en algún cuerpo de agua. Algunos son corrientes eventuales de gran intensidad que arrastran materiales detríticos mal clasificados por el cauce de una corriente de montaña, hasta un punto de fractura o modificación abrupta de la topografía del terreno, llegando a una zona plana. A partir de este punto el material es proyectado hacia la planicie, dando el aspecto característico de cono invertido con que cuentan los abanicos aluviales (Blissenbach, 1954; Dumass, 1967; Plummer y McGeary, 1993; Blair y McPherson, 1994; McAuliffe, 1994; Parker, 1995); (figura 1).

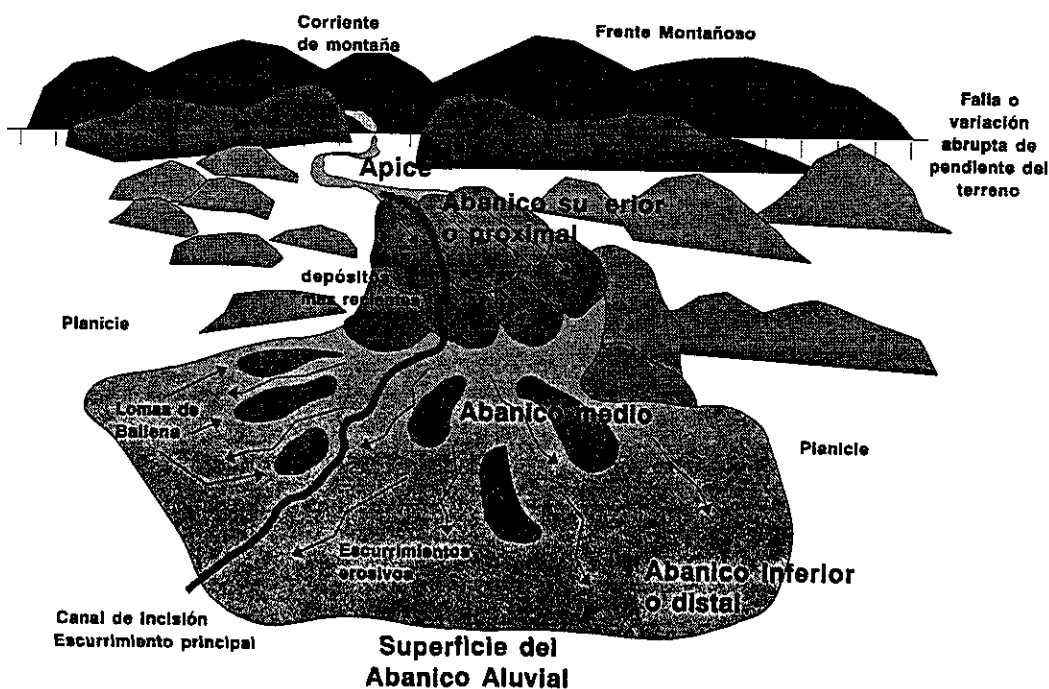


Figura 1.- Esquema general de un abanico aluvial.

En el proceso de formación de los abanicos aluviales intervienen varias formas de depositación de material (caída de rocas, deslizamientos y avalanchas, deslizamientos coluviales, flujo de derrubios y "sheetflood") (Blair y McPherson, 1994). De los anteriores, el más violento de los procesos, el de mayor impacto y el menos frecuente es el denominado "Debris Flow" o flujo de derrubios (Galloway y Hobday, 1983; Blair y

McPherson, 1994), en el que una cantidad extraordinaria de material rocoso, lodo y agua es depositada de forma expandida sobre alguna planicie o un abanico preexistente. En este proceso se vierten de manera violenta, depósitos angulosos y mal clasificados, dando como resultado la forma primaria del abanico (Dumas, 1967). Un segundo proceso es el denominado "*Sheetflood*", el cual sigue en intensidad al anterior, con la diferencia de que su salida no es tan violenta y deposita una menor cantidad de material (Blissenbach, 1954; Galloway y Hobday, 1983; Blair y McPherson, 1994).

A partir de cualquiera de los anteriores procesos intervienen otros procesos secundarios como el flujo superficial laminar, la erosión eólica, el intemperismo de sedimentos, entre otros; que constituyen un continuo aporte de material y de agua (Blissenbach, 1954; Blair y McPherson, 1994). A éstos se les considera como procesos secundarios, ya que su papel principal no es la formación del abanico, sino su conformación final y su erosión, ya que remobilizan sedimentos previamente depositados, provocando la erosión del abanico. Estos depósitos se aprecian como un horizonte delgado de clastos y suelo sobre la superficie aluvial (Galloway y Hobday, 1983; Blair y McPherson, 1994).

La alternancia de procesos con diferentes intensidades de formación de un abanico a lo largo del tiempo tiene como resultado la sobreposición de derrubios de diversos grosores, de acuerdo con el tipo de proceso de formación del que se trate; siendo los derrubios de mayor tamaño los que son aportados por el proceso de tipo "*Debris Flow*" y los de menor tamaño los depositados por el proceso de "*Sheetflood*", el cual incluso es el responsable de la formación de las franjas de arena en la porción distal de los abanicos aluviales (Blair y McPherson, 1994). Así, fuertes eventos de depositación entierran material más fino de un evento previo, con material más grueso, e incluso quedan atrapados vestigios de suelos anteriores entre capas de derrubios, originando cierto grado de estratificación entre diferentes series de abanicos (Dumas, 1967; Parker, 1995). No obstante, al momento de su depositación, los derrubios no se encuentran clasificados por tamaño o forma como ocurre en sistemas fluviales, por lo que una característica particular de los abanicos aluviales, es que el material depositado por el proceso de "*Debris Flow*" no se encuentre estratificado.

Los factores climáticos como la precipitación, la temperatura y el viento juegan un papel muy importante en la conformación de unidades geomórficas dentro de un paisaje

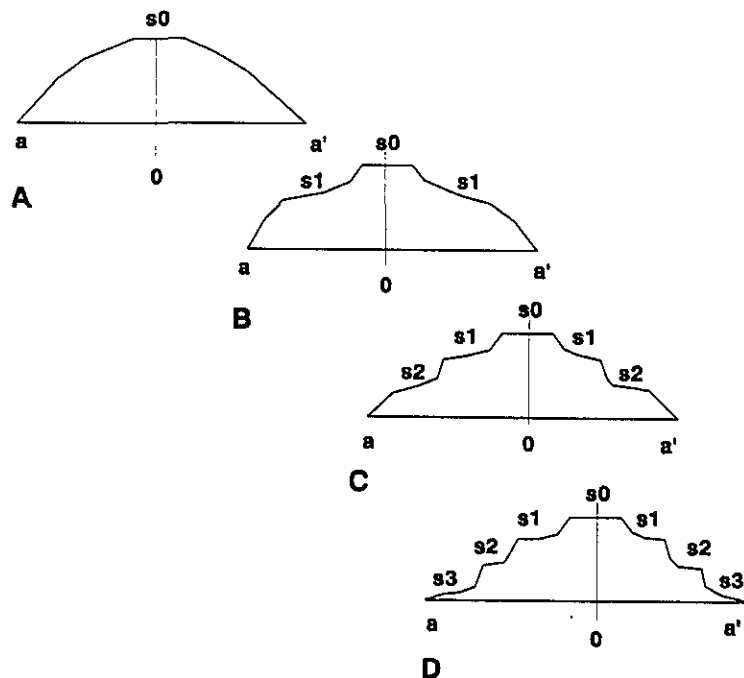
determinado. Particularmente durante el Holoceno se registraron fuertes cambios climáticos, por lo que el papel morfogenético que jugaron éstos en diferentes zonas del mundo fue de gran relevancia (Lusting, 1965; Melton, 1965; Starkel, 1968; Mannion, 1991; Akin, 1991). La formación de abanicos aluviales no está asociada con una condición climática única; Tricart, Raynal y Besaçon (1972) señalan que su formación en Norteamérica durante el Holoceno ocurrió a partir de una combinación de condiciones climato-litológicas y que por lo tanto, estas geoformas se han originado tanto bajo condiciones climáticas áridas y secas con materiales de texturas limosas y limoarcillosas, como en climas fríos, a partir de texturas arcillosas y arcillo-arenosas. Ambos tipos de climas se registraron en la transición del Pleistoceno al Holoceno; transición durante la cual, de acuerdo con Hodell *et al.* (1991), el clima varió abruptamente de seco a muy lluvioso en la región de los trópicos. A esta situación climática, y en particular, al aumento en la pluviosidad durante el inicio del Holoceno, se atribuye la formación de una gran cantidad de abanicos aluviales en Norteamérica, dentro de los que se incluyen probablemente los abanicos de la región de Coxcatlán, Puebla.

Los abanicos aluviales presentan una sección radial convexa con una clara correlación entre el grosor del material depositado y la distancia al ápice (Blissenbach, 1954). Blair y McPherson (1994) reconocen tres zonas principales en la superficie de los abanicos aluviales: 1) *abanico superior* en la porción más estrecha, inmediata al cañón que le dió origen y compuesta por material más grueso; 2) *abanico medio*, a la porción intermedia del material depositado y compuesto por material mediano y 3) *abanico inferior* a la porción más distal, compuesta usualmente por la depositación y acarreo de materiales finos (Figura 1). No obstante, McAuliffe (1994) señala que este modelo de distribución en un gradiente de materiales depositados es una sobre-simplificación de la complejidad espacial existente en la geomorfología, suelos y distribución de especies vegetales.

El material coluvial es susceptible de sufrir afectaciones por erosión hídrica y en menor escala eólica. El agua dispersa y expande el material depositado para dar una distribución característica de sedimentos más gruesos y masivos (gravas y bloques) hacia las partes cercanas a la desembocadura de la corriente de montaña, y sedimentos más finos (arenas, arcillas y limos) hacia las partes más distales del abanico (Blissenbach, 1954; Dumas, 1967; Plummer y McGearry, 1993; Blair y McPherson, 1994; McAuliffe,

1994; Parker, 1995). Esta erosión es diferencial, es decir, no se erosiona toda la superficie del material depositado, sino aquellas partes que presentan materiales más ligeros y aquellos puntos por donde la topografía permite la esorrentía del agua. Como resultado de esa erosión, se pierde la topografía convexa original del depósito y quedan superficies remanentes por encima de las erosionadas, con una forma ovalada característica en los abanicos aluviales. Estas superficies remanentes han sido denominadas “espaldas de ballenas” (McAuliffe, 1994) y es en algunas de estas estructuras remanentes o “erosional remnants” donde se pueden encontrar los suelos más antiguos en un abanico aluvial (McAuliffe, 1994; Parker, 1995).

Generalmente, la erosión de la superficie convexa de un abanico ocurre en diferentes tiempos, para lo que autores como Klein (1985) reportan que el papel que juega la erosión hídrica es de gran relevancia, ya que el flujo del agua eventualmente le proporciona una configuración escalonada a la superficie del abanico. Las superficies más jóvenes generalmente se localizan en las márgenes de los escurrimientos (ríos, arroyos), mientras que las superficies más antiguas se localizan en elevaciones mayores, siguiendo una sucesión gradual de edades (Eash y Sandor, 1995) (Figura 2).



Donde:

s_i = Superficie al tiempo i .

a - a' = Sección transversal de un abanico aluvial.

A,B,C,D = Erosión gradual de la superficie de un abanico aluvial.

Figura 2.- Formas originadas a partir de la erosión de una superficie convexa.

Modificado de Klein (1985)

Por ser eventos torrenciales y esporádicos los que originan los abanicos, existen considerables períodos en donde, dependiendo de las condiciones climáticas y del origen del material parental, ocurren procesos pedogenéticos y erosivos para formar suelos (Tricart, Raynal y Besaçon, 1972; Galloway y Hobday, 1983; McAuliffe, 1994; Parker, 1995).

Bajo este modelo, las formaciones más antiguas quedan expuestas a los procesos pedogenéticos por mayor tiempo (Blissenbach, 1954; Dumas, 1967; Galloway y Hobday, 1983; Klein, 1985; Plummer y McGear, 1993; Blair y McPherson, 1994; McAuliffe, 1994; Parker, 1995). Es decir, al suspenderse el proceso de depósito torrencial de material, la superficie del abanico permanece en "reposo" por ciertos lapsos de tiempo, se intemperiza el material parental y se depositan otros sedimentos acarreados por el viento para dar origen a los diferentes horizontes que conformarán el suelo. En la mayoría de los casos, el tamaño y la forma de las áreas que son afectadas por los procesos erosivos, van a determinar la topografía resultante, las características del suelo formado y por ende, las características del abanico; de ahí que los abanicos aluviales resultan ser escenarios adecuados para el estudio de la distribución espacial de los suelos y la respuesta asociada en la vegetación que se desarrolla sobre éstos (McAuliffe, 1994; Parker, 1995).

4.2 Suelos

Un rasgo particular de los materiales sedimentarios es su sobreposición. A partir de ello resulta factible identificar las edades de los depósitos aluviales refiriendo el tiempo de depositación de unos lóbulos del abanico con respecto a otros y el tiempo de formación de unos suelos con respecto a otros. De esta manera, los suelos pueden ser fechados de forma relativa bajo la idea de que en ambientes áridos, los procesos dominantes son los de depositación y por lo tanto existe la sobreposición de suelos más jóvenes sobre suelos más viejos (McAuliffe, 1994), siendo generalmente los segundos, los más estructurados, y de texturas más finas que los primeros. Es decir, además de la sobreposición de sus estratos, es factible estimar la edad relativa del suelo a partir del análisis de algunas características edáficas, cuya evolución es progresiva en el tiempo, independientemente de la influencia de factores externos. Las características que mayormente son utilizadas con este propósito corresponden a los cambios texturales y a la formación de horizontes carbonatados. De acuerdo con lo anterior, la edad relativa de una serie de suelos puede

ser estimada mediante el análisis de parámetros como las variaciones en la proporción de sus contenidos de arcillas, que de manera característica se acumulan formando horizontes cámbicos, con textura y permeabilidad particulares, o bien, horizontes cálcicos y petrocálcicos (con depósitos de carbonato de calcio o "caliche") (Machette, 1985) y que son propios de suelos antiguos en zonas áridas (Machette, 1985; Harden *et al.* 1991; McAuliffe, 1994; Parker, 1995).

Asimismo, junto con los parámetros edáficos anteriores, el análisis de cambios en color (aclaramiento), aumento en pH (alcalinización por carbonatos), mayor grado de agregación, variación en los contenidos de nutrientes, así como la acumulación de precipitados de yeso y sílice, constituyen evidencias adicionales sobre los mayores o menores tiempos de formación de suelos (Machette, 1985; Harden *et al.* 1991; McAuliffe, 1994; Parker, 1995).

Los suelos en zonas áridas son generalmente de textura gruesa, además de ser suelos con bajo contenido de materia orgánica (Claridge y Campbell, 1982). El rasgo de mayor relevancia en este tipo de suelos es la presencia de capas de acumulación de carbonato de calcio, yeso, cloruro de sodio u otras sales, con base en las cuales se define el suelo como cálcico, gypico, sálico, nátrico, etc... Estas capas se originan a partir de los procesos de infiltración-precipitación e intemperismo *in situ* que son generalmente tiempo-dependientes, por lo que los cambios en las características de un suelo van a estar dados en función del tiempo de pedogénesis transcurrido en el mismo; es decir, en función de la "edad" del suelo. Asimismo, el grado de desarrollo de un suelo depende de varios factores y procesos, tales como el clima, la vegetación, la fauna, la inclinación del terreno, el aporte de polvos, la mineralogía del material parental, entre otros (Birkeland, 1984).

El factor tiempo integra la duración de varios de estos procesos en la formación del suelo, por ello, muchos estudios analizan el desarrollo de los suelos utilizando *cronosecuencias* (Harden *et al.* 1991; McAuliffe, 1994; Parker, 1995; Eash y Sandor, 1995). La clave en los estudios de cronosecuencias es el término de "*relativo a diferencias en edad*", es decir, existen ciertos elementos cuya evolución es progresiva en el tiempo.

La influencia del tiempo en el desarrollo de los suelos puede ser adecuadamente examinada a través de las cronosecuencias sobre geoformas de diferente edad, en las

que las variables como el material parental, la pendiente, el manto freático, drenaje interno y clima, son considerablemente uniformes (Harden, 1991; Odeh, McBrathney y Chittleborough, 1994). Los cambios de clima son muy importantes a lo largo del tiempo geológico, ya que generalmente son ellos los que inducen el desarrollo de horizontes argílicos, cálcicos u otros horizontes diagnósticos, que permiten establecer la cronosecuencia (Eash y Sandor, 1995). De acuerdo con lo anterior, en zonas con climas áridos y semiáridos, el desarrollo del suelo se caracteriza de manera más apropiada por cambios pronunciados tiempo-dependientes en: la reducción del tamaño de las partículas hacia texturas más arcillosas, cambios en color, aumento en plasticidad y adherencia, translocación y acumulación de precipitados (calcio, yeso, etc.), reemplazo de silicatos por carbonatos, disminución en la porosidad y la formación de arcillas ricas en carbonatos y magnesio, y particularmente en la formación de horizontes cálcicos y petrocálcicos (Harden *et al.* 1991; Eash y Sandor, 1995).

La reducción del tamaño de las partículas hacia texturas más arcillosas se relaciona directamente con cuatro mecanismos: 1) arcillas heredadas del propio material parental, 2) el aporte de arcillas de zonas inmediatas, 3) la traslocación de arcillas superficiales hacia capas inferiores, hasta llegar a un punto donde ocurre una re-depositación (proceso de iluviación de arcillas), el cual es predominante en climas húmedos; o bien 4) la intemperización "*in situ*" del material parental dando como consecuencia la formación de un horizonte cámbico mediante el proceso de neoformación de arcillas.

Asimismo, en suelos de zonas áridas predomina la depositación de precipitados de sales de calcio, yeso, magnesio, etc... (Zaidenberg, 1982; Claridge y Campbell, 1982; McAuliffe, 1994; Parker, 1995). La formación y acumulación de sales solubles es común en suelos donde la evaporación excede la precipitación, formando horizontes cálcicos, gypsicos, cloruro de sodio, sulfato de sodio, nitrato de sodio, entre otras sales. La formación de horizontes de sales se lleva a cabo a partir de su precipitación y concentración, depositándose primero las sales menos solubles en agua, y al final, aquellas que son altamente solubles; por ello, el carbonato de calcio está entre las primeras en precipitarse, seguida del yeso, el sulfato de sodio y los cloruros, por lo que la composición de sales solubles en suelos áridos puede ser muy compleja (Claridge y Campbell, 1982).

4.2.1. Carbonatación de suelos con referencia a su edad.

La acumulación de carbonatos en suelos de zonas áridas ha sido atribuída a diferentes fuentes que pueden o no actuar en combinación unas de otras (Machette, 1985). Estas posibles fuentes son: a) movimiento capilar ascendente de agua con carbonatos de calcio; b) intemperización química por hidrólisis *in situ* de Ca^{++} a partir de rocas ricas en Ca^{++} ; c) flujo lateral de agua freática carbonatada y d) precipitación sobre la superficie del suelo de polvos ricos en carbonatos de calcio procedentes de formaciones calcáreas cercanas, así como de carbonatos de calcio disueltos en agua de lluvia y su posterior infiltración hasta un punto de precipitación y formación de horizontes carbonatados (Machette, 1985; Monger, Daugherty y Gile, 1991; Eash y Sandor, 1995). En este último proceso, la fuente de calcita es el calcio disuelto en agua de lluvia y el polvo sobre la superficie del suelo, teniendo como resultado que con cada gota de lluvia, la calcita se disuelve y penetra al suelo, precipitándose conforme el agua se evapora o es absorbida por las raíces de las plantas. Las partículas más finas de carbonatos son translocadas lentamente a capas del suelo inferiores donde tienden a depositarse (Blümel, 1982; Birkeland, 1984; Buckman y Brady, 1993). Esto es un proceso tiempo-dependiente, por lo que los horizontes con concentraciones de carbonatos progresivamente más complejas se presentan en las geoformas más antiguas.

De acuerdo con Machette (1985), Harden *et al.* (1991) y Monger, Daugherty y Gile (1991), la precipitación de carbonato de calcio en los suelos se origina mediante una serie de procesos graduales, cuya sucesión es independiente de las condiciones climáticas y edáficas predominantes, siendo el principal factor causal, el tiempo. En una progresión de suelos más jóvenes a suelos más viejos, Machette, (1985) ha identificado seis fases o estadios de carbonatación, mientras que Harden y Monger, Daugherty y Gile (1991) redujeron dichas fases a solo 4 estadios de desarrollo de los carbonatos de acuerdo con el tiempo transcurrido (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1.- Estadios de Carbonatación (según Machette, 1985)

ESTADIOS	CONTENIDO GRAVAS	CARACTERÍSTICAS MORFOLOGICAS	% CaCO ₃
HORIZONTES CÁLCICOS			
Estadio I	Alto	Cubierta de CaCO ₃ delgada y discontinua bajo clastos.	<2%
	Bajo	Algunos filamentos y cubierta de CaCO ₃ .	<2%
Estadio II	Alto	Cubierta de CaCO ₃ continua y abundante alrededor de clastos, de gruesa a delgada. Inicia formación de una matriz de carbonato.	2 - 10%
	Bajo	Nódulos abundantes, suaves de 0.5 a 4.0 cm de diámetro, inicia formación de una matriz de carbonato.	4 - 20%
Estadio III	Alto	Acumulación masiva de carbonato entre los clastos que se vuelve cementada en las formas más avanzadas. Matriz esencialmente continua de carbonatos, horizonte petrocálcico en formación.	10 - 25%
	Bajo	Muchos nódulos fusionados, la matriz está firme a moderadamente cementada, horizonte petrocálcico en formación.	20 - 60%
HORIZONTES PETROCÁLCICOS			
Estadio IV	Alto	Láminas delgadas (<0.2 cm) a moderadamente gruesas (1 cm) en la porción superficial del horizonte petrocálcico.	>25%
	Bajo	Horizonte petrocálcico de 0.5 a 1m de espesor. Láminas delgadas cubren superficies falladas.	>60%
Estadio V	Alto Bajo	Gruesas láminas (> 1cm) y pisolitas delgadas a gruesas. Las caras verticales y fracturas están cubiertas con láminas de carbonato. Horizonte petrocálcico de 1 a 2 m de espesor.	
Estadio VI	Alto	Generación de láminas múltiples, breccia y pisolitas recementadas, superficies endurecidas. Horizonte petrocálcico de más de 2 m de espesor.	>75%
	Bajo		>75%

Cuadro 2.- Estadios de Carbonatación (según Harden et al. 1991 y Monger, Daugherty y Gile, 1991)

ESTADÍO	PRINCIPAL RASGO	CARACTERÍSTICAS MORFOLOGICAS
Estadio I	Filamentos y Revestimiento	Cristales de calcita en raíces y poros impregnados de calcita, capa delgada de carbonato distribuida de manera discontinua bajo los clastos.
Estadio II	Nódulos	Gránulos embebidos en una matriz de micrita más o menos densa, lo que define la dureza del nódulo. Capa de carbonato continua alrededor de los clastos, pero en una matriz poco consolidada.
Estadio III	Rellenos internodulares	Los espacios vacíos del suelo han sido rellenos por calcita y micrita poco consolidada, los clastos presentan una cubierta continua de carbonatos en una matriz bien consolidada.
Estadio IV	Horizonte claramente petrocálcico sellado	Este horizonte impermeable está formado por gránulos de material embebidos en una matriz densa de micrita y filamentos fúngicos calcificados. Se le denomina microcodium, que corresponde a gránulos de material compactados entre laminaciones de micrita pura y calcita. Conforman capas de diferente espesor de precipitado de carbonato.

El avance de los estadios morfológicos anteriormente descritos para la depositación de calcita se relaciona con la progresión del desarrollo de los suelos, más que con condiciones climatológicas pasadas o fluctuaciones climáticas actuales, ya que los precipitados de una fase más avanzada están conformados por los precipitados de una fase anterior. Es decir, el estadio III no pudo haberse formado solamente como producto del clima o de los procesos pedogenéticos, sin haber presentado primeramente los estadios I y II. Asimismo, la densidad de cobertura de carbonatos sobre los clastos se incrementa con el tiempo, por lo que el análisis comparativo de los suelos a la luz de este tipo de fechamientos relativos, permite identificar la presencia de cronosecuencias edáficas.

Un rasgo que debe tomarse en consideración en la realización de estudios de suelos carbonatados a partir de cronosecuencias edáficas, es el hecho de que la concentración de carbonatos suele ser elevada en el piedemonte de cerros o montañas inmediatas (ricas en carbonatos), ya que dicha geoforma se convierte en un punto de acumulación de los carbonatos aportados por el aire y aquellos que son deslavados de la zona montañosa (Rabenhorst, West y Wilding, 1991). Por tanto, el piedemonte inmediato a los abanicos debe ser claramente diferenciado del material coluvial y no considerarlo dentro de la evaluación de una cronosecuencia en estas geoformas.

4.2.2. Modificación de la textura en suelos con referencia a su edad.

Al igual que los carbonatos, las variaciones en la proporción de arcillas dentro del suelo para formar horizontes argílicos o cámbicos, son indicio de un mayor o menor tiempo de desarrollo del mismo (Nettleton, Brasher y Baird, 1991; Harden *et al.* 1991; Monger, Daugherty y Gile, 1991; Rabenhorst, Wet y Wilding, 1991; Mason, Milfred y Nater, 1994; Eash y Sandor, 1995). Bajo las condiciones de poca humedad predominantes en zonas áridas y ante la presencia de carbonatos de calcio en el suelo, no es factible la formación de horizontes argílicos (Bt), ya que los carbonatos inhiben la dispersión de las arcillas; motivo de ello, en este tipo de ambientes es más factible la formación de horizontes cámbicos (Bw), aunque también este proceso es relativamente lento (dadas las bajas concentraciones de iones H⁺ en solución a pH neutro, amortiguada por la presencia de carbonatos). Estos horizontes Bw se forman mediante el proceso de neoformación de arcillas *in situ*, a partir de una intemperización gradual del material

parental, dando como resultado una mayor acumulación tiempo-dependiente de arcilla en horizontes intermedios del suelo. Estos horizontes presentan un color más rojizo y presencia de mayor estructura en comparación con el horizonte subyacente, lo que permite su identificación (Siebe, Jahn y Stahr, 1996).

De acuerdo con Claridge y Campbell (1982), Machette (1985) y Harden *et al.* (1991), en zonas áridas, las superficies más jóvenes presentan suelos con un horizonte carbonatado y un horizonte cámbico poco desarrollado o incipiente, mientras que las superficies más viejas, tienen múltiples horizontes cálcicos u horizontes petrocálcicos bien desarrollados, así como cámbicos. Esto es debido a que los horizontes cálcicos presentes en la mayoría de los suelos en zonas áridas, se forman relativamente rápido, en un período de 4,000 a 12,000 años, dependiendo de los contenidos carbónicos del material parental y el polvo de carbonato en el aire (Claridge y Campbell, 1982; Harden *et al.* 1991); sin embargo, para la formación de un horizonte cámbico se requieren tiempos de pedogénesis más prolongados.

4.3. Vegetación

El papel de la climatología no se resume a la configuración geomorfológica de unidades. El clima y los cambios climáticos son un factor significativo para encausar los procesos ecológicos, ya que diversos estudios paleoecológicos han documentado la influencia de cambios unidireccionales en el desarrollo de suelos asociados al clima, así como fluctuaciones en la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo; dando como resultado variaciones en la vegetación observada en un sitio determinado (Delcourt y Delcourt, 1991). El clima regula los regímenes de disturbio, que de acuerdo con diversos trabajos (Connell y Slatyer, 1977; Chadwick, 1980; Denslow, 1985; Rykiel, 1985; Robinson y Dickerson, 1987; Pickett *et al.* 1989), determinan los sitios donde se establece, persiste y/o es reemplazada una comunidad vegetal en un paisaje, resultando, conforme van variando las condiciones ambientales, en una sucesión de comunidades vegetales (Connell y Slatyer, 1977; Chadwick, 1980; Sousa, 1984; Martínez-Ramos, 1994).

Las zonas áridas constituyen un sistema terrestre que se caracteriza por contener una diversidad de especies vegetales con longevidades que pueden medirse de cientos a miles de años (Shreve, 1929; Silva, 1966); tiempo que desde el punto de vista ecológico (denominado tiempo fisiológico; Stamu *et al.* 1992), llevó a diversos autores en el pasado

(Clements, 1916; Shreve, 1942; Engler, 1954; Pianka, 1978) a considerar erróneamente a estos ambientes como comunidades "Climax", en las que el reemplazamiento de unas especies por otras (proceso de sucesión de comunidades), había alcanzado un estado terminal. Sin embargo, trabajos recientes (Valiente-Banuet, 1992; McAuliffe, 1994; Parker, 1995; Silva, 1996) han demostrado que las unidades del paisaje en zonas áridas, distan de ser entidades estáticas; las geoformas que las componen, los suelos y las comunidades vegetales que sobre éstos se desarrollan, son producto de diferentes eventos de tectónica, depositación y erosión a lo largo del tiempo geológico, mismos que dan como resultado un mosaico de condiciones crono-topo-edáficas, en las que es factible identificar procesos de dinámica en la vegetación, fuertemente relacionados con la evolución de los suelos y de las geoformas del paisaje.

4.3.1. Patrones de Distribución y Dinámica de Comunidades a lo largo de Cronosecuencias.

La edad de las geoformas y el tiempo de estabilidad de éstas, afectan la estructura de poblaciones longevas (McAuliffe, 1994; Valiente-Banuet, *et al.* 1995; Silva, 1996), como pueden ser varias de las especies de cactáceas columnares y latifoliadas que se distribuyen ampliamente en las zonas áridas de nuestro país. Con el transcurso del tiempo, las propiedades de los suelos donde se asientan llegan a presentar cambios en sus características físicas y químicas, que hacen que los mismos suelos, sean cada vez menos adecuados para la supervivencia y reclutamiento de ciertas especies vegetales, que en tiempos anteriores colonizaran por primera vez dicho espacio. El desarrollo de las comunidades vegetales y su distribución obedece a requerimientos particulares de porosidad del suelo, penetrabilidad de raíces, retención de agua, estabilidad de agregados y cantidad de materia orgánica, entre otras (Rending y Taylor, 1989; McAuliffe, 1994; Siebe, Jahn y Stahr, 1995; Parker, 1996). Conforme ocurre la transformación de los suelos, se modifican las anteriores características y las especies empiezan a experimentar restricciones para el establecimiento de nuevos individuos, desencadenando una reducción en las tasas de crecimiento poblacional, que puede ocasionar la eventual extinción local de la especie (McAuliffe, 1991; Silva, 1996).

Los cambios en el suelo pueden influenciar directamente a las poblaciones de plantas de acuerdo con sus niveles de tolerancia y requerimientos particulares,

haciéndolas permanecer por largos períodos de tiempo o bien, promoviendo eventualmente su desaparición, al ser incapaces de tolerar las nuevas condiciones impuestas (Barber y Silverbush, 1984; Silva, 1996). Las plantas más longevas no se observan en suelos antiguos en comunidades de zonas áridas (McAuliffe, 1994; Silva, 1996) debido a que las condiciones edáficas, ya no resultan ser adecuadas para su subsistencia (con el paso del tiempo ha aumentado la concentración de arcillas o la formación de caliche, tornándose el suelo inhabitable para ellas). Así, el suelo donde una especie se establece, puede ser cuantitativa y cualitativamente diferente al pasar el tiempo, resultando ser menos adecuado para su subsistencia que el suelo original, por lo que ya no le será posible el establecimiento de nuevos individuos de su misma especie y por consiguiente, la especie podría ser desplazada por otra y extinguirse localmente. Este proceso de extinción local de especies (McAuliffe, 1995; Valiente-Banuet *et al.* 1995; Silva, 1996) y colonización de otras bajo las nuevas condiciones de suelo imperantes, caracteriza el proceso de la sucesión ecológica en la evolución de un paisaje (Connell y Slatyer, 1977; Chadwick, 1980; Martínez-Ramos, 1985 y 1994; Sousa, 1984; Lewin, Peet y Veblen, 1992).

Trabajos sobre las interacciones suelo-planta (Barber y Silverbush, 1984; Rending y Taylor, 1989), manifiestan que dichas interacciones incluyen relaciones de suma importancia para entender la distribución de las especies en cualquier tipo de ambientes, ya que es a partir de esta interacción que se dá el desplazamiento de unas especies por otras. En el caso de las cactáceas, su distribución en zonas áridas varía de acuerdo con las propiedades de los suelos (McAuliffe, 1994; Parker, 1995; Valiente-Banuet *et al.* 1995; Silva, 1996), lo que determina en gran medida la distribución de las especies dentro de la comunidad.

La interacción de los procesos morfogenéticos, pedogenéticos y climáticos durante la construcción de un abanico aluvial, generan un mosaico espacial y temporal de texturas y edades de suelo (McAuliffe, 1994; Parker, 1995), en lugar de un gradiente lineal a partir del ápice, como era la concepción original de los primeros trabajos sobre el tema (Blissenbach, 1954). Es precisamente sobre este mosaico de texturas y edades de suelo, donde se presentan diferencias en la vegetación incidente, con suelos que reúnen características favorables para ciertas especies en algunos sitios y para otras especies en

5. MATERIAL Y METODO

5.1 Descripción del Area de Estudio

Hacia el norte y noroeste de la localidad de Guadalupe Victoria, Puebla, se localiza una serie de abanicos aluviales dispuestos en sentido noreste-suroeste, al pie de las barrancas de El Ciruelo, El Zapote, Honda, Azumate y Muchil, como producto de un fallamiento principal que recorre la zona en sentido NW-SE. El abanico de la barranca de Muchil (Figura 3), se localiza entre los 18° 14' y los 18° 12' de latitud norte, y los 97° 07' y 97° 09' de longitud oeste (INEGI Carta Topográfica, 1987). Presenta un ancho aproximado de 1,000 metros por 3,000 m de distancia desde el ápice a la base y corresponde al lóbulo más reciente de depositación de material aluvial que sobreyace de forma total sobre varias generaciones de abanicos previos.

Según reportes de la estación meteorológica de Coxcatlán (21-023) 18°17' y 97°09', con una altitud de 1,217 m.s.n.m., el tipo de clima en la zona es el BS₁(h')w''(w)(e)g correspondiente a climas secos o áridos, cálidos con lluvias en verano, con temperatura media anual sobre 22°C, fluctuando entre los 25°C en abril y mayo y los 18°C en enero. Su régimen de lluvias es de verano, siendo los meses de junio, julio, agosto y septiembre los de mayores valores de precipitación (promedio de 100 mm por mes), con reducción en la cantidad de lluvia en medio verano (julio y agosto) (García, E. 1973).

El abanico aluvial de Barranca Muchil se localiza dentro de la región hidrológica número 28, en la Cuenca del Papaloapan (INEGI, Carta Hidrológica, 1987), por él corren dos principales arroyos; uno de ellos sobre el canal de incisión del abanico hacia el Oeste del mismo y el otro recorre el abanico por el Este. Asimismo se presentan pequeñas escorrentías sobre la superficie del depósito coluvial y a lo largo de abundantes fallas de compensación. En virtud de que se trata de una zona árida, la mayor parte del año, los arroyos se encuentran secos, pero con un cauce que refleja el carácter torrencial de su flujo.

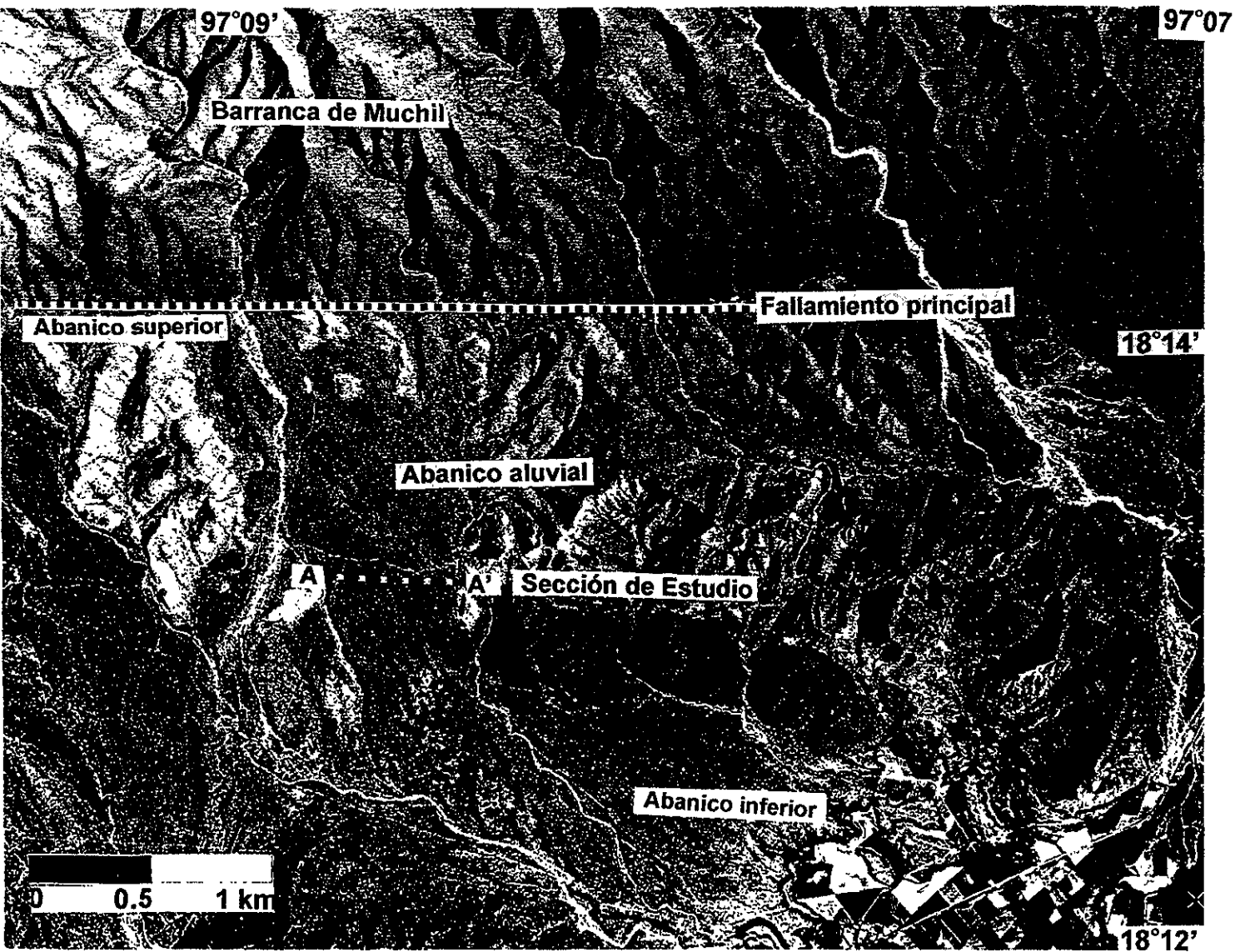
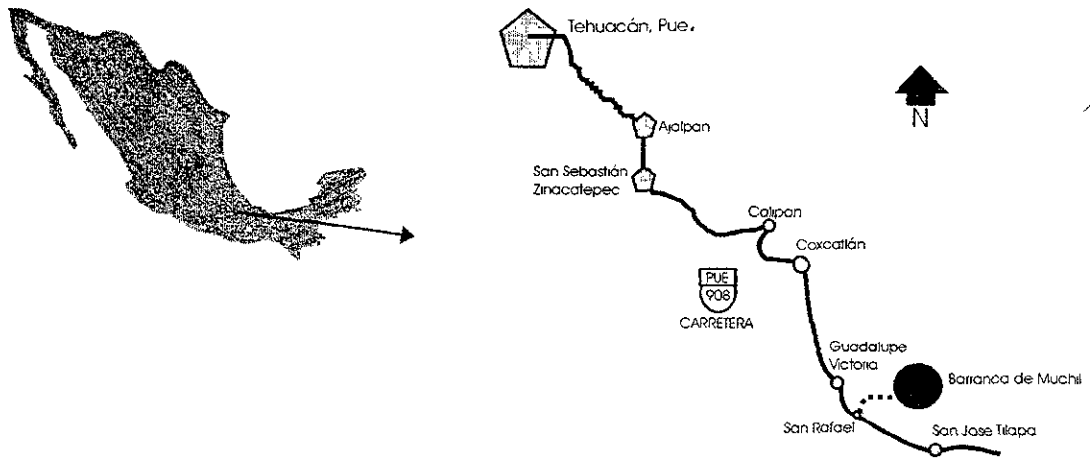


Figura 3.- Area de Estudio.

(Vuelo: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1970, esc. 1:25,000, Tehuacán-Oaxaca, Oax. 240 (6-4)).

El gradiente altitudinal en el abanico de la barranca de Muchil va de los 1,205 m.s.n.m. en el ápice, a los 1,035 m.s.n.m. hacia su parte media y los 900 m.s.n.m. en la base del mismo; sin embargo, se aprecia que lejos de estar conformado por una superficie convexa y homogénea, como sucede en los abanicos de reciente formación (Tricart, Raynal y Besançon, 1972; Christenson y Purcell, 1985; Blair y McPherson, 1994), la superficie del material depositado muestra hundimientos asociados a fallas de compensación de la falla principal antes mencionada, como producto de fenómenos neotectónicos, así como diferentes topoformas o niveles altitudinales a manera de lomas ovaladas con cimas aplanadas, denominadas por algunos autores como "espaldas de ballenas" (McAuliffe 1994) que reflejan un escalonamiento similar al reportado por Klein (1985) para este tipo de geoformas, atribuibles a procesos de erosión de la superficie del abanico en diferentes tiempos.

La superficie montañosa desde donde se abre la barranca de Muchil está conformada por areniscas y conglomerados del Terciario Inferior, perteneciente a la Formación Cuarteles (INEGI, Carta Geológica, 1984). Se presentan también rocas metamórficas (serpentinitas), que corresponden a rocas de un color verde característico y son muy abundantes en toda la zona. Por su parte, el abanico está formado por depósitos coluviales (conglomerados cuaternarios de rocas de origen continental, conformadas por calizas, areniscas, rocas ígneas y fragmentos de cuarzo y pedernal, englobados en una matriz arcillo-arenosa poco consolidada y pobremente cementada, con clastos subangulosos y subredondeados).

De acuerdo con Rzedowski (1978), el tipo de vegetación presente en el sitio es el bosque tropical caducifolio con especies como *Bursera morelensis*, *B. aptera*, *Pachycereus weberi*, *Opuntia puberula*, *Ceiba parviflora*, *Acacia cochliacantha*, entre otras.

5.2 Material y Método

5.2.1. Caracterización Geomorfológica del Abanico

Se realizó la interpretación geomorfológica de las fotografías aéreas del área de Barranca Muchil, utilizando pares de fotografías a escalas 1:70,000 y 1:25,000 en un estereoscopio de espejos. Se delimitaron unidades homogéneas en función de su textura y coloración, así como las principales escorrentías, crestas, escarpes y contactos litológicos. Se delimitó la superficie del abanico aluvial y de otros abanicos aledaños. Se identificaron las principales fallas y fallas de compensación en el área de la Barranca Muchil y con el apoyo de la carta geológica (escala 1:250,000) (INEGI, 1984), la literatura disponible (MacNeish *et al.*, 1967) y la carta topográfica (escala 1:50,000) (INEGI, 1987), se analizó e identificó la composición litológica de las principales unidades geomórficas, así como sus rasgos característicos. La información recabada en gabinete fué corroborada por medio de recorridos de campo sobre la superficie aluvial y en las montañas, "cerros" y montículos del área de estudio. Finalmente, la anterior información fué integrada para elaborar un esquema de las principales unidades geomorfológicas en el área del abanico de la barranca de Muchil.

Por otro lado, se hicieron recorridos por toda la superficie del abanico, caracterizando fisionómicamente la comunidad vegetal en diferentes puntos del mismo y las topoformas mayores que conforman la superficie aluvial. Se seleccionó como área de estudio una franja de aproximadamente 750 m largo x 100 m de ancho a la altura del abanico medio y perpendicular al ápice (denotada en la figura 3 como sección A-A'). Esta franja está conformada por 4 desniveles de terreno que muestran diferencias evidentes en la composición vegetal, pero que se localizan aproximadamente a la misma distancia de la fuente de aluvión. A lo largo de dicha franja se realizó el levantamiento y caracterización topográfica, para lo cual se seleccionó un sitio en el que se trazó una línea imaginaria perpendicular al ápice (dirección aproximada 80°) y sobre la cual se realizó el levantamiento del terreno utilizando un nivel de campo. La construcción de este nivel estuvo basada en la forma y operación de un nivel topográfico y el esquema de un nivel de campo simple reportado en la bibliografía (Bennett y Humphries, 1985). En el esquema de la figura 4 se muestra su construcción y sus criterios de operación.

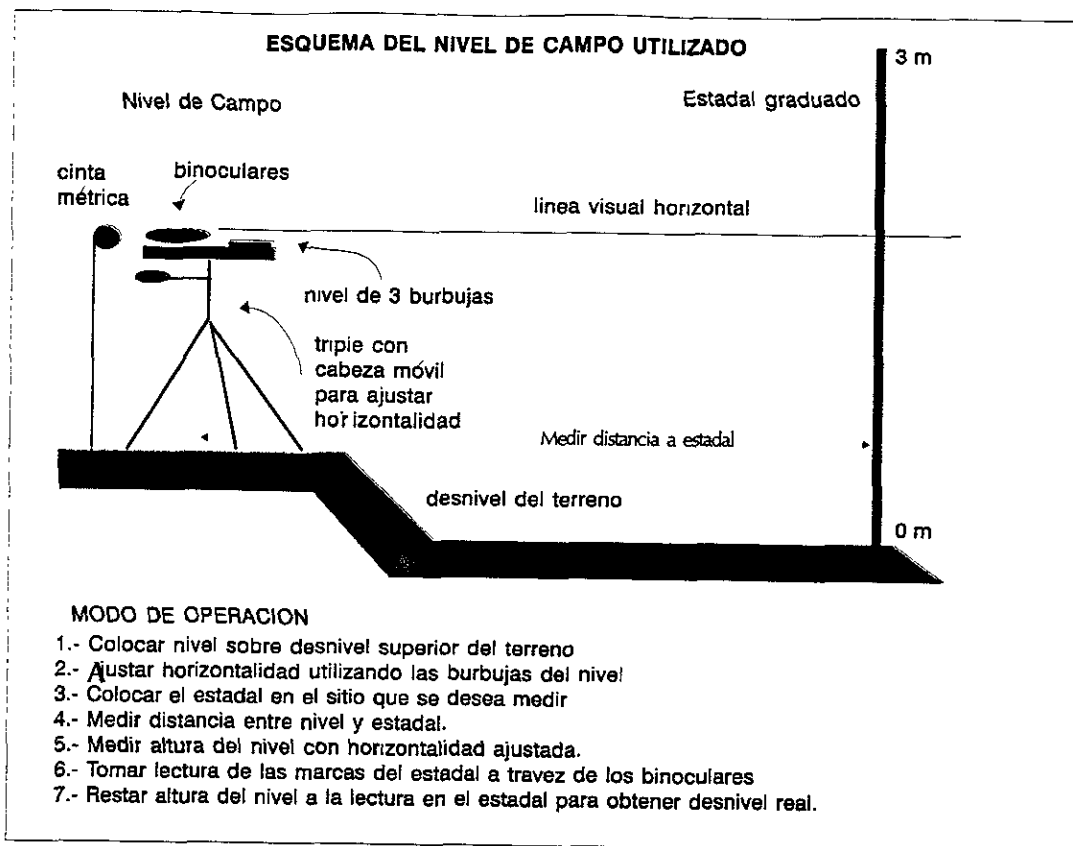


Figura 4.- Diseño y Operación del Nivel de Campo

5.2.2. Muestreo y Análisis de los Suelos en el Área de Estudio

Se realizó el levantamiento de un perfil de suelo por cada nivel topográfico establecido a lo largo de la sección transversal A-A', corroborando la información mediante la excavación de pozos de 30 cm de profundidad en diferentes puntos del nivel muestreado. Se realizaron un total de 4 perfiles de suelo, cuya descripción en campo se efectuó con base en el procedimiento establecido por Siebe, Jahn y Stahr (1996).

En la descripción de campo de cada perfil se obtuvieron valores para los siguientes parámetros: espesor y tipo de horizontes, textura, pedregosidad, color en húmedo, contenido de materia orgánica, estructura, estabilidad de agregados, densidad aparente, porosidad y distribución de raíces. El grado morfogenético de carbonatación se obtuvo mediante el análisis en campo y laboratorio de las condiciones que guarda la precipitación de carbonatos de calcio con respecto a los clastos de diferente tamaño en cada horizonte del perfil, de acuerdo con los criterios establecidos por Machette (1985), Harden *et al.*

(1991) y Monger, Daugherty y Gile, (1991). Se revisaron los horizontes en campo y las muestras de los clastos fueron analizadas bajo una lupa (10X) para identificar la formación de polvo, filamentos (hojuelas), cristales, etc. Asimismo se aplicó ácido clorhídrico (HCl) a pequeñas muestras humedecidas de suelo para determinar la intensidad y duración de la reacción, como un indicador de la cantidad de carbonato de calcio presente (Siebe, Jahn y Stahr, 1995). Las pruebas de laboratorio se realizaron para identificar las fracciones de arena, limo y arcilla de cada horizonte de suelo, el pH, así como las cantidades de nutrimentos presentes por nivel (fósforo, potasio, nitrato). La realización de los análisis anteriores se efectuó mediante los procedimientos colorimétricos establecidos por LaMotte (1985) (Anexo 1). Aunado a lo anterior, se realizó la caracterización edafo-ecológica de los suelos en cada nivel de acuerdo con el procedimiento semi-cuantitativo a partir de datos de campo establecido por Siebe, Jahn y Stahr, (1995) para estimar los siguientes parámetros:

- 1) Profundidad fisiológica,- espesor del suelo en que pueden penetrar y desarrollarse potencialmente las raíces.
- 2) Penetrabilidad de raíces,- denota las posibilidades reales que tienen las raíces de desarrollarse en un horizonte.
- 3) Porosidad y capacidad de retención de agua,- Los poros del suelo se pueden encontrar llenos de agua o aire, por lo que la retención de agua se comporta de acuerdo con las leyes de capilaridad y de adsorción a superficies fijas, de manera que entre más estrecho sea un capilar, más alto subirá el agua dentro de él y más grande será la fuerza con la que el agua será retenida, dificultando su absorción por parte de las raíces. Estas variables se caracterizan a través de:

La *Totalidad del espacio poroso (VPT)*(volumen total de poros en suelo).

La *Capacidad de aereación (CA)* (dada por los poros de más de $50 \mu\text{m}$, los que se drenan por gravedad en tiempo muy breve, conservando aire en su interior).

La *Capacidad de Campo (CC)* (el agua restante en los poros de diámetro inferior a $50 \mu\text{m}$ y que es retenida contra la gravedad por fuerzas de tensión).

y la *Cantidad de agua disponible para las plantas (dCC)* (la que pueden absorber las plantas; misma que se encuentra en poros de entre 50 y $0.2 \mu\text{m}$ de diámetro, ya que el agua almacenada en diámetros menores a $0.2 \mu\text{m}$ no puede ser absorbida por éstas).

- 4) Conductividad hidráulica bajo condiciones de saturación (Kf),- propiedad que capacita a un suelo para transmitir agua.
- 5) Coeficiente de erosionabilidad (K),- Susceptibilidad del horizonte superficial del suelo de ser afectado por el impacto de gotas de agua (erosión hídrica).
- 6) Capacidad de intercambio catiónico (CIC),- capacidad de adsorber cationes en la superficie "activa" de las arcillas, los óxidos e hidróxidos de fierro y aluminio y la materia orgánica en el suelo.
- 7) Porcentaje de saturación de bases (BI).- Porción ocupada por cationes básicos en la totalidad de los sitios de intercambio catiónico.

5.2.3. Muestreo y Análisis de la Vegetación en el Área de Estudio

Se realizaron muestreos con área para caracterizar la vegetación desde el punto de vista florístico, de la fisonomía y la dominancia de las especies. En cada unidad geomórfica se realizó un transecto de 50 m de largo x 10 m de ancho, subdividido en 5 cuadrantes de 10 x 10 metros para dar un total de 500 m² de superficie muestreada por nivel topográfico (2,000 m² en total) (figura 5).

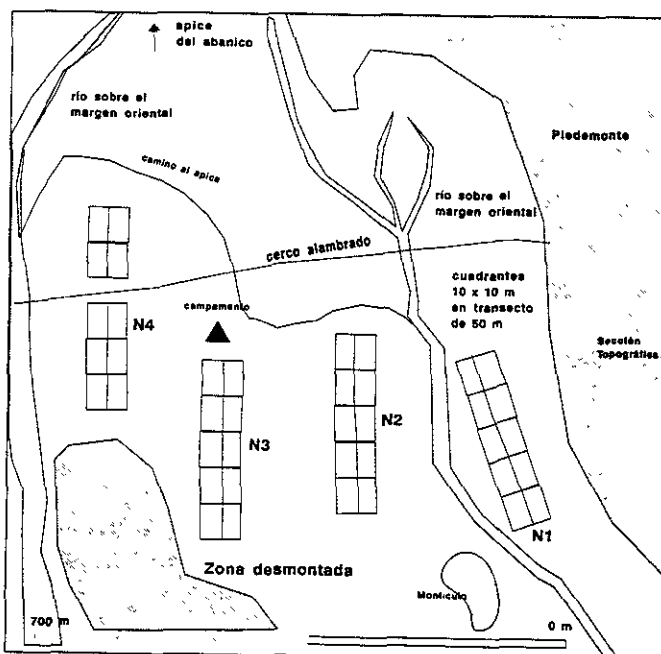


Figura 5.- Ubicación de los Transectos y Cuadrantes de Muestreo por Nivel.

Se identificaron las especies vegetales en cada cuadrante, registrando su altura y su cobertura, estimada a partir de 2 diámetros perpendiculares en el caso de hierbas y arbustos, y 2 radios perpendiculares en el caso de cactáceas columnares y árboles.

Los parámetros calculados a partir de los datos de campo registrados fueron los siguientes:

Cobertura.- Es el área total medida de la copa de las plantas. Se expresa en m² y se calculó a partir de la medición de los diámetros perpendiculares en el caso de las copas de arbustos, y de los radios perpendiculares en el caso de los árboles.

$$C = (r_1 + r_2 / 2)^2 * \pi \text{ (árboles)}, \quad C = (d_1 + d_2 / 4)^2 * \pi \text{ (arbustos)}$$

Frecuencia.- Expresada como el número de subunidades del muestreo en que apareció la especie en cuestión. Este valor se expresa en porcentaje sobre el total de unidades muestreadas.

Densidad.- Tomada como el número de individuos por unidad de área en m².

A partir de los anteriores parámetros se calculó el Índice de Dominancia (I.D.) de Especies de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{I.D. POR ESPECIE} = \text{COBERTURA (m}^2\text{)} * \text{ALTURA(m)} * \text{FRECUENCIA} * \text{DENSIDAD (ind/m}^2\text{)}$$

Se separaron las especies de acuerdo con su estrato de crecimiento, considerando como *árboles* a las plantas leñosas con un tallo principal no ramificado desde la base (exceptuando cactáceas como *Stenocereus stellatus*) y un límite de altura cuyo promedio fuera superior a 1.5 m de alto. Los *arbustos* y *hierbas* fueron considerados dentro de un mismo grupo correspondiente a plantas con tallos leñosos o herbáceos que salen del suelo de manera ramificada, tanto erguidos como rastreros, suculentos o en forma arrosetada.

Para cada una de las anteriores se obtuvo el valor del índice de dominancia. Posteriormente se graficaron los valores del I.D. para cada grupo, estableciendo aquellas que son predominantes en la comunidad para el estrato arbóreo y el arbustivo (incluyendo herbáceo).

Por medio del índice de similitud de Jaccard (Osorio *et al.*, 1996), se analizó la similitud existente entre las comunidades establecidas en cada uno de los niveles, en lo referente a su composición de especies (presencia/ausencia). El índice de Jaccard se calculó de la siguiente manera: $C_j = i / [(a+b) - i] * 100$ y considera que existe un 100% de similitud entre comunidades idénticas donde: *i*= número de especies comunes entre dos comunidades, *a*= es el número de especies de la comunidad A, *b*=número de especies de la comunidad B.

Se estudió la distribución espacial de las especies y su tendencia de agrupación mediante un análisis de Componentes Principales (Ato y López, 1994), en donde se incluyeron de forma estandarizada las variables: cobertura total, altura promedio, frecuencia y densidad de cada especie en los diferentes niveles topográficos, ya que dichas variables mostraron ser las de mayor coeficiente en la composición de los factores que acumularon la mayor cantidad de varianza.

Finalmente, mediante un Análisis de Conglomerados (Cluster) se analizó la existencia de patrones graduales en las diferencias entre la composición de especies y el índice de dominancia de cada una de ellas en los 4 niveles. Tanto para el análisis de conglomerados, como para el de componentes principales se utilizó el programa estadístico SYSTAT (Ato y López, 1994).

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización Geomorfológica del Área de Estudio (Barranca Muchil, Coxcatlán)

Las principales unidades geomórficas en el municipio de Coxcatlán, Puebla, son montañas, "cerros", montículos y abanicos aluviales (figura 6). Las montañas cubren la mayor parte de la superficie y presentan laderas asimétricas con pendientes fuertes hacia el Oeste y moderadas hacia el Este. Son geoformas fuertemente disectadas que corren de manera paralela en sentido NE-SW. Estas montañas están conformadas hacia el Noreste y Este del área de estudio por rocas metamórficas del Cretácico; rocas sedimentarias del complejo "Cuicateco", formando parte de la denominada Sierra Mazateca. Las montañas inmediatas al área de estudio están separadas por una falla normal (hacia el Oeste, Sur y Sureste), y están conformadas por asociaciones de areniscas y conglomerados del Terciario inferior, correspondientes a la Formación "Cuarteles" (Carta Geológica, INEGI, 1980), que reposan sobre el denominado "Complejo Basal" (MacNeish *et al.*, 1967), conformado por rocas metamórficas (esquistos, pizarras y areniscas con cementante calcáreo), que reflejan un proceso de metamorfismo dinámico. Las areniscas del Complejo Basal presentan incrustaciones de material volcánico, cuarzo, gneiss, mica, esquistos y mármol, las que ponen en evidencia, que dicho complejo ha sido sujeto a procesos tectónicos y volcánicos tan complejos que pese a que se infiere un origen marino de las rocas que lo componen, el material ha sido deformado y transformado a tal grado que resulta imposible interpretar su historia (MacNeish *et al.*, 1967).

Las montañas en el área de estudio entran en contacto en una zona plana mediante una segunda falla de tipo normal, que corre en sentido Noroeste-Sureste. Este cambio abrupto en la topografía y la fuerte disección de la zona montañosa conlleva a la formación de varios abanicos aluviales, entre los que destacan por su gran tamaño el de la barranca del arroyo Azampa (en las inmediaciones de Coxcatlán) y el de Muchil.

El abanico aluvial al pie de la Barranca de Muchil se localiza a los 18°12' - 18°14' N; 97°07' - 97°09' O, y cuenta con una extensión aproximada de 3 km². Este abanico muestra un patrón de drenaje dendrítico, con un canal de incisión de entre 0.50 m a 5 m. Asimismo su superficie en las unidades topográficamente más altas está cubierta por una ligera capa de rocas denominada "pavimento del desierto". En sus suelos se aprecia un horizonte cámbico muy poco desarrollado y horizontes cálcicos y petrocálcicos bien desarrollados, por lo que, a partir de los criterios establecidos por Christenson y Purcell (1985), se podría pensar que por sus características morfológicas, se trata de un abanico joven, cuya formación ocurrió hace aproximadamente entre 10,000 y 4,000 años (inicios del Holoceno).

El abanico de Barranca Muchil, al igual que otros abanicos en la región de Coxcatlán, está conformado por depósitos coluviales del Cuaternario que reposan sobre conglomerados rojizos correspondientes a la formación Tehuacán (Cenozoico) (MacNeish *et al.*, 1967). La superficie del abanico muestra evidencias de procesos erosivos y neotectónicos, ya que abundan las cárcavas y fallas de compensación. Inmediatos al abanico se aprecian cerros y montículos que corresponden a topofomas con pendientes suaves, constituídos principalmente por areniscas y conglomerados del Terciario inferior (formación Cuarteles) (Carta Geológica, INEGI, 1980). Los cerros hacia el Sur del abanico, entre los que se localiza el denominado "Cerro Agujereado", están conformados por depósitos lacustres ricos en material salino (particularmente yeso), que reflejan el origen lagunar del Valle de Tehuacán a partir de su aislamiento del Golfo de México en el Cretácico superior (MacNeish *et al.* 1967). Estos cerros muestran una fuerte susceptibilidad a la erosión, quedando varias de sus caras expuestas y con grandes cavidades producto de la erosión eólica; cavidades como aquella donde se localiza la denominada "Cueva del Maíz" (MacNeish *et al.* 1967), así como zonas con grandes y evidentes escarpes hacia el Este del abanico (Figura 6).

Figura 6.- ESQUEMA GEOMORFOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO

SIMBOLOGIA

GEOFORMA, RASGO Y LITOLOGIA



Montañas con laderas de pendientes moderadas a suaves, conformadas por metamórficas del Cretácico, Complejo "Cuicateco".



Montañas con laderas asimétricas de pendientes fuertes hacia el oeste y moderadas hacia el este. Fuertemente disectadas, conformadas por asociaciones de areniscas y conglomerados del Terciario inferior, Formación "Cuarteles".



Cerros con laderas de pendientes suaves. Conformados por asociaciones de areniscas y conglomerados del Terciario inferior, Formación "Cuarteles".



Cerros con laderas de pendientes fuertes y moderadas, muy erosionados con escarpes evidentes. Conformadas por depósitos lacustres del Cretácico superior.



Montículos por efecto del afloramiento de lutitas verdesas, calizas continentales y yesos del Terciario inferior, Formación "Cuarteles".



Abanicos aluviales formados por depósitos coluviales. Compuestos por conglomerados cuaternarios de rocas de origen continental conformadas por calizas, areniscas, rocas ígneas y fragmentos de cuarzo y pedernal) englobados en una matriz arcillo-arenosa poco consolidada y pobremente cementada con clastos subangulosos y subredondeados. Reposan sobre lutitas verdesas con intercalaciones de yesos del Terciario inferior.



Panicie conformada por depósitos aluviales del Cuaternario. Actual zona de cultivo del poblado de San Rafael.

Fuentes: INEGI, 1994 y MacNeish, 1987.

SIMBOLOS CARTOGRAFICOS

Hidrología

Crestas

Escarpes

Borde abanico aluvial

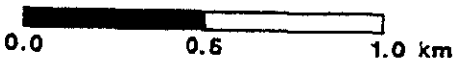
Hundimiento

Contacto litológico

Falla normal



Escala Gráfica



Elaborado con base en fotografía aérea:
SOP-28D68_T:25,000_TENUACAN-OAXACA, OAT 24.01(8-9).



6.2 Descripción de la conformación actual del abanico aluvial de la Barranca de Muchil.

La superficie del abanico aluvial de Barranca Muchil corresponde, según se pudo constatar en la fotografía aérea y recorridos de campo, a un último evento de depósito que ha sido erosionado por el agua a lo largo del tiempo y que yace sobrepuesto a otras series de abanicos de mayor antigüedad. Este depósito refleja la presencia de varias superficies remanentes (*erosional remnants*), con formas ovaladas (lomas de ballena), a las que se les atribuye una mayor edad y grandes fallas de compensación que originan cárcavas erosivas; particularmente en la zona del abanico medio (figura 6). El depósito aluvial está formado por clastos de gran tamaño, angulosos y mal clasificados envueltos en una matriz arcillosa.

La sección topográfica a la altura del abanico medio y en dirección Oeste-Este denominada como A - A' reflejó la presencia de un escalonamiento asimétrico conformado por cuatro niveles topográficos, cuya altura varía gradualmente de 3.5 m sobre el nivel del arroyo al Oeste, y 0.5 m sobre el nivel del arroyo que corre al Este de la superficie del abanico aluvial (figura 7). A diferencia del escalonamiento simétrico reportado por Klein (1995) para otros depósitos aluviales, en el caso de la barranca de Muchil se aprecia una inclinación hacia el Este, debida probablemente a un fallamiento del terreno, ya que la zona presenta una serie de fallas de compensación con dirección aproximada NE-SW, siendo la mayor de éstas la falla que corre paralela al cauce del arroyo al Oeste del abanico.

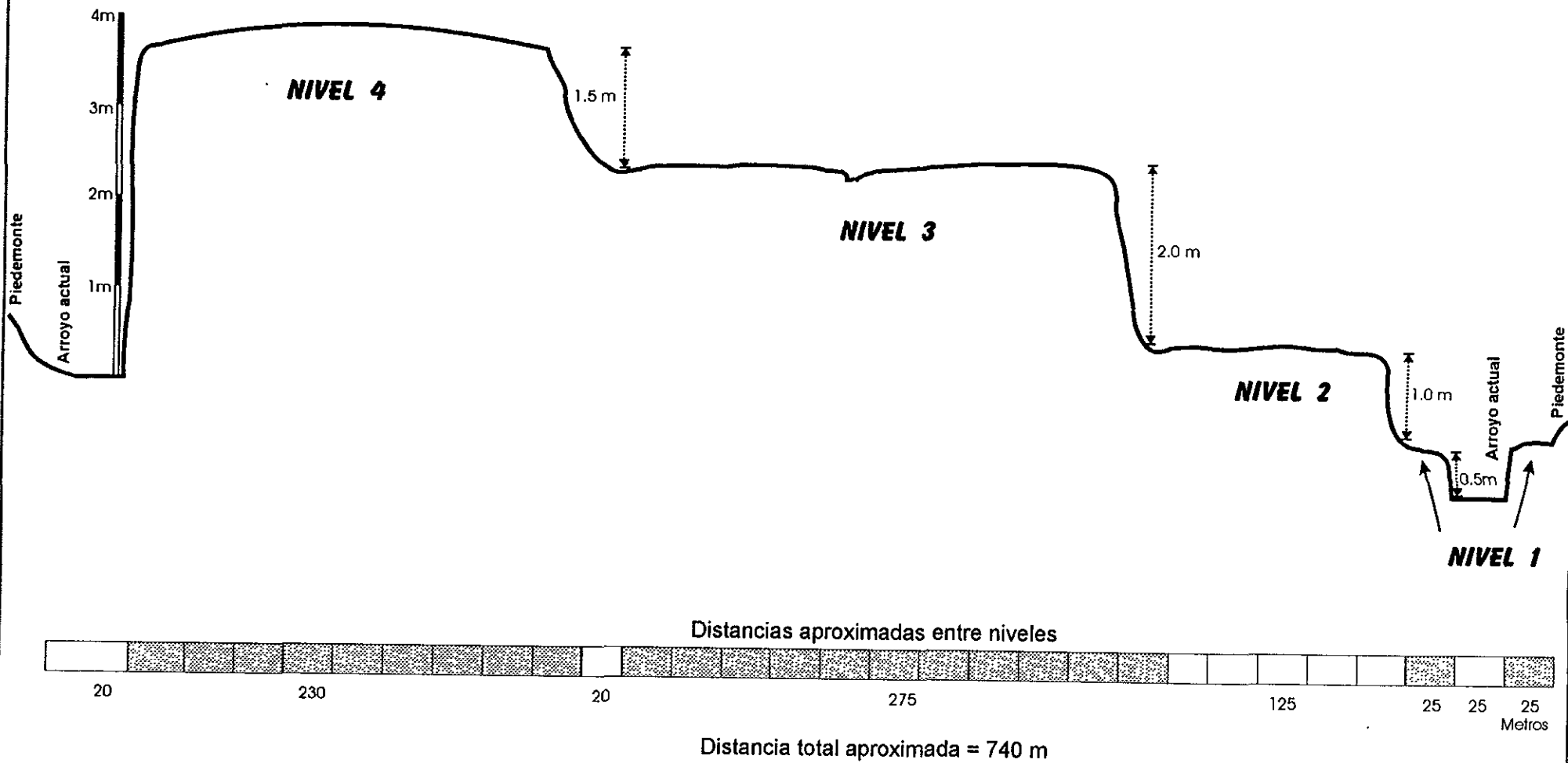
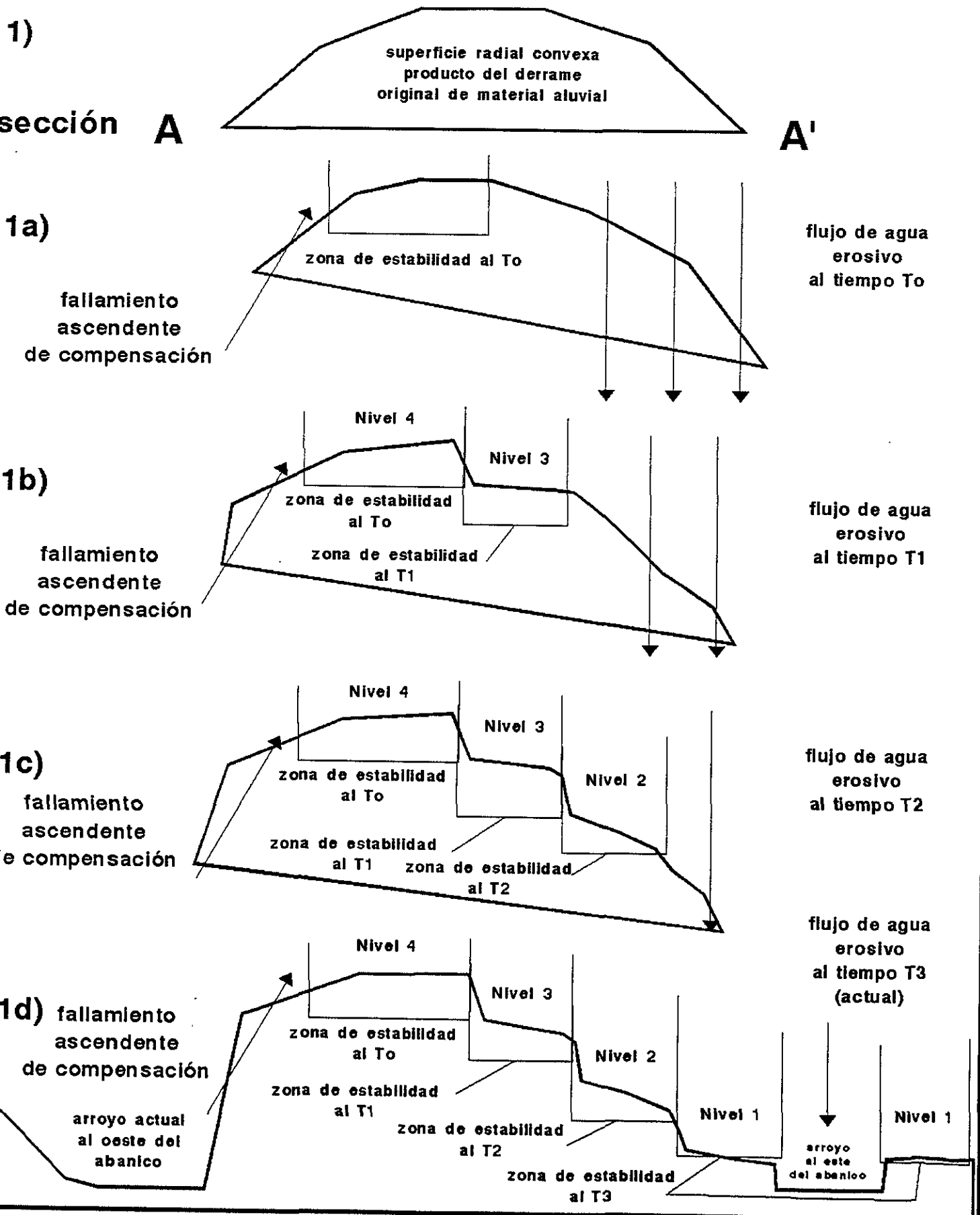


Figura 7.- Niveles topográficos a lo largo de la sección transversal del abanico (sección A-A').

La anterior información sugiere que una vez ocurrido el fallamiento principal (dirección NW-SE), se presentaron una serie de fallamientos de compensación, los que han seguido ocurriendo debido a que se trata de una región tectónicamente activa (Hidalgo Fuentesláz, 1958; MacNeish *et al.* 1967). Se considera entonces, que al formarse el abanico a partir de eventos torrenciales, se acentuó la inclinación de la falla que corre por el cauce del arroyo, elevando la porción NW del abanico sobre la SE. A ello siguieron eventos de depositación coluvial de menor magnitud que fueron erosionando la superficie convexa original del abanico, hasta tener una conformación "escalonada", siguiendo posiblemente una evolución como la que se presenta en la figura 8.

De la anterior evidencia se puede inferir que las porciones del abanico original que no fueron erosionadas en el transcurso de los primeros períodos de tiempo, permanecieron como superficies sometidas a un proceso de estabilidad más largo que el resto. Ello permitió un mayor desarrollo de los procesos pedogenéticos, coincidiendo entonces los niveles de erosión más elevados con las superficies más antiguas y por ende, a los suelos presumiblemente más antiguos. De igual manera, las superficies menos elevadas inmediatas al arroyo que corre por el oriente del abanico, corresponden a superficies con menores tiempos de estabilidad y por ende, a los suelos más jóvenes.

FIGURA 8.- Posible Evolución del Paisaje en el Abanico Aluvial de Barranca de Muchil, Coxcatlán, Puebla.



6.3 Suelos

En términos generales se puede decir que los suelos en el abanico aluvial de Barranca Muchil se han formado por pedogénesis a partir de un mismo material parental, correspondiente al depósito de coluvión. Son suelos secos, propios de ambientes ricos en carbonatos de calcio, poco estructurados, altamente pedregosos, con texturas que van de arena-franca a franco-arcillo-arenosa, con pH promedio de 7.37 y 8.26 (suelos ligeramente alcalinos) y bajos contenidos de materia orgánica (1.25 a 2.0%). En el cuadro 3 se presentan de forma comparativa las características más importantes de estos suelos en los niveles topográficos estudiados.

Como se aprecia en dicho cuadro, el nivel 1 (el más bajo topográficamente), presenta un suelo de profundidad media, bien drenado, color café claro, uniforme en apariencia, pedregoso, con desarrollo de estructura débil y agregados de bloques subangulares de tamaño medio a fino. Presenta un horizonte cálcico de 10 a >79 cm de profundidad. Todo el perfil es poroso y permeable. La distribución de raíces se concentra de los 11 a los 39 cm.

Perfil en el Nivel Topográfico 1:

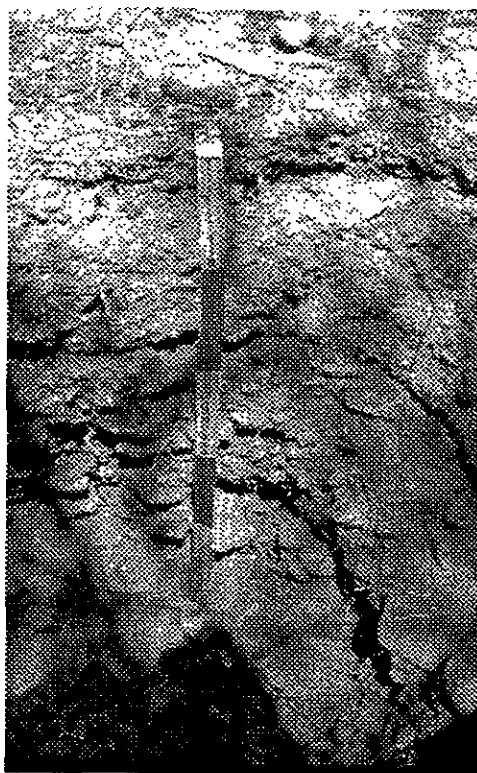


Ah1	0-0.5 cm	Costra de color café oscuro en húmedo (10 YR 2/1), textura arena-franca (AC), contenido bajo de materia orgánica (1.25%), ligeramente alcalino (pH 7.5), bajo contenido de carbonato de calcio a manera de polvo fino sobre los clastos, correspondiente a un 0.5%, estructura subangular en bloques, media y débil; pedregosidad del 7%, poros regulares, esféricos e intersticiales finos, nula presencia de raíces, límite claro e irregular. Alta estabilidad de agregados.
Ah2	0.5-10 cm	Suelo de color café claro en húmedo (10 YR 5/3), textura arena-franca (AC), contenido bajo de materia orgánica (1.25%), ligeramente alcalino (pH 7.5), bajo contenido de carbonato de calcio a manera de polvo fino sobre los clastos, correspondiente a un 0.5 a 2%, estructura subangular en bloques, media y débil; pedregosidad del 15%, poros regulares, esféricos e intersticiales finos, baja densidad de raíces, límite claro e irregular. Moderada estabilidad de agregados.
ACk	10-39 cm	Suelo de color café claro en húmedo (10 YR 4/4), textura arena-franca (AC), alcalino (pH 8), alto contenido de carbonato de calcio (10-25%) distribuido a manera de polvo fino sobre los clastos, estructura subangular en bloques, media y débil a granular fina; pedregosidad del 40%, poros muy abundantes, esféricos, finos a grandes, alta densidad de raíces, límite difuso e irregular. Baja estabilidad de agregados.
Cwk	39->79 cm	Color café claro en húmedo (10 YR 5/4), textura arena-franca (AC), alcalino (pH 8), muy alto contenido de carbonato de calcio (>25%) distribuido a manera de polvo fino sobre los clastos, estructura subangular en bloques, media y débil a granular fina; pedregosidad del 50%, poros abundantes, esféricos, finos a grandes, nula presencia de raíces. Baja estabilidad de agregados.

Como procesos pedogenéticos se puede señalar que los primeros 2 horizontes en este suelo muestran acumulación de materia orgánica con un tipo de humus clasificado como mull. El pH es ligeramente alcalino y la reacción al HCl pone en evidencia la precipitación de carbonatos de calcio como el proceso pedogenético principal. El horizonte más superficial corresponde a una costra de material orgánico y mineral en la que no se desarrollan las raíces. Los siguientes dos horizontes conjuntan la totalidad del espacio radical, aprovechando la gran porosidad de los mismos. La clasificación como *Calcisol háplico* se basó principalmente en la presencia de un horizonte diagnóstico cálcico y la baja cantidad de materia orgánica. El sitio en general presenta condiciones excelentes de drenaje, sin embargo, la alta pedregosidad y los bajos contenidos de materia orgánica restringen el desarrollo de las raíces a una profundidad mayor de los 39 cm.

Por su parte, en el nivel 2, el suelo resultó ser de profundidad media, bien drenado, color café claro, uniforme en apariencia, pedregoso, con desarrollo de estructura débil con agregados de bloques subangulares de tamaño medio a fino. Es un suelo poroso y permeable. La distribución de las raíces ocupa de los 0 a los 18 cm.

Perfil en el Nivel Topográfico 2:

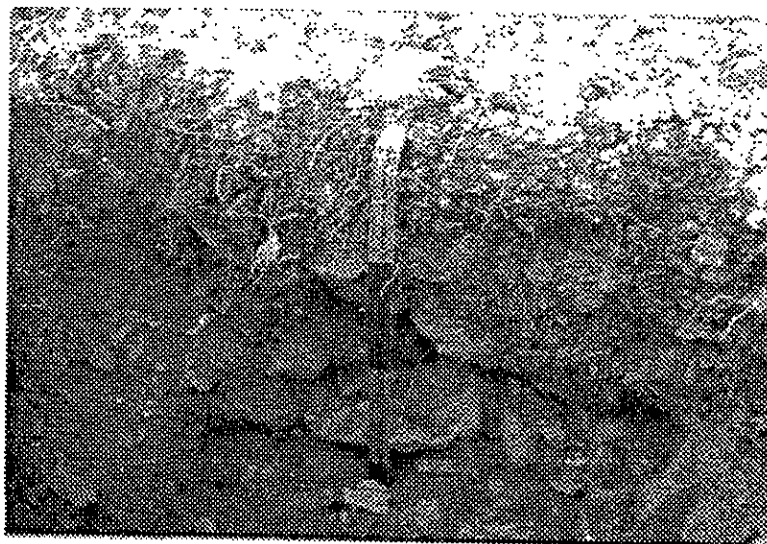


Ah1	0-3 cm	Costra de color café oscuro en húmedo (10 YR 2/1), textura arena-franca (AC), contenido bajo de materia orgánica (1.5%), ligeramente ácido (pH=6), estructura subangular en bloques, gruesa a media y fuerte; pedregosidad del 7%, poros abundantes, esféricos y tubulares, intersticiales medianos a finos, mediana densidad de raíces, límite claro y uniforme. Alta estabilidad de agregados.
Ah2	3-18 cm	Suelo de color café claro en húmedo (7.5 YR 5/4), textura franco-arenosa (CA), contenido bajo de materia orgánica (1.25%), ligeramente alcalino (pH 7.5), estructura subangular en bloques, gruesos a medianos y débiles; pedregosidad del 15%, bajo contenido de carbonatos (0.5 a 2%), poros abundantes, esféricos y tubulares, grandes a finos, mediana presencia de raíces, límite claro e irregular. Moderada estabilidad de agregados.
ACk	18-38 cm	Suelo de color café claro en húmedo (10 YR 4/4), textura arena-franca (AC), alcalino (pH 8), alto contenido de carbonato de calcio (10-25%), distribuido a manera de polvo fino sobre los clastos. Estructura subangular en bloques, media a fina y fuerte; pedregosidad del 40%, poros abundantes, esféricos, finos a grandes, baja presencia de raíces, límite claro e irregular. Baja estabilidad de agregados.
Cwk	38-51- cm	Color café claro en húmedo (10 YR 4/4), textura franco-arenosa (CA), alcalino (pH 8 en agua), muy alto contenido de carbonato de calcio (>25%), distribuido a manera de polvo fino sobre los clastos. Estructura granular mediana; pedregosidad del 50%, moderados poros, grandes entre clastos, nula presencia de raíces. Baja estabilidad de agregados.

Los primeros 2 horizontes en este segundo suelo muestran acumulación de materia orgánica, con un humus de tipo mull. El pH es ligeramente alcalino y la reacción al HCl, de nueva cuenta, pone en evidencia la acumulación de carbonatos de calcio como el proceso pedogenético más relevante, particularmente en los últimos dos horizontes. Los primeros dos horizontes conjuntan la totalidad del espacio radical (0 a 18 cm), aprovechando la gran porosidad de los mismos y su menor pedregosidad. La clasificación como *Calcisol háplico* se basó principalmente en la presencia de un horizonte diagnóstico cálcico y la baja cantidad de materia orgánica. La alta pedregosidad y bajos contenidos de materia orgánica restringen el desarrollo de las raíces a profundidades mayores de 18 cm.

El suelo en el tercer nivel resultó ser somero, bien drenado en sus horizontes superficiales, color café claro, uniforme en apariencia, pedregoso, desarrollo de estructura débil con agregados subangulares y granulares de tamaño grueso a fino. La distribución de las raíces se presenta en una delgada franja, de los 0 a los 8 cm. Solamente la parte superior del suelo es permeable y porosa, ya que tiene un horizonte petrocálcico a los 30 cm de profundidad cuya matriz se encuentra cementada por CaCO_3 .

Perfil en el Nivel Topográfico 3:



Ah	0-7 cm	Material de color café claro (10YR 4/3), textura arena-franca (AC), contenido bajo de materia orgánica (1.25%), ligeramente alcalino (pH 7.5 en agua), bajo contenido de carbonato de calcio (0 a 0.5%), estructura subangular en bloques, mediana a fina, débil; pedregosidad del 10%, poros muy abundantes, esféricos y tubulares e intersticiales, grandes a finos, alta densidad de raíces, límite claro irregular. Mediana estabilidad de agregados.
ACk	7-30 cm	Suelo de color café claro en húmedo (10 YR 4/3), textura arena-franca (AC), alcalino (pH 8 en agua), muy alto contenido de carbonato de calcio (25-50%), distribuido a

manera de polvo fino y fragmentos de carbonato sobre los clastos iniciando un proceso de cementación. Estructura subangular fina a granular gruesa y débil; pedregosidad del 30%, poros abundantes, esféricos, finos a grandes, baja densidad de raíces, límite claro e irregular. Mediana estabilidad de agregados.

mCwk 30->32 cm Color café grisáceo en húmedo (10 YR 6/3), textura franco-arcillo-arenosa (CRA), alcalino (pH 8 en agua), la matriz de este horizonte presenta precipitados de carbonato de calcio, cementando clastos de tamaño mediano y grande. Los contenidos de carbonatos son extremadamente altos (>50%). Pedregosidad del 50% dentro de la matriz carbonatada, ausencia de poros, formando un horizonte petrocálcico, ausencia de raíces.

El primer horizonte del suelo en el nivel 3 muestra acumulación de materia orgánica con un humus de tipo mull. El pH es ligeramente alcalino y la presencia de un horizonte petrocálcico (mCwk) pone en evidencia que el proceso pedogenético dominante es la acumulación de carbonatos de calcio; misma que por su grado de avance pone de manifiesto que se trata de un suelo más viejo que los dos anteriores. Asimismo, el aumento en la proporción de arcillas en el último horizonte, conjuntamente con las condiciones climáticas de la zona, reflejan que otro proceso pedogenético tiempo-dependiente en desarrollo es la neoformación de arcillas *in situ*. El primer horizonte conjunta la totalidad del espacio radicular (0 a 8 cm), siendo éste muy reducido. La clasificación como *Calcisol pétrico* se basó principalmente en la presencia de un horizonte petrocálcico fuertemente cementado, la escasa profundidad del suelo y su baja cantidad de materia orgánica. La alta pedregosidad y bajos contenidos de materia orgánica y la presencia del horizonte petrocálcico restringen el desarrollo de raíces a mayores profundidades de los 30 cm. Tiene además muy baja capacidad de retención de agua disponible, lo que conjuntamente con el tipo de clima, la textura y el horizonte petrocálcico restringen su ocupación para muchas especies vegetales.

Finalmente, el cuarto nivel topográfico está conformado por un suelo mediano, bien drenado en sus primeros 2 horizontes, pedregoso, con una distribución de raíces que va de los 0 a los 15 cm y la presencia de un horizonte petrocálcico a los 48 cm.

Perfil en el Nivel Topográfico 4¹

Ah1	0-10 cm	Textura franco-arenosa (CA), ligeramente alcalino (pH=8.06), moderado contenido de carbonato de calcio (2-10%), distribuido a manera de polvo fino sobre los clastos, pedregosidad del 10%, poros abundantes, abundancia de raíces medias y finas.
Ah2	10-15 cm	Textura franco-arcillo-arenosa (CRA), ligeramente alcalino (pH=8.34), moderado contenido de carbonato de calcio (2-10%), distribuido a manera de polvo fino sobre los clastos, pedregosidad del 30%, poros escasos, mediana densidad de raíces grandes, medias y finas.

¹ A partir de datos de Medina, 1999.

ACK	15-48 cm	Textura franco-arcillo-arenosa (CRA), alcalino (pH=8.34). Muy altos contenidos de carbonatos (25-50%), se observan inicios de cementación por carbonato de calcio sobre clastos medios a gruesos (gravas a fragmentos de roca) formando concreciones o nódulos. Pedregosidad del 60%, poros ausentes, moderada densidad de raíces grandes y escasas raíces finas.
mCwk	48-60+ cm	Material cementado, extremadamente altos contenidos de carbonatos (>50). Pedregosidad alta, ausencia de poros y raíces.

El pH alcalino y la reacción al HCl indican la presencia de carbonatos de calcio, con la formación de un horizonte petrocálcico a los 48 cm, fuertemente compactado, lo que pone en evidencia que al igual que en los demás suelos, el proceso pedogenético predominante es la acumulación de carbonatos. El grado de avance y la profundidad del depósito carbonatado indican que se trata de un suelo más viejo que los tres anteriores. Asimismo, el aumento en la proporción de arcillas en los últimos horizontes, conjuntamente con las condiciones climáticas de la zona, reflejan que otro proceso pedogenético tiempo-dependiente en desarrollo es la neoformación de arcillas *in situ*.

Los primeros dos horizontes conjuntan la mayor parte del espacio radical (0 a 15 cm) aprovechando la porosidad de los mismos y su pedregosidad. La clasificación como *Calcisol pétrico* se basó en la presencia de un horizonte petrocálcico. La alta pedregosidad y sobre todo, la presencia de un horizonte cementado restringen el desarrollo de raíces a mayores profundidades de los 48 cm. Este suelo tiene una baja capacidad de aereación y muy baja capacidad de retención de agua disponible.

Cuadro 3.- Principales Características de los Suelos en cada Nivel Topográfico.

PROPIEDADES DE LOS SUELOS	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4*
Distribución de los horizontes	Ah1: 0 – 0.5 cm Ah2: 0.5-10 cm ACk: 10 - 39 cm Cwk: 39 - >79 cm	Ah1: 0 – 3 cm Ah2: 3 –18 cm ACk: 18 – 38 cm Cwk: 38 - >51 cm	Ah: 0 – 7 cm ACK: 7 – 30 cm mCwk: 30->32 cm	Ah1: 0 – 10 cm Ah2: 10 – 15 cm ACk: 15 – 48 cm mCwk: 48 - >60 cm
Densidad de Raíces por horizonte	nula baja alta nula	mediana mediana baja nula	alta baja nula	mediana mediana baja muy baja
Princ Espacio Radical	de 11 a 39 cm	de 0 a 18 cm	de 0 a 7 cm	de 0 a 15 cm
Estructura	Subangular media débil a granular fina	subangular gruesa a subangular mediana y fina, débil	subangular mediana y fina a granular grueso y débil	(sin datos)
Estabilidad agregados	alta moderada baja baja	alta moderada baja baja	mediana mediana rocas y carbonatos	(sin datos)
Pedregosidad	7% 15% 40% 50%	7% 15% 40% 50%	10% 30% 80%	10% 30% 60% 80%
Textura Porcentaje promedio de:	Arena Franca (AC)	Arena Franca (AC) a Franco Arenosa (CA)	Arena Franca (AC) a F. Arcillo Arenosa (CRA)	Arena Franca (AC) a F. Arcillo Arenosa (CRA)
arenas	79% +/- 2%	75% +/- 5%	67% +/- 4%	63% +/- 4%
limos	11% +/- 6%	13% +/- 2%	19% +/- 0.5%	17% +/- 1%
arcillas	11% +/- 5%	12% +/- 4%	16% +/- 6%	23% +/- 7%
Profundidad Horizonte Petrocálcico	No hay	No hay	32 cm	48 cm
pH promedio	7.75 +/- 0.3	7.37 +/- 0.82	7.83 +/- 0.24	8.26 +/- 0.15
Reacción al HCl	Muy baja, 0-0.5% baja, 0.5-2% alta, 10-25% muy alta, >25%	nulo baja, 0.5-2% alta, 10-25% muy alta, >25%	baja, 0.5 – 2% muy alta, 25-50% extr. alta, > 50%	moderada, 2-10% moderada, 2-10% muy alta, 25-50% extr. alta, >50%
Clasificación del suelo (FAO-Unesco, 1988)	Calcisol háplico	Calcisol háplico	Calcisol pétrico	Calcisol pétrico

*.- Datos de Medina, J. 1999 (sin publicar).

6.3.1 Morfología de los Precipitados de Carbonato de Calcio.

Se analizó la edad relativa de los suelos a partir de la morfología de los precipitados de carbonato de calcio, clasificados en los estadios I al VII según Machette, (1985); y estadios I al IV según Harden *et al.*, (1991) y Monger, Daugherty y Gile, (1991). Cabe señalar que ambas clasificaciones son complementarias, por lo que se utilizaron los dos tipos de criterios para evaluar la edad relativa del suelo en los cuatro niveles.

Como se observa en la figura 9a, el suelo en el nivel 1 es un suelo arenoso-franco, ligeramente alcalino (pH de 7.5 a 8) y con bajo grado de carbonatación en todos sus horizontes (estadio I según Machette, 1985; Harden *et al.*, 1991; Monger, Daugherty y Gile, 1991). El suelo en el nivel 2 (figura 9b) es predominantemente arenoso, con pH ligeramente ácido en su horizonte superficial (pH=6) y más alcalino en los siguientes (pH=8); con bajo grado de carbonatación en todos sus horizontes, correspondiendo de igual manera al estadio I. Ambos suelos presentan de muy bajos a bajos contenidos de CaCO₃, con clastos y agregados cubiertos por un polvo fino de carbonato que produce una ligera efervescencia al contacto con HCl, la cual es visible y audible. No presentan filamentos de carbonato ni fragmentos de acumulación de los mismos, por lo que se les ha atribuido un estadio I.

La figura 9c muestra que el suelo en el nivel 3 es un suelo somero, arenoso-franco a franco-arcillo-arenoso, y ligeramente alcalino (pH 7.5 a 8) con grados de carbonatación que van en aumento del I al III conforme aumenta la profundidad del suelo. En el horizonte superior, no se observa carbonato de calcio a manera de polvo fino rodeando los clastos, sin embargo, se observó reacción al HCl visible y audible en baja intensidad (Estadio I). El segundo horizonte mostró un alto grado de carbonatación, clastos cubiertos por polvo, filamentos (a manera de hojuelas) y fragmentos de carbonato de calcio (caliche) empezando a cementarse unos con otros, lo que corresponde a un estadio II según las clasificaciones anteriores. El tercer horizonte corresponde a un horizonte petrocálcico en donde las rocas están rodeadas por una matriz más fina, enriquecida con carbonato de calcio fuertemente cementada que corresponde a un estadio III.

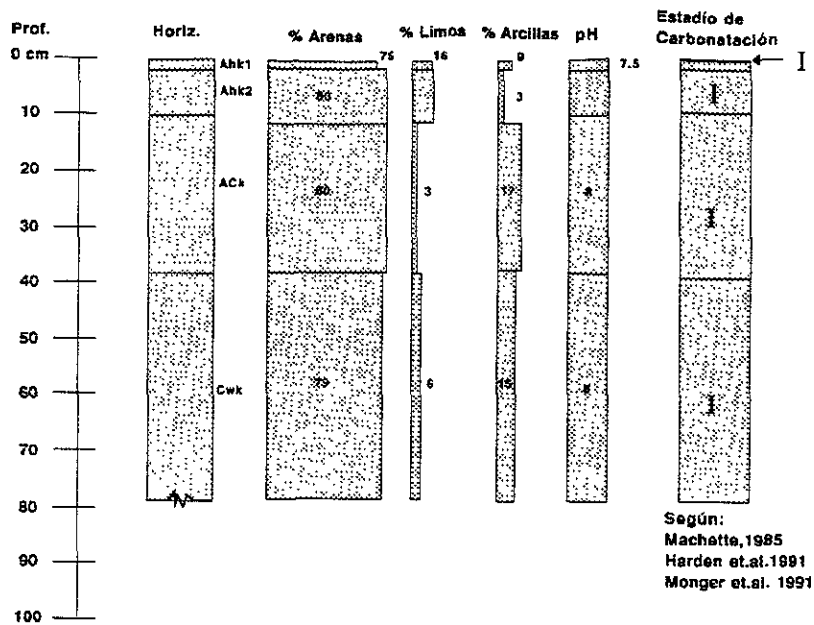


Figura 9a.- Esquematación del Perfil de Suelo, Nivel 1.

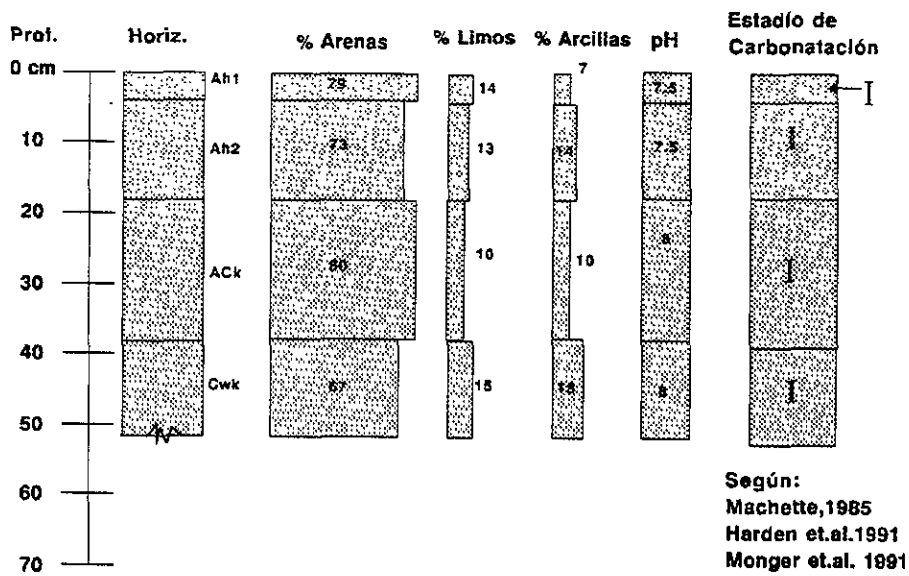


Figura 9b.- Esquematación del Perfil de Suelo, Nivel 2.

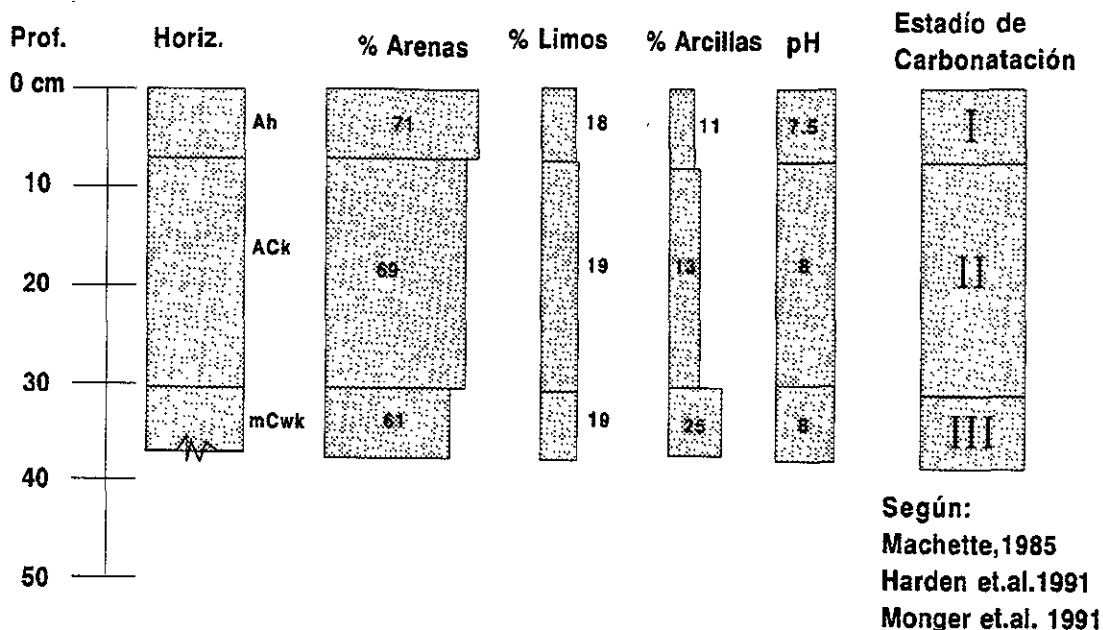
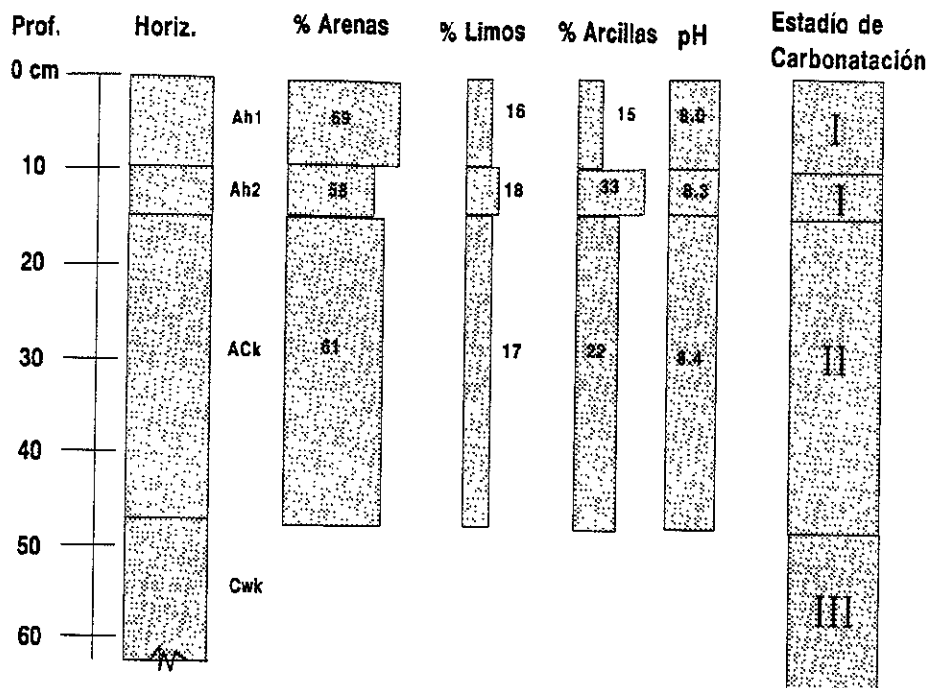


Figura 9c.- Esquematización del Perfil de Suelo, Nivel 3.

La figura 9d muestra que el suelo en el nivel 4 es un suelo somero, franco arcillo arenoso, alcalino (pH 8.0 a 8.4), con grados de carbonatación que van en aumento del I al III conforme aumenta su profundidad, hasta llegar a un horizonte petrocálcico a los 48 cm de profundidad. Los primeros dos horizontes muestran polvo de carbonato de calcio cubriendo los clastos de manera fina, pero continua (Estadio I) con una reacción moderada al HCl. El tercer horizonte está conformado por clastos medios a gruesos, cementados, formando concreciones y nódulos, presentando una reacción violenta al HCl (Estadio II).

Finalmente, y de gran importancia, resulta el cuarto horizonte (profundidad de 48 a 60 cm) por estar conformado por una capa de material cementado por precipitados de carbonato de calcio, muy compacto y con violenta reacción al HCl, lo que corresponde a un estadio III. Este horizonte petrocálcico se localiza a mayor profundidad que el encontrado en el suelo del nivel 3, además de ser de mayor espesor y ubicarse topográficamente en un nivel más alto. Por lo tanto, no obstante de que ambos corresponden a un estadio III, se considera que el suelo en el nivel 4 es más antiguo que aquél en el nivel 3.



Nota: Datos no publicados de J. Medina (1999)

Según:
 Machette, 1985
 Harden et al. 1991
 Monger et al. 1991

Figura 9d.- Esquematación del Perfil de Suelo, Nivel 4.

6.3.2 Textura.

Se analizó la distribución de arena, limo y arcilla por horizonte (figuras 9a-9d), así como los contenidos totales de éstos en el solum (figuras 10a-10c) para identificar las variaciones en la textura predominante del suelo entre niveles y la cantidad de arcilla que ha sido neoformada. Los resultados mostraron que el suelo en el nivel 1 presenta altas proporciones de arena (75 a 80%), con bajas proporciones de arcilla (3 a 17%) en sus diferentes horizontes. El suelo en el nivel 2 mostró una ligera reducción en la proporción de arenas (67 a 80%) con respecto al suelo anterior y un ligero aumento en las proporciones de arcilla (7 a 18%). El suelo en el nivel 3 presenta una notoria reducción de sus proporciones de arena por horizonte (de 61 a 71%) con respecto a los suelos de los niveles 1 y 2, aunada a un incremento en su proporción de arcillas (de 11 a 25%), particularmente en su último horizonte. Finalmente, el suelo del nivel 4, refleja una mayor reducción de la proporción de arenas (58 a 68%) con un incremento considerable en su proporción de arcillas con respecto a los demás suelos analizados (de 15 a 32%). Por su parte, los limos permanecen más o menos de manera similar entre los niveles analizados.

En las figuras 10a a 10c, se observa un patrón de reducción gradual de texturas arenosas (figura 10a) y un incremento en las texturas arcillosas (figura 10c) a lo largo de la sección de suelos analizada. La cantidad de arena en el solum disminuye gradualmente de 0.943 kg/m² a 0.575 kg/m² del nivel 1 al nivel 4. Por su parte, los contenidos totales de arcilla en el solum del suelo en el nivel 1 fué de 0.039 kg/m², aumentando gradualmente hacia el nivel 4 con contenido de 0.184 kg/m² de arcilla; lo que corresponde a un incremento del 21% en arcillas que se han neoformado entre el nivel más joven y el más antiguo.

6.3.3 Nutrimientos

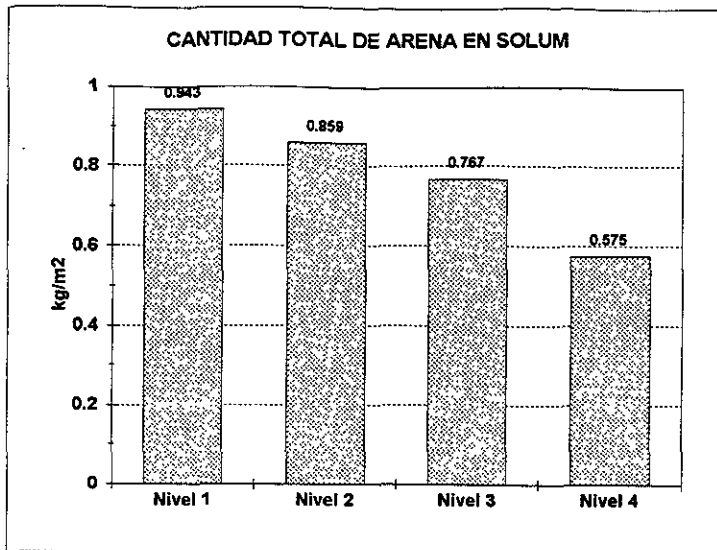
Se analizó el contenido de nitrógeno (como nitrato), fósforo y potasio aprovechables para las plantas en los horizontes ocupados por una densidad radical de alta a baja. Según los resultados (cuadro 4 y figura 11a a 11c) el suelo del nivel 1 muestra un elevado contenido de potasio, particularmente en los horizontes superficiales, disminuyendo hacia el horizonte inferior. En el segundo y tercer nivel, el contenido de potasio tiende a disminuir conforme se pasa de un suelo de un nivel más bajo, presumiblemente más joven, a uno más alto, considerado como más viejo. Por su parte, el contenido de fósforo disminuye también en suelos de niveles más bajos a más altos, aunque en una proporción menor que el potasio. En lo referente al nitrógeno, su concentración presenta poca variación entre horizontes de un mismo nivel y su comportamiento refleja un ligero decremento hacia niveles de suelo más altos.

Cuadro 4.- Cantidades de Nutrimientos por Nivel Topográfico.

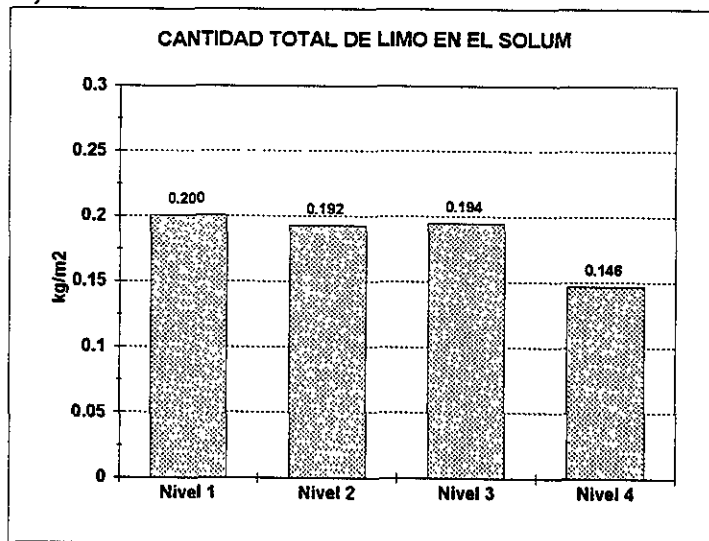
NIVEL	NITROGENO(g/m ²)	FOSFORO(g/m ²)	POTASIO (g/m ²)
I	10.06	21.56	270.22
II	10.33	16.23	206.52
III	7.48	13.08	140.14
IV	s/d	s/d	s/d

El suelo del tercer nivel (figura 11c) mostró ser el más empobrecido de todos en lo referente a nitrógeno y potasio, mientras que sus concentraciones de fósforo en el segundo horizonte son muy similares a las que se observan en los demás niveles.

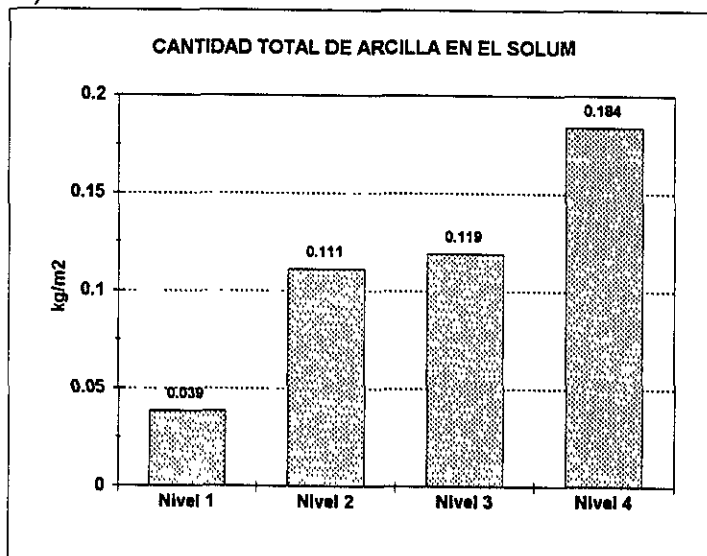
En las figuras 12a a 12c se presentan los resultados del contenido total de potasio, fósforo y nitrógeno en el solum. Estos resultados muestran una disminución gradual en las concentraciones de nutrientes desde un nivel topográfico más alto (nivel 3) a un nivel más bajo (nivel 1).



a)

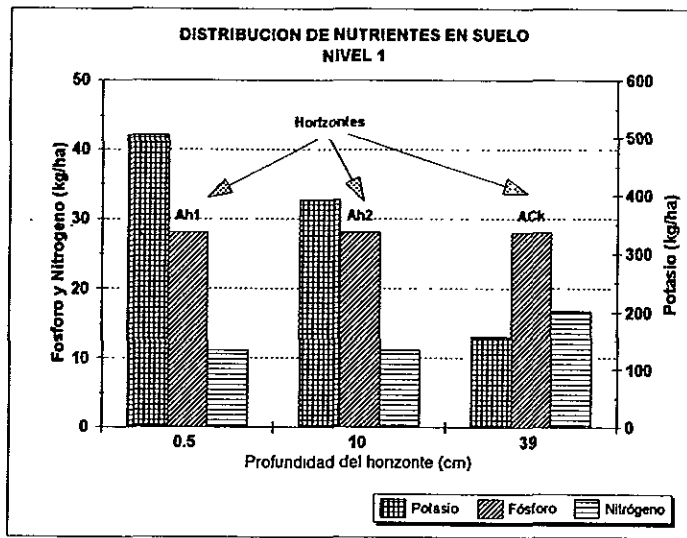


b)

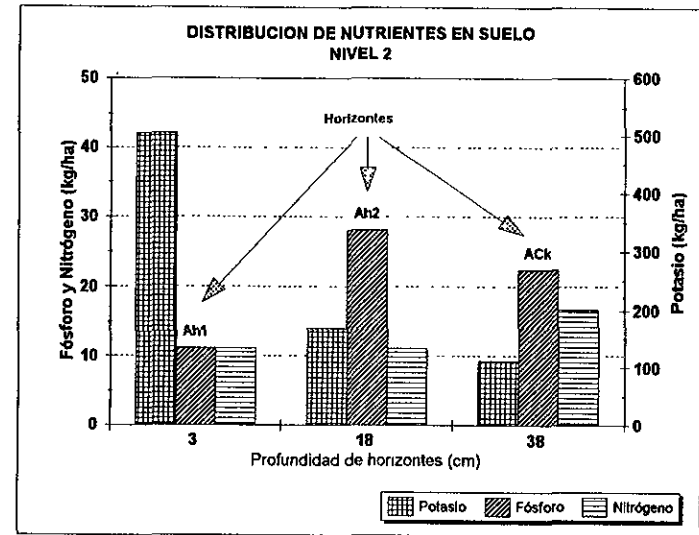


c)

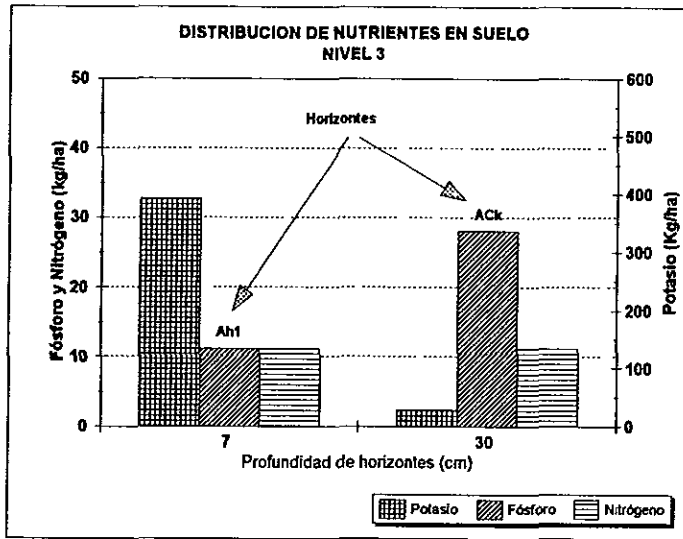
FIGURA 10.- CONTENIDO DE ARENA, LIMO Y ARCILLA EN EL SOLUM.



a)



b)

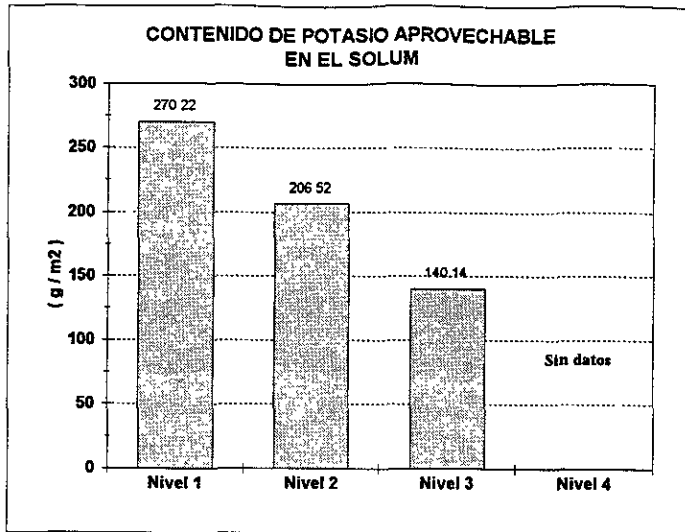


c)

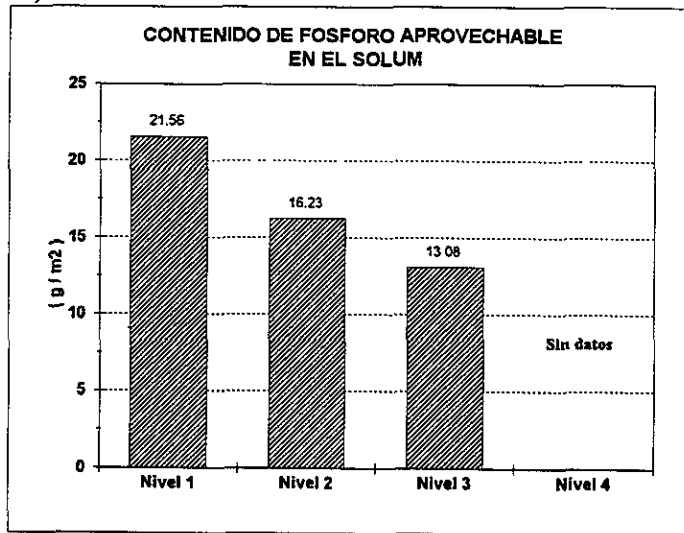
No se contó con datos para el Nivel 4, Fouquierial

FIGURA 11.- DISTRIBUCION DE NUTRIENTES POR HORIZONTE EN LOS DIFERENTES NIVELES TOPOGRAFICOS

Nota: Se consideran solamente los horizontes con ocupación por raíces.



a)



b)

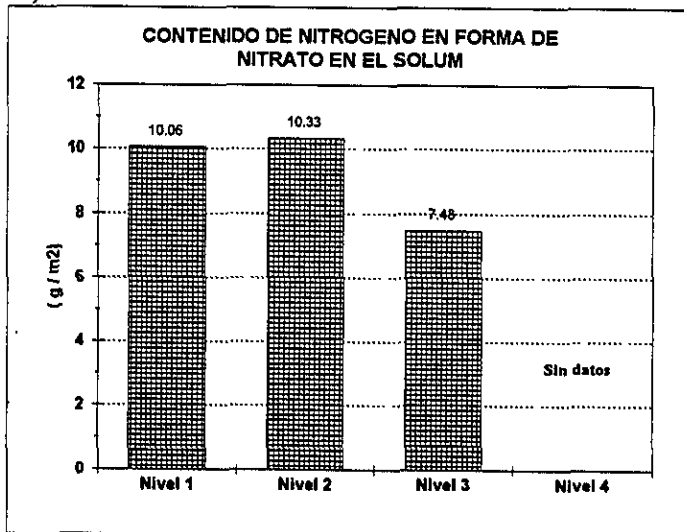


Figura 12.- CANTIDADES DE NUTRIENTES EN EL SOLUM POR NIVEL

Los análisis anteriores denotaron la existencia de variaciones en algunas propiedades físico-químicas del suelo (carbonatos, textura y nutrientes) en función de la edad relativa de éste. De forma complementaria a los análisis tendientes a medir el avance de los procesos de carbonatación y de neoformación de arcillas, se estudiaron las diferencias existentes en cuanto a las propiedades edafo-ecológicas del sitio (Siebe, Jahn y Stahr, 1995) con la intención de identificar características integrales del sitio que, estuvieran marcando diferencias tiempo-dependientes en su posibilidad de soportar cierto tipo de vegetación.

Los resultados de la evaluación ecológica se presentan en el anexo II y el resumen de los mismos (cuadro 5) se describe a continuación:

La profundidad fisiológica en los suelos de los niveles 1 y 2 fué de 40 cm, considerada como mediana (Siebe, Jahn y Stahr, 1995), mientras que en los suelos de los niveles 3 y 4 fue muy somera, debido a la presencia de alta pedregosidad y un horizonte petrocálcico. Esto a su vez limita la profundidad a la que se desarrollan las raíces, los resultados muestran que en los niveles 1 y 2 existen buenas posibilidades de penetración de las raíces, pese a la existencia de cierta pedregosidad, mientras que en los suelos de los niveles 3 y 4, la penetrabilidad de las raíces es muy baja (8–15 cm), ya que se trata de suelos someros y más pedregosos, limitados por la presencia de un horizonte petrocálcico. Son suelos con gran abundancia de poros de diferentes tamaños y formas (anexo II), a excepción de los horizontes petrocálcicos en los niveles 3 y 4 que carecen de poros, de ahí su carácter impermeable. De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 4, la porosidad de los suelos es en general moderada, con mediana capacidad de aireación y muy baja cantidad de agua disponible, lo que se refleja a su vez en una baja capacidad de campo.

La conductividad hidráulica resultó alta en los suelos de los niveles 1, 3 y 4, siendo mediana en el nivel 2. Esto está ligado a la erosionabilidad de los suelos por lo que en concordancia con los resultados del coeficiente de erosionabilidad, se puede decir que son suelos poco erosionables.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 115-145 meq/kg en el suelo del nivel 1, de 145 en el nivel 3 y de 180-325 meq/kg en el nivel 4, lo que denota cierta tendencia al aumento en la CIC entre los niveles topográficos. Por su parte, las bases intercambiables no reflejan una secuencia entre niveles.

Los anteriores parámetros edafo-ecológicos están íntimamente ligados con la textura más arcillosa de estos suelos, por lo que se considera a esta información como complementaria de los resultados obtenidos a partir del análisis físicoquímico de las muestras de suelo.

Cuadro 5.- RESUMEN DE PROPIEDADES EDAFO-ECOLOGICAS DEL SITIO POR NIVEL TOPOGRAFICO

Nivel	Profundidad Fisiológica (cm)	Penetrabilidad de raíces (cm)	Total del Espacio Poroso VPT (Vol %) y Eval.	Capacidad de Aereación CA (Vol %)	Cantidad de Agua Disponible dCC (l/m ²)
1	40 mediana	de 11 a 39	de 31 a 50 mediano	de 9 a 19 alta	47 muy baja
2	40 mediana	de 0 a 38	de 30 a 33 bajo a muy bajo	de 8 a 9 mediana	40 muy baja
3	8 muy somero	de 0 a 8	de 41 a 45 mediano	de 9 a 11 mediana a alta	31 muy baja
4	15 muy somero	de 0 a 15	de 34 a 46 bajo a mediano	de 3 a 18 baja a alta	34 muy baja
Nivel	Capacidad de Campo CC (l/m ²)	Conductividad Hidráulica Kf (cm/día) (valor modal)	Capacidad de Intercambio cationico CIC (meq/kg) intervalo	Coefficiente de Erosionabilidad (horizontes Ah)	Bases Intercambiables BI (eq/m ²)
1	124 muy baja	40 - 100 alta	115 - 145 regular	K=0.2 baja	49 mediana
2	73 muy baja	1 - 40 baja a mediana	de 115 a 180 regular	K=0.2 baja	62 medianamente alta
3	75 muy baja	40 - 100 alta	145 regular	K=0.25 baja a media	27 regular
4	81 muy baja	40 - 100 alta	180 - 325 regular a mediana	sin dato	60 alta

6.4 Listado Florístico y Tipos de Vegetación

Se identificaron en total 57 especies de angiospermas distintas (anexo III) dentro de los 1,819 organismos medidos y muestreados en una área total de 2,000 m². De los anteriores, 410 organismos fueron medidos en el primer nivel, 341 en el segundo, 487 en el tercero y 581 en el cuarto. La distribución de estas especies en cada uno de los niveles topográficos se presenta en el cuadro 6.

Con base en su fisionomía, la presencia y dominancia de algunas especies (cuadro 7), y siguiendo la clasificación de Miranda y Hernández (1963), los tipos de vegetación reconocidos por nivel topográfico fueron los siguientes:

Nivel Topográfico 1: **CARDONAL de *Pachycereus weberi***.- que incluye a especies dominantes como: *Pachycereus weberi*, *Senna wisliseni*, *Mimosa polyantha*, *Ceiba parvifolia*, *Coursetia caribaea* y *Echynopterys eglandulosa*; especies con un índice de dominancia mayor a 100 (cuadro 7).

Esta comunidad se desarrolla en las inmediaciones del cauce de los arroyos, en los niveles más bajos de terreno de 0.5 a 0.7 m por encima del nivel basal del lecho del arroyo, con suelos de texturas más gruesas y bajos niveles de carbonatación; se caracteriza por la dominancia de cactáceas columnares (cardones). Los estratos arbóreo y arbustivo están bien representados con 20 y 20 especies diferentes respectivamente (cuadro 6) y una densidad de plantas en el estrato arbustivo que hace difícil la circulación por esta comunidad (foto 1).

CUADRO 6.- RELACION DE ESPECIES POR TIPO DE COMUNIDAD EN EL ABANICO ALUVIAL DE BARRANCA DE MUCHIL

ESPECIES	FAMILIA	TIPO DE COMUNIDAD VEGETAL			
		CARDONAL	CHIOTILAL	CUAJOTAL	FOUQUERAL
ARBOLES					
<i>Acacia cochiliacantha</i>	MIMOSACEAE	X	X	X	X
<i>Acacia coulteri</i>	MIMOSACEAE	X			
<i>Bursera aptera</i>	BURSERACEAE	X	X	X	X
<i>Bursera morelensis</i>	BURSERACEAE			X	
<i>Caesalpinia melanadenia</i>	CAESALPINIACEAE				X
<i>Castela tortuosa</i>	SIMAROUBACEAE	X	X	X	
<i>Ceiba parvifolia</i>	BOMBACACEAE	X	X	X	X
<i>Celtis pallida</i>	ULMACEAE	X			
<i>Cercidium praecox</i>	CAESALPINIACEAE	X	X		
<i>Cnidoscylus tehuacanus</i>	EUPHORBIACEAE			X	
<i>Escontia chiotilla</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Fouquieria formosa</i>	FOUQUIERACEAE		X	X	X
<i>Iresine sp</i>	BURSERACEAE	X			
<i>Juliana abstrngens</i>	JULIANIACEAE		X	X	X
<i>Manihotoides pauciflora</i>	EUPHORBIACEAE				X
<i>Mimosa luisana</i>	MIMOSACEAE	X	X	X	X
<i>Mimosa polyantha</i>	MIMOSACEAE	X	X	X	X
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	CACTACEAE			X	
<i>Pachycereus hollianus</i>	CACTACEAE	X			
<i>Pachycereus weberi</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Prosopis laevigata</i>	MIMOSACEAE	X			
<i>Sapium appendiculatum</i>	EUPHORBIACEAE			X	
<i>Senna holwayana</i>	CAESALPINIACEAE	X			
<i>Senna wislizeni</i>	CAESALPINIACEAE	X	X	X	X
<i>Siphonoglossa ramosa</i>	ACANTHACEAE	X	X		
<i>Stenocereus pruinosus</i>	CACTACEAE	X		X	
<i>Stenocereus stellatus</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Zizyphus pedunculata</i>	RHAMNACEAE	X	X	X	X
No. especies		20	15	18	14
ARBUSTOS / HERBAS					
<i>Aeschynomene compacta</i>	FABACEAE	X	X		
<i>Agave macroacantha</i>	AGAVACEAE	X	X		
<i>Anisacanthus quadrifidus</i>	ACANTHACEAE	X			
<i>Argythamnia guatemalensis</i>	EUPHORBIACEAE		X	X	
<i>Bursera sp</i>	BURSERACEAE	X			
<i>Cardiospermum haliacacabum</i>	SAPINDACEAE		X		X
<i>Cordia curassavica</i>	BORAGINACEAE		X		
<i>Coryphanta pycnantha</i>	CACTACEAE		X	X	X
<i>Coursetia caribaea</i>	LEGUMINOSAE	X	X		
<i>Croton citiato-glanduliferus</i>	EUPHORBIACEAE	X	X	X	X
<i>Dalea sp</i>	FABACEAE	X			
<i>Echinopterys eglandulosa</i>	MALPIGHIACEAE	X		X	
<i>Ferocactus latispinus var. spiralis</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Indigofera conzatti</i>	LEGUMINOSAE	X			
<i>Indigofera jamaicensis</i>	LEGUMINOSAE	X			
<i>Lantana achyranthifolia</i>	VERBENACEAE		X	X	X
<i>Mamilana carnea</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Marina scopia</i>	FABACEAE	X			
<i>Melochia tomentosa</i>	STERCULIACEAE		X	X	X
<i>Mimosa sp</i>	MIMOSACEAE	X			
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	CACTACEAE			X	X
<i>Opuntia acanthocarpa</i>	CACTACEAE	X	X	X	
<i>Opuntia phaeacantha</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Opuntia pilifera</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Opuntia sp</i>	CACTACEAE	X	X	X	X
<i>Sanvitalia fruticosa</i>	ASTERACEAE		X	X	X
<i>Viguiera dentata var. dentata</i>	ASTERACEAE	X			
<i>Viguiera gramatoglossa</i>	ASTERACEAE	X		X	
<i>spp. sin identificar</i>	BORAGINACEAE		X		X
No. especies		20	19	15	13

CUADRO 7.- INDICE DE DOMINANCIA POR ESPECIE Y TIPO DE COMUNIDAD

ESPECIES	FAMILIA	TIPO DE COMUNIDAD VEGETAL			
		CARDONAL	CHOTULLAL	CUAJOTAL	FOUQUERIAL
ARBOLES					
<i>Acacia cochiliacantha</i>	MIMOSACEAE	8.47	46.88	70.48	0.01
<i>Acacia coulteri</i>	MIMOSACEAE	59.86			
<i>Bursera aptera</i>	BURSERACEAE	75.39	103.05	979.91	2811.35
<i>Bursera morelensis</i>	BURSERACEAE			3832.87	
<i>Caesalpinia melanadenia</i>	CAESALPINIACEAE				3.90
<i>Castela tortuosa</i>	SIMAROUBACEAE	60.83	15.73	116.68	
<i>Ceiba parvifolia</i>	BOMBACACEAE	301.34	22.06	55.86	924.28
<i>Celtis pallida</i>	ULMACEAE	0.19			
<i>Cercidium praecox</i>	CAESALPINIACEAE	30.29	788.19		
<i>Cnidoscylus tehuacanus</i>	EUPHORBIACEAE			0.10	
<i>Escontria chiotilla</i>	CACTACEAE	30.44	782.97	50.89	20.07
<i>Fouquieria formosa</i>	FOUQUIERACEAE		67.36	1422.65	5282.00
<i>Iresine sp</i>	BURSERACEAE	4.58			
<i>Juliania abstringens</i>	JULIANIACEAE		4.88	11.20	61.47
<i>Manihotoides pauciflora</i>	EUPHORBIACEAE				944.95
<i>Mimosa luisana</i>	MIMOSACEAE	0.20	10.47	1434.93	187.99
<i>Mimosa polyantha</i>	MIMOSACEAE	207.32	594.97	902.22	606.90
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	CACTACEAE			0.33	
<i>Pachycereus hollianus</i>	CACTACEAE	6.28			
<i>Pachycereus weberi</i>	CACTACEAE	1179.11	2.11	0.60	0.56
<i>Prosopis laevigata</i>	MIMOSACEAE	7.84			
<i>Sapium appendiculatum</i>	EUPHORBIACEAE			5.12	
<i>Senna holwayana</i>	CAESALPINACEAE	0.38			
<i>Senna wisliseni</i>	CAESALPINACEAE	972.98	160.57	190.55	170.10
<i>Siphonoglossa ramosa</i>	ACANTHACEAE	0.10	3.23		
<i>Stenocereus pruinosus</i>	CACTACEAE	0.76		0.25	
<i>Stenocereus stellatus</i>	CACTACEAE	16.52	831.22	121.64	6.81
<i>Zizyphus pedunculata</i>	RHAMNACEAE	15.14	356.53	2.89	3.33
No. especies:		20	15	18	14
ARBUSTOS / HIERBAS					
<i>Aeschynomene compacta</i>	FABACEAE	0.67	0.01		
<i>Agave macroacantha</i>	AGAVACEAE	16.41	1.41		
<i>Anisacanthus quadrifidus</i>	ACANTHACEAE	1.75			
<i>Argythamnia guatemalensis</i>	EUPHORBIACEAE		7.72	0.56	
<i>Bursera sp</i>	BURSERACEAE	0.00			
<i>Cardiospermum haliacacabum</i>	SAPINDACEAE		0.19		0.54
<i>Cordia curassavica</i>	BORAGINACEAE		16.92		
<i>Coryphanta pycnantha</i>	CACTACEAE		0.14	1.22	0.74
<i>Coursetia caribaea</i>	LEGUMINOSAE	142.44	0.12		
<i>Croton ciliato-glanduliferus</i>	EUPHORBIACEAE	0.10	19.60	62.13	7.55
<i>Dalea sp</i>	FABACEAE	0.00			
<i>Echinopterys eglandulosa</i>	MALPIGHIACEAE	103.87		0.05	
<i>Ferocactus latispinus var. spiralis</i>	CACTACEAE	0.01	0.00	0.01	0.19
<i>Indigofera conzattii</i>	LEGUMINOSAE	8.41			
<i>Indigofera jamaicensis</i>	LEGUMINOSAE	0.87			
<i>Lantana achyranthifolia</i>	VERBENACEAE		0.18	0.15	0.03
<i>Mammillaria carnea</i>	CACTACEAE	108.82	7.18	3.75	0.84
<i>Marina scopia</i>	FABACEAE	0.48			
<i>Melochia tomentosa</i>	STERCULIACEAE		0.74	829.36	0.07
<i>Mimosa sp</i>	MIMOSACEAE	9.51			
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	CACTACEAE			1.05	0.61
<i>Opuntia acanthocarpa</i>	CACTACEAE	0.02	0.11	0.00	
<i>Opuntia phaeacantha</i>	CACTACEAE	1.94	27.12	15.22	0.78
<i>Opuntia pillifera</i>	CACTACEAE	14.60	73.99	112.73	13.01
<i>Opuntia sp</i>	CACTACEAE	0.23	18.78	0.02	3.16
<i>Sanvitalia fruticosa</i>	ASTERACEAE		14.80	412.79	922.88
<i>Viguiera dentata var. dentata</i>	ASTERACEAE	69.81			
<i>Viguiera grametoglossa</i>	ASTERACEAE	2.64	1081.87	0.01	
<i>spp. sin identificar</i>	BORAGINACEAE		0.02		0.01
No. especies		20	19	15	13

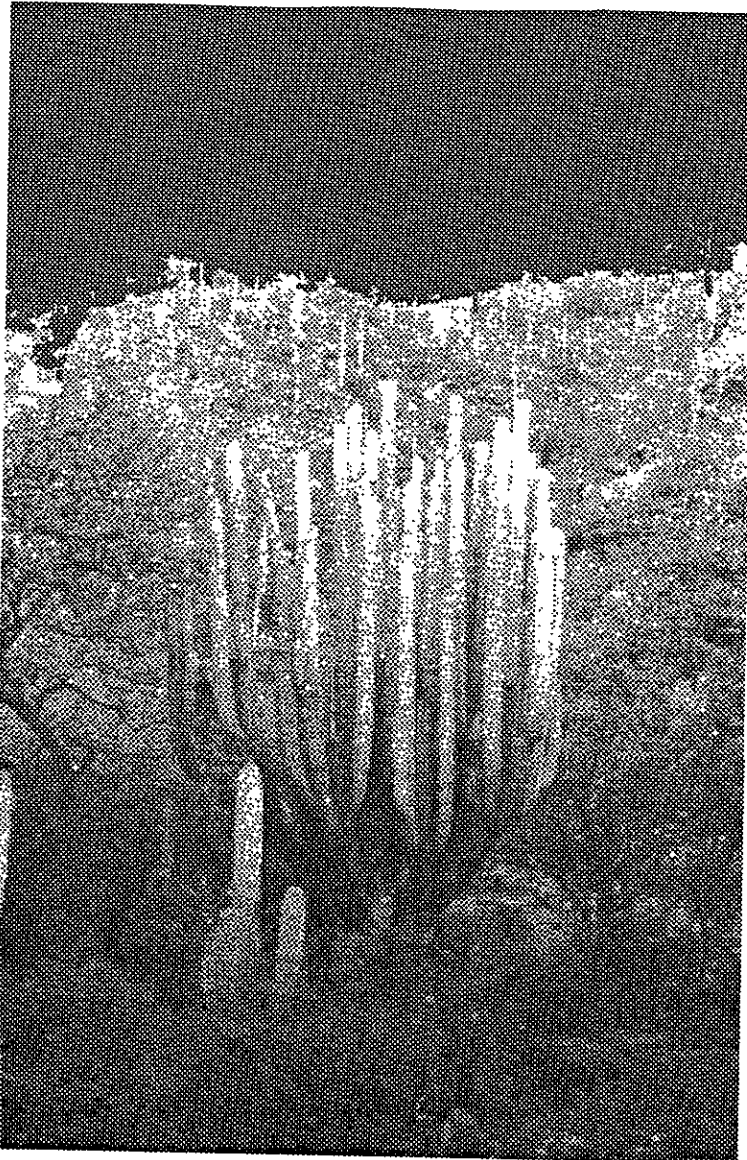


Foto 1.- Vista General del Cardonal de *Pachycereus weberi*

Especies acompañantes:

Senna wisliseni, *Mimosa polyantha*, *Ceiba parvifolia*, *Coursetia caribaea*,
Echynopterys eglandulosa y *Mammillaria carnea*

Nivel Topográfico 2: **CHIOTILLAL de Escontria chiotilla.**- que incluye a especies dominantes como: *Escontria chiotilla*, *Stenocereus stellatus*, *Mimosa polyantha*, *Cercidium praecox*, *Ziziphus pedunculata*, *Viguiera gramatoglossa*, *Mammillaria carnea*, *Bursera aptera*, *Opuntia phaeacantha*, *O. pilifera*, *Sanvitalia fruticosa* y *Senna wisliseni*; especies con un índice de dominancia mayor a 100 (cuadro 7).

Esta comunidad se desarrolla en el nivel próximo a la margen del cauce del arroyo al oriente del abanico, sobre niveles de terreno de 0.7 a 1.5 m por encima del nivel basal del lecho del arroyo, con suelos de texturas medianamente gruesas y bajos niveles de carbonatación. Los estratos arbóreo y arbustivo están bien representados con 15 y 19 especies diferentes, respectivamente y una densidad de plantas en el estrato arbustivo que hace difícil la circulación por esta comunidad (foto 2). La composición en cuanto a especies dominantes (cuadro 7) resulta ser diferente a la observada en el nivel inferior, no obstante de encontrarse muy próximos uno del otro.



Foto 2.- Vista General del Chiotillal de *Escontria chiotilla*

Especies acompañantes:

***Stenocereus stellatus*, *Mimosa polyantha*, *Cercidium praecox*, *Ziziphus pedunculata*,
Viguiera gramatoglossa, *Mammillaria carnea*, *Bursera aptera*, *Opuntia phaeacantha*, y
O. pilifera, *Sanvitalia fruticosa* y *Senna wisliseni***

Nivel Topográfico 3: **CUAJIOTAL.-** donde se incluyen especies dominantes como: *Bursera morelensis*, *Mimosa polyantha*, *Fouquieria formosa*, *Mimosa luisana*, *Castella tortuosa*, *Senna wisliseni*, *Stenocereus stellatus* y *Bursera aptera*, así como arbustos y hierbas como *Sanvitalia fruticosa*, *Melochia tomentosa* y *Opuntia pilifera*; todas estas especies con un índice de dominancia mayor a 100 (cuadro 7).

Esta comunidad se desarrolla en uno de los niveles más altos, a aproximadamente 1.5 a 3.5 m por encima del nivel basal del lecho del arroyo, con suelos de texturas finas y muy altos contenidos de carbonatos, con la formación incluso de un horizonte petrocálcico a escasos 30 cm de la superficie. Los estratos arbóreo y arbustivo están bien representados con un número menor de especies que las observadas en los dos niveles anteriores (18 y 15 especies respectivamente). La densidad de plantas en el estrato arbustivo es baja, por lo que resulta relativamente fácil el paso entre la vegetación de esta comunidad (foto 3). Como se observa en el cuadro 7, la composición en cuanto a especies dominantes resulta ser muy diferente a la observada en los dos niveles inferiores, no obstante de encontrarse muy próximos.



Foto 3.- Vista General del Cuajitotal (*Bursera morelensis*)

Especies acompañantes:

Mimosa polyantha, Fouquieria formosa, Mimosa luisana, Castella tortuosa,
Senna wisliseni, Stenocereus stellatus, Bursera aptera,
Sanvitalia fruticosa, Melochia tomentosa y Opuntia pilifera.

Nivel Topográfico 4: **FOUQUERIAL**.- donde se incluyen especies dominantes como: *Fouquieria formosa*, *Bursera aptera*, *Mimosa polyantha*, *Ceiba parvifolia*, *Manihotoides pauciflora*, *Senna wisliseni*, *Mimosa luisana* y *Sanvitalia fruticosa*. Especies con un índice de dominancia mayor de 100 (cuadro 7).

Esta comunidad se desarrolla en el nivel más alto, de 3.5 a 5 m por encima del nivel basal del lecho del arroyo, con suelos de texturas finas y muy altos contenidos de carbonatos, con la formación de un horizonte petrocálcico profundo. Los estratos arbóreo y arbustivo presentan menos especies que las observadas en los tres niveles anteriores, quedando 14 especies para el estrato arbóreo y 13 para el arbustivo y herbáceo. La densidad de plantas en los estratos arbustivo y herbáceo es muy baja, dominando en su totalidad *Sanvitalia fruticosa* (herbáceo), por lo que resulta fácil la circulación entre la vegetación de esta comunidad (foto 4). Como se observa en el cuadro 7, la composición en cuanto a especies dominantes resulta ser muy diferente a la observada en los tres niveles inferiores, no obstante de encontrarse muy próximos.

El criterio para la denominación de las comunidades fué fisionómico, apoyado en la nomenclatura de comunidades de Miranda y Hernández (1963). Los resultados de las especies presentes por nivel, así como su correspondiente índice de dominancia se presentan en las gráficas de las figuras 13a a la 13d para árboles y 14a a la 14d para arbustos y hierbas.



Foto 4.- Vista General del Fouquierial

Especies acompañantes:

Fouquieria formosa, Bursera aptera, Mimosa polyantha, Ceiba parvifolia, Manihotoides pauciflora, Senna wisliseni, Mimosa luisana y Sanvitalia fruticosa

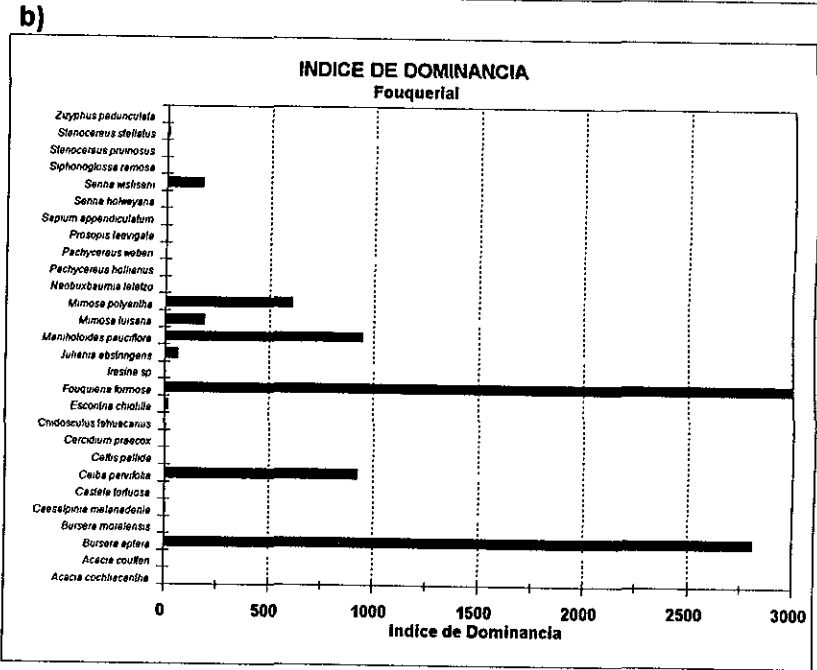
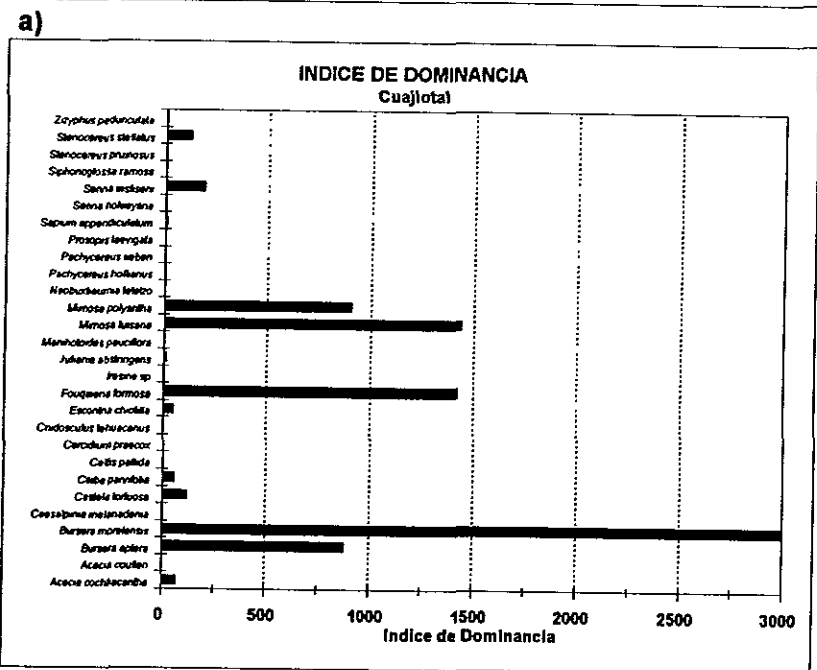
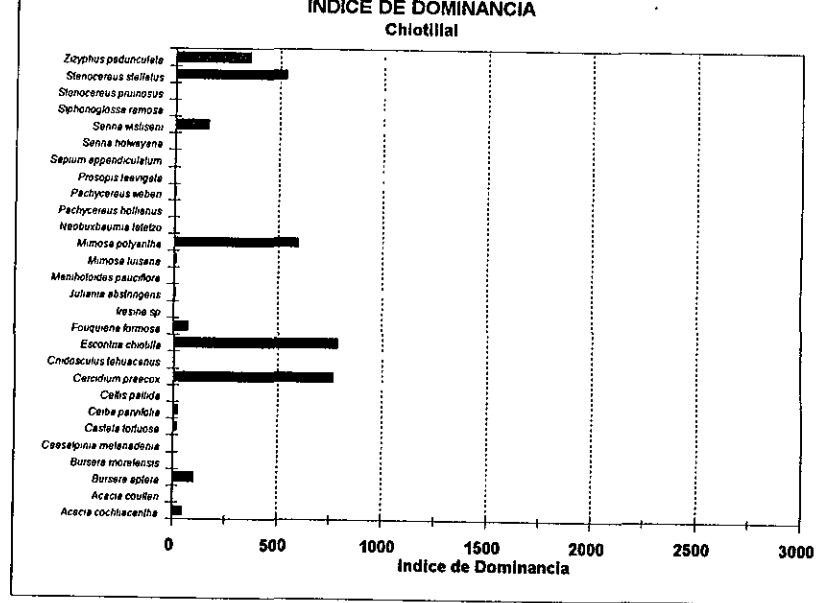
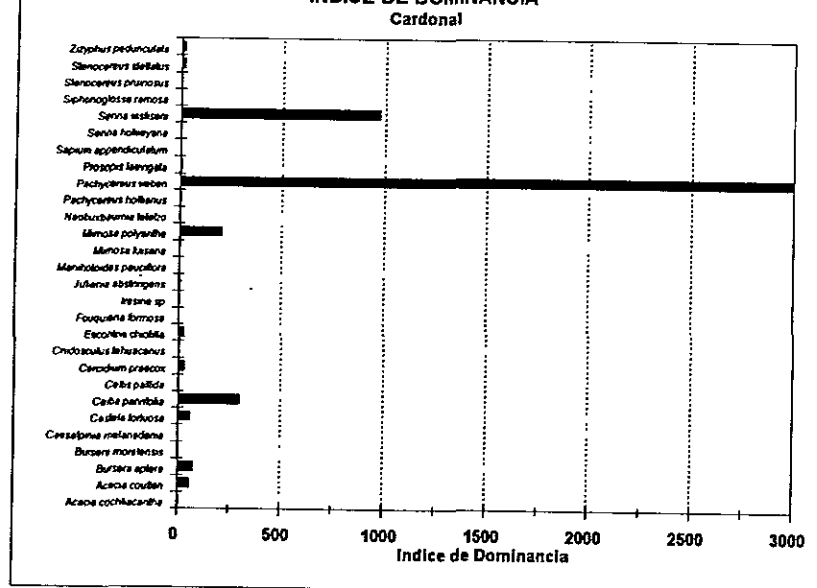


FIGURA 13.- Indices de Dominancia de Arboles para cada Tipo de Vegetación.

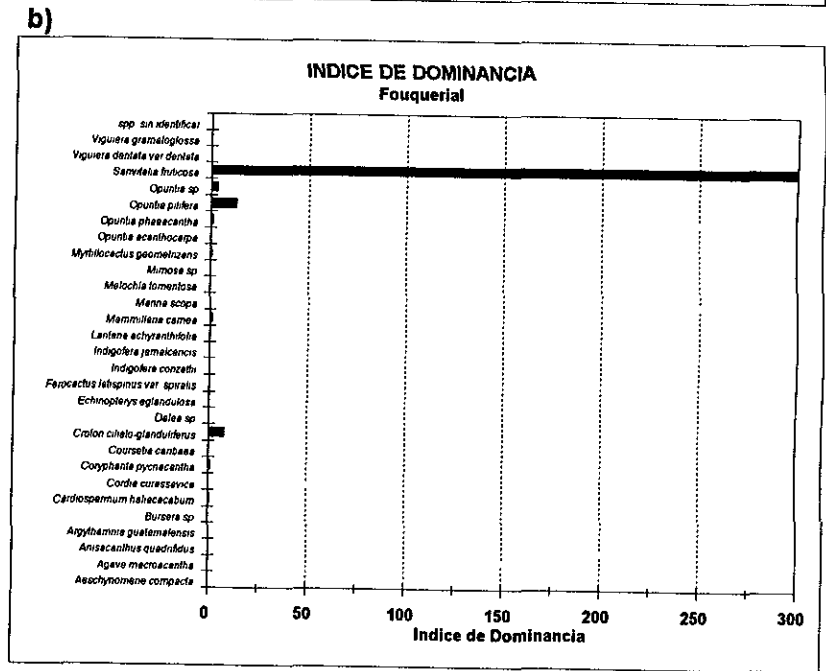
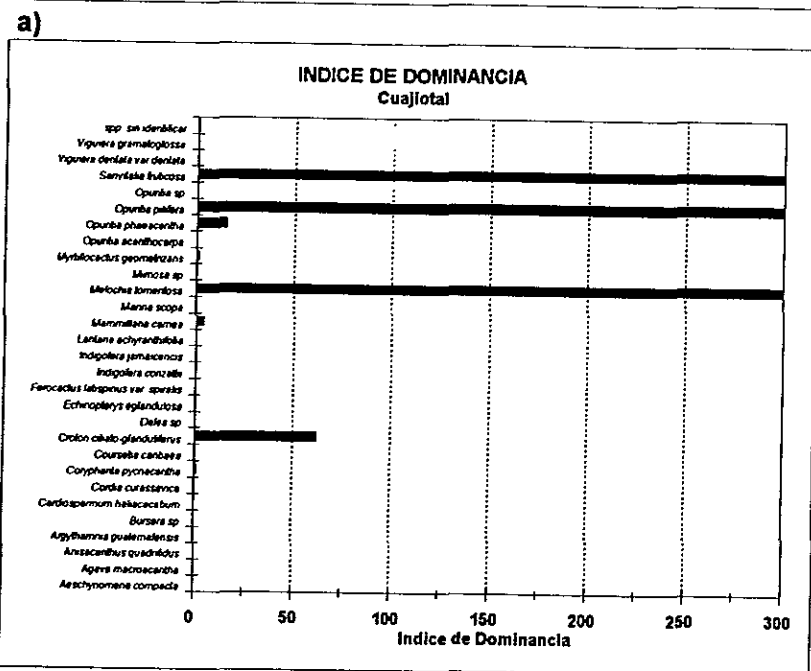
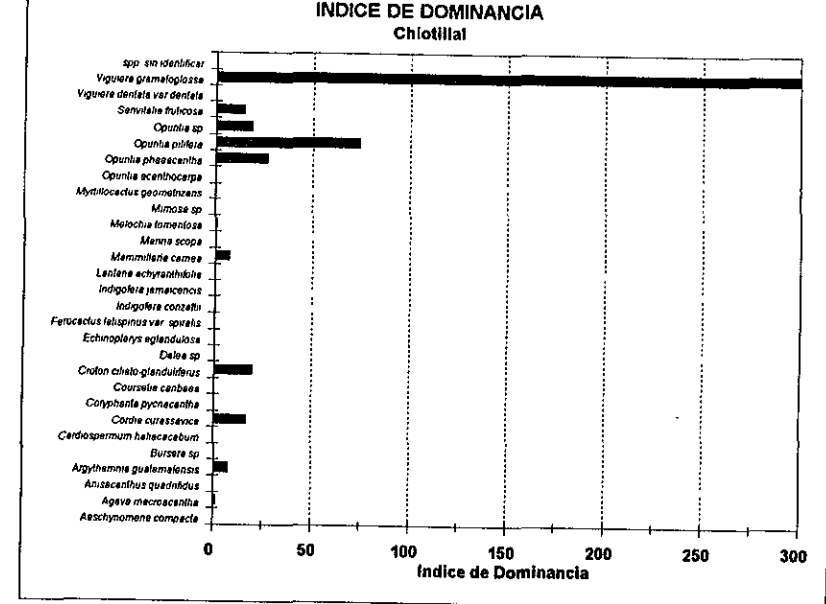
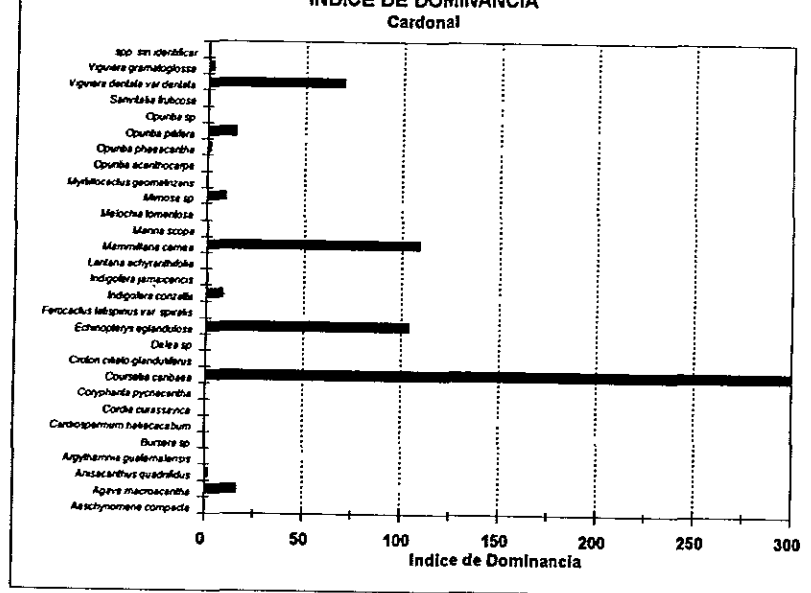


FIGURA 14.- Indices de Dominancia de Arbustos y Hierbas por Tipo de Vegetación.

El índice de similitud de Jaccard (Cuadro 8) reflejó que el Chiotillal (N2), el Cuajiotal (N3) y el Fouquerial (N4), muestran cierta semejanza en cuanto a su composición de especies (62 a 65%); sin embargo, todos los anteriores presentan una similitud muy baja con el Cardonal (31 al 48%). De las 4 comunidades descritas, el Cardonal de *Pachycereus weberi* es la que muestra una menor similitud con las demás, similitud que decrece conforme se pasa a un nivel topográfico superior (cuadro 8).

CUADRO 8.- INDICE DE SIMILITUD DE JACCARD ENTRE NIVELES TOPOGRÁFICOS.				
NIVELES	N1: Cardonal	N2: Chiotillal	N3: Cuajiotal	N4:Fouquerial
N1: Cardonal			
N2: Chiotillal	48%		
N3: Cuajiotal	40%	63%	
N4:Fouquerial	31%	65%	62%

El análisis de componentes principales indica que la combinación de los primeros tres factores explican el 73.74% de la totalidad de la varianza encontrada (cuadro 9).

CUADRO 9.- PORCENTAJE DEL TOTAL DE LA VARIANZA EXPLICADA POR FACTORES						
	1	2	3	4	5	Factores
	40.726	18.557	14.460	9.482	5.066	% Varianza
	40.726	59.283	73.743	83.225	88.291	% Varianza Acumulada

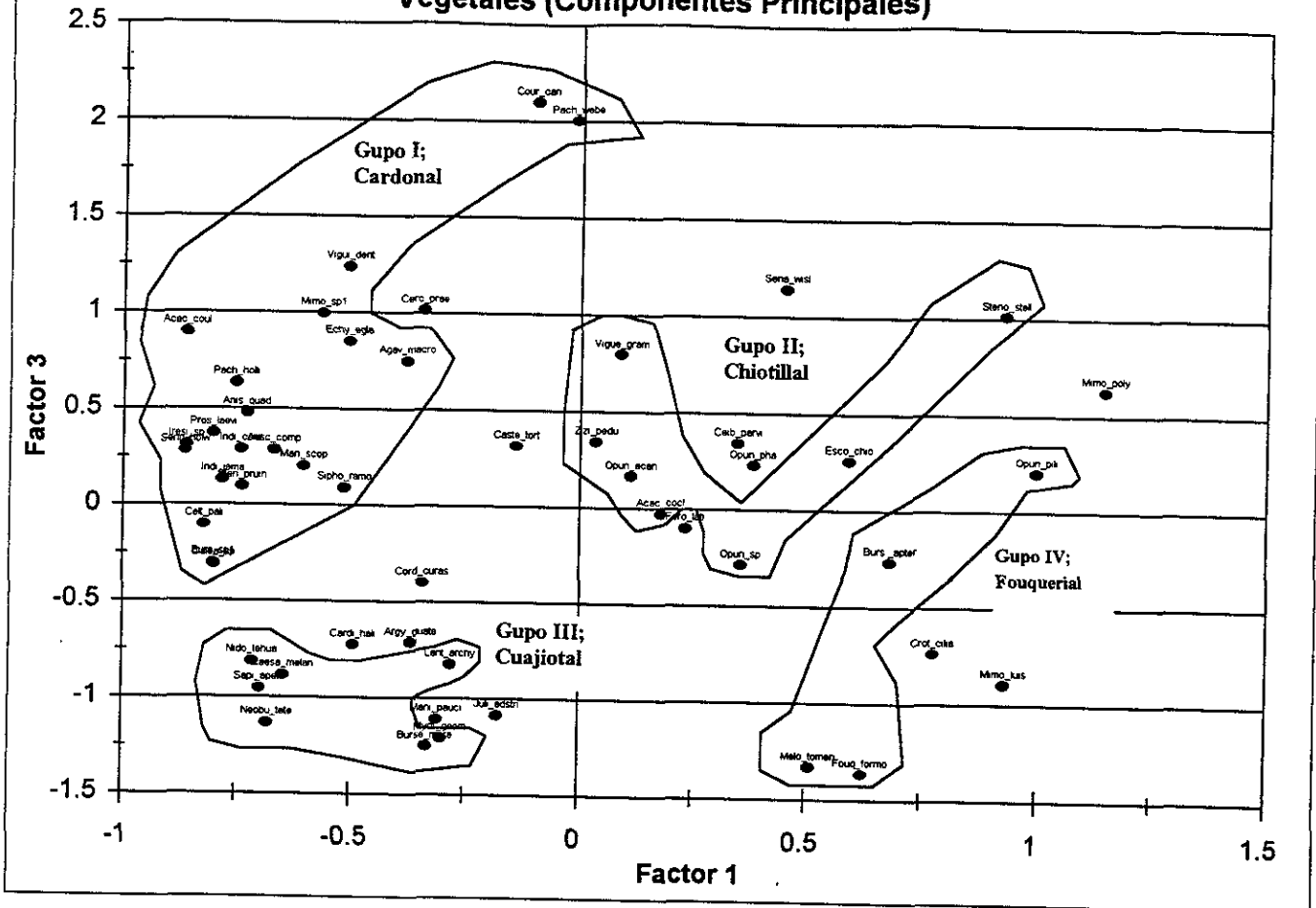
La carga ó pesos de cada una de las variables analizadas dentro de cada factor se presentan en el cuadro 10:

CUADRO 10.- Peso de cada variable latente en las 5 variables manifiestas (factores)

(variable por nivel)	FACTORES				
	1	2	3	4	5
FREC1	0.068	0.524	0.322	0.107	-0.739
ALTURA1	0.854	0.385	0.202	0.034	0.086
COBERT1	0.731	0.520	0.156	-0.113	-0.105
DENSID1	-0.684	0.690	0.131	0.094	0.125
FREC2	-0.451	-0.241	0.104	0.746	-0.071
ALTURA2	0.779	0.458	0.236	-0.137	-0.019
COBERT2	0.428	-0.035	-0.251	0.784	0.074
DENSID2	-0.733	0.627	0.112	0.130	0.148
FREC3	-0.507	0.065	-0.595	0.179	-0.256
ALTURA3	0.834	0.331	-0.008	0.192	0.130
COBERT3	0.351	0.102	-0.774	0.057	-0.208
DENSID3	-0.785	0.553	-0.026	0.044	0.043
FREC4	-0.323	0.256	-0.654	-0.386	-0.043
ALTURA4	0.836	0.364	-0.088	0.223	0.154
COBERT4	0.441	0.328	-0.772	-0.027	0.120
DENSID4	-0.747	0.634	0.012	0.054	0.173

La altura y la cobertura tienen un elevado valor de ponderación en el primer componente, por lo que son variables importantes en la interpretación del 41% de la variabilidad observada en los datos (cuadro 9). La densidad es una variable con una ponderación homogénea mayor en el segundo factor, por lo que se integra a las anteriores variables para explicar casi el 60% de la variabilidad. La cobertura presenta los mayores valores de ponderación en el tercer factor, quedando explicado el 74% de la variabilidad con la integración de esta variable a las anteriores. La mayor cantidad de la variación observada, queda inmersa en los primeros 2 componentes, siguiendo una disminución gradual en importancia hacia el factor 5, por lo que la combinación gráfica de estos 5 factores representará la distribución espacial natural de unas especies con respecto a las otras (Ato y López, 1994). La gráfica resultante que con mayor claridad representa la distribución espacial de las especies fue aquella elaborada mediante la combinación del factor 1 y el factor 3 y se presenta en la figura 15.

Figura 15.- Agrupación de Especies Vegetales (Componentes Principales)



En dicha gráfica se aprecia una tendencia natural a la agrupación de las especies en grupos que corresponden aproximadamente al nivel 1 (cardonal), nivel 2 (chiotillal), nivel 3 (cuajiotal) y nivel 4 (fouquierial). Los grupos que se separan con mayor claridad son el nivel 1, el nivel 3 y el 4, quedando más dispersas las especies del 2 nivel, ya que la mayoría de ellas se comparten entre los demás niveles.

A partir de la combinación de los resultados sobre presencia-ausencia de especies por nivel (cuadro 6), la distribución de especies dominantes (figuras 13a-13d y 14a-14d) y la graficación por grupos a partir de componentes principales (figura 15), se puede considerar que la vegetación refleja dos comportamientos: especies que están presentes en todos los niveles topográficos con mayor dominancia en alguno de ellos, donde se incluyen especies como: *Pachycereus weberi* (dominante en N1), *Senna wislisenii* (dominante en N1), *Ziziphus pedunculata* (dominante en N2), *Bursera aptera* (dominante

en N4), *Escontria chioiltilla* (dominante en N2), *Ceiba parvifolia* (dominante en N1), *Stenocereus stellatus* (dominante en N2), *Mimosa polyantha* (dominante en N3), *Mimosa luisana* (dominante en N3) y *Opuntia pilifera* (dominante en N4). Y un segundo comportamiento en donde se observan especies que son abundantes sólo en algún nivel en particular, estando ausentes en cualquiera de los otros niveles, incluso de los más próximos. Entre estas especies se encuentran:

- Nivel 1, CARDONAL.- *Pachycereus hollianus*, *Acacia coulteri*, *Prosopis laevigata*, *Senna holwayana*, *Celtis pallida*, *Anisacanthus quadrifidus*, *Indigofera jamaicensis*, *I. conzatii*, *Marina scopa* y *Viguiera dentata var. dentata*.
- Nivel 2, CHIOTILLAL.- *Cordia curassavica*.
- Nivel 3, CUAJIOTAL.- *Cnidoscopus tehuacanus*, *Sapium appendiculatum*, *Bursera morelensis*, *Neobuxbaumia tetetzo*.
- Nivel 4, FOUQUERIAL.- *Manihotoides pauciflora* y *Caesalpinia melanadenia*.

El primer y tercer niveles quedan delimitados con mayor claridad en la figura 15 debido a que presentan una mayor cantidad de especies "exclusivas", que no se comparten con los demás niveles. Por su parte, los niveles 2 y 4 presentan una agrupación más dispersa en la figura, ya que son pocas las especies que le brindan cualidades particulares a dichos niveles.

La agrupación de especies entonces parece señalar que hay especies exclusivas y especies que se comparten en mayor o menor grado entre los niveles topográficos en estudio.

El resultado del análisis de conglomerados (Cluster Analysis) se presenta a manera de dendrograma en la figura 16:

ANALISIS DE CLUSTER, DISTANCIA EUCLIDIANA

METODO DE ASOCIACION SIMPLE (AGLOMERATIVO), VECINO MAS PROXIMO

DENDROGRAMA RESULTANTE:

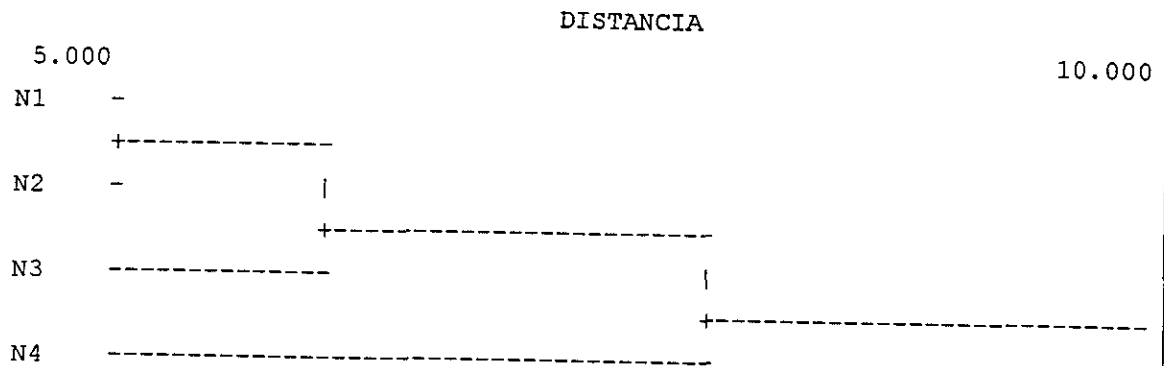


Figura 16.- Patrón Gradual de Similitud entre Niveles Topográficos Próximos.

De acuerdo con el dendrograma, la dominancia de ciertas especies por nivel refleja un patrón gradual de semejanza entre niveles próximos, haciéndose cada vez menor la semejanza entre niveles distantes. Ello apoya la premisa de que existe una relación de evolución gradual en las diferencias en la topografía y las características que determinan la dominancia de las especies por nivel; características que posiblemente sean definidas por el tipo de suelo en cada nivel y sus cualidades.

7. DISCUSION

Los cambios climáticos reportados por Hodell *et al.* (1991), Akin (1991), Delcourt y Delcourt (1991) para la región caribeña y el sur de Norteamérica hacia finales del Pleistoceno e inicios del Holoceno, sugieren que la formación del abanico aluvial al pie de la Barranca de Muchil, en Coxcatlán, Puebla, ocurrió durante el Holoceno, a partir de los frecuentes eventos de precipitación torrencial reportados por estos autores. Este abanico aluvial está formado por una matriz arcillosa con clastos de gran tamaño, angulosos y mal clasificados, que revelan un origen a partir de procesos como *Debris flow* y *Sheetflood* (Blair y McPerson, 1994), hasta obtener su actual conformación. Asimismo, la estratificación de limolitas y sedimentos más finos sobre esta matriz de clastos, así como la franja de arenas y sedimentos depositados hacia el final del abanico, como se aprecia en la fotografía aérea del mismo, pone en evidencia la posterior erosión de la superficie del abanico por escurrimiento de agua (Blair y McPerson, 1994). Cuando un depósito convexo se erosiona, generalmente muestra un patrón topográfico escalonado simétrico hacia la parte superior como el reportado por Klein (1995), ya que el agua tiende a fluir por las partes menos compactas del depósito (usualmente del centro hacia afuera). No obstante, en el caso del abanico aluvial de Barranca Muchil, se aprecia el levantamiento del terreno y un escalonamiento asimétrico conformado por cuatro niveles topográficos a la altura del abanico medio, cuya altura varía gradualmente de 3.5 m, por encima del nivel medio del arroyo al Oeste, a 0.5 m sobre el nivel medio del arroyo que corre al Este del abanico. Esta inclinación en sentido Oeste-Este, se atribuye probablemente a un fallamiento del terreno que corre paralelo al cauce del arroyo al Oeste del abanico y cuyo movimiento se estima que ha ido ocurriendo en forma paralela a la erosión de la superficie del abanico, para dar como resultado la configuración topográfica que se observa.

Las propiedades y distribución de los suelos en un abanico aluvial están íntimamente relacionadas con su posición topográfica y las condiciones particulares del sitio. En ambientes de depósito como el presente, los procesos pedogenéticos han tenido mayor tiempo de incidencia en aquellas superficies de terreno que no han estado sujetas a procesos erosivos en un lapso de tiempo considerable, por lo que se les considera como "estables". En este sentido, de acuerdo con los resultados, los niveles más altos de la superficie coluvial parecen corresponder a tiempos de estabilidad más largos y por consiguiente a mayores tiempos para el desarrollo de procesos pedogenéticos, resultando en suelos presumiblemente más viejos.

El grado de desarrollo de un suelo depende de diversos factores y procesos tanto internos como externos; factores como clima, vegetación, fauna, pendiente, distancia a la

fueron de coluvión, flujo de polvos, textura, porosidad, formación de precipitados, mineralogía del material parental, etc. (Birkeland, 1984). El factor tiempo integra la duración de varios de estos procesos, por lo que el estudio del desarrollo de los suelos en geoformas de diferentes características se basa en *cronosecuencias edáficas* (Harden *et al.*, 1991). Éstas son secuencias de suelos en las que alguna o varias de sus propiedades son referidas a diferencias relativas en edad, ya que se considera que un primer estadio de evolución de cierta propiedad edáfica, precederá a un estadio más avanzado y así sucesivamente hasta tener una secuencia gradual de edades del suelo (Harden *et al.*, 1991; McAuliffe, 1994; Parker, 1995; Eash y Sandor, 1995; Valiente-Banuet, *et al.*, 1995). Sin embargo, cuando se analizan diferencias en las propiedades de los suelos que no sean atribuibles exclusivamente al factor tiempo, el análisis de una cronosecuencia puede ser muy débil y poco válido, por lo que en la mayoría de los estudios de cronosecuencias se busca la homogeneización de la variabilidad de aquellos factores formadores de suelos, cuya incidencia sea independiente del tiempo. Para lograr dicha homogeneización, en este trabajo se seleccionó como área de estudio a una sección topográfica de aproximadamente 740 m de largo por 100 m de ancho, a la altura del abanico medio, perpendicular al ápice del abanico (McAuliffe, 1994; Eash y Sandor, 1995) en la cual, condiciones como el clima, la pendiente, la distancia a la fuente de aporte de aluvión, el flujo de polvos, así como la mineralogía y granulometría del material parental, fueran similares para todos los puntos dentro de la sección; y que sin embargo, las diferencias en la topografía y en la composición de la cubierta vegetal fueran evidentes.

El reconocimiento de una cronosecuencia en las topofomas del abanico aluvial de Barranca Muchil se realizó por medio de un fechamiento relativo de los diferentes suelos identificados, con base en el análisis de los cambios morfológicos tiempo dependientes de la acumulación de arcillas y carbonatos. Esta forma de fechamiento relativo es una metodología muy común en otros trabajos (Machette, 1985; Harden *et al.*, 1991; Monger, Daugherty y Gile, 1991; McAuliffe, 1995; Parker, 1996). En zonas áridas y semiáridas el proceso pedogenético predominante es la precipitación de sales; entre la que resalta por ser la primera en precipitarse, el carbonato de calcio (Claridge y Campbell, 1982). La infiltración y acumulación de precipitados de carbonato de calcio es un proceso dependiente del tiempo, en el que a mayor tiempo de estabilidad de una topofoma, corresponde una mayor cantidad de CaCO_3 acumulado. En el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, el carbonato de calcio procede posiblemente de las formaciones calcáreas inmediatas al abanico, así como del carbonato disuelto en el agua de lluvia. Esta sal posteriormente es infiltrada hacia el interior de los horizontes del suelo, hasta un punto de precipitación, con la eventual formación de horizontes carbonatados. Ello es un proceso dependiente del tiempo, por lo que los horizontes carbonatados progresivamente más complejos se observan en las geoformas

más antiguas, siguiendo una secuencia gradual de grados de carbonatación (Machette, 1985; Harden *et al.*, 1991; Monger, Daugherty y Gile, 1991; Eash y Sandor, 1995).

De acuerdo con los resultados, los cuatro suelos analizados presentan diferencias marcadas en sus grados de acumulación y precipitación de carbonato de calcio. Los suelos en los niveles 1 y 2 corresponden a los ambientes con menor depositación de CaCO_3 y por consiguiente, se les ha considerado como los suelos más jóvenes. En contraparte, los suelos en los niveles 3 y 4 mostraron grados de desarrollo morfológico avanzados en sus precipitados de carbonato, además de claros horizontes petrocálcicos (Machette, 1985; Harden *et al.*, 1991; Monger, Daugherty y Gile, 1991), correspondiendo a suelos de mayor edad. Concordantemente, Eash y Sandor (1995), reportan que en los abanicos aluviales, las superficies más jóvenes generalmente se localizan en las inmediaciones de las márgenes de los escurrimientos (ríos, arroyos), mientras que las superficies más antiguas se localizan en elevaciones mayores, siguiendo una sucesión gradual de alturas y edades, tal y como se aprecia en el abanico de la Barranca de Muchil. En este caso, el arroyo al Oeste del abanico corre por una falla que ha ocasionado el levantamiento del abanico en sentido O-E, permaneciendo el nivel 4 (el más próximo a este arroyo) como el más alto y el más antiguo de todos los analizados, mientras que los niveles 1 y 2 se localizan de manera inmediata al arroyo que corre por la margen Este del abanico y corresponden a las topoformas más jóvenes.

Tanto el grado de desarrollo morfológico de los precipitados de carbonato de calcio en cada uno de los horizontes de los suelos analizados, como la presencia de horizontes petrocálcicos y la profundidad de éstos, permitieron estimar una secuencia relativa de edades entre los cuatro niveles topográficos. Así, se aprecia que los niveles 1 y 2 corresponden a las superficies más bajas y más jóvenes, el nivel 3 a una edad relativa intermedia y el nivel 4 es la superficie más alta y a la vez la más antigua, ya que presenta una profundidad de desarrollo del horizonte petrocálcico mayor que la del horizonte en el nivel 3, lo cual es un indicio de mayor antigüedad (Machette, 1985; Harden, *et al.*, 1991).

No obstante de ser uno de los procesos de mayor relevancia en ambientes de zonas áridas, la carbonatación no es el único proceso que se consideró para reconocer la existencia de una cronosecuencia de los suelos a lo largo de la sección analizada del abanico. Al igual que los carbonatos, el aumento en la proporción de arcillas dentro de los horizontes del suelo son también indicio de una mayor o menor edad del mismo, ya que implican mayores o menores tiempos de desarrollo pedogenético (McAuliffe, 1994; Parker, 1995). En una fisionomía típica del paisaje en zonas áridas, los suelos tienen un horizonte cámbico en aquellas geoformas de mayor antigüedad, y carecen de él en las superficies más jóvenes. Los horizontes cálcicos presentes en la mayoría de los suelos, se forman relativamente rápido, dependiendo de los contenidos carbónicos del material de origen,

como el CaCO_3 presente en el aire y el agua de lluvia (Claridge y Campbell, 1982; McFadden, 1985; Harden, *et al.*, 1991); sin embargo, la formación de horizontes cámbicos, ricos en material arcilloso acumulado mediante el proceso de neoformación de arcillas "*in situ*", requieren mayores tiempos de formación, por lo que de acuerdo con Claridge y Campbell, (1982); Machette, (1985); Harden, *et al.*, (1991) y McAuliffe, (1994), en zonas áridas y semiáridas, las superficies más jóvenes presentan suelos con horizontes cálcicos poco desarrollados y horizontes cámbicos incipientes, mientras que las superficies más viejas, presentan múltiples horizontes cálcicos y petrocálcicos bien desarrollados y sólo en sitios muy antiguos se presentan horizontes con abundancia de arcillas neoformadas (horizontes cámbicos).

El análisis de los horizontes de cada uno de los cuatro suelos en estudio, demostró que no resulta factible identificar un horizonte cámbico (Bw) propiamente desarrollado en ninguno de ellos; sin embargo se observa una clara tendencia gradual hacia la adquisición de texturas cada vez más arcillosas en los suelos presumiblemente más antiguos, con el incremento gradual en los contenidos de arcillas conforme se pasa de un nivel más bajo a uno más alto (presuntamente más viejo). De forma similar se observa una clara tendencia a la disminución gradual en el contenido de arena conforme se pasa de un nivel más bajo a uno más elevado. Estos resultados, aunados a la distribución de los diferentes grados de carbonatación, apoyaron la existencia de una cronosecuencia en los cuatro suelos analizados, con una graduación de edades del suelo más joven en el nivel 1, a un suelo más viejo en el nivel 4.

De forma adicional, las diferencias en la distribución de la proporción de arcillas y arenas permitió determinar que el suelo en el nivel 2 corresponde probablemente a un suelo más antiguo que el del nivel 1, dados sus mayores contenidos de arcilla y menores contenidos de arena. La distinción en edad entre ambas superficies no fue identificada mediante el análisis de carbonatos, ya que al parecer son muy próximas en edad, pues mostraron los mismos patrones de distribución del desarrollo morfológico de carbonatos en sus horizontes.

Como se ha señalado, el análisis del desarrollo morfológico de los carbonatos y los cambios texturales, son los dos parámetros tiempo-dependientes mayormente utilizados para la identificación de cronosecuencias edáficas en climas áridos y semiáridos (Machette, 1985; Harden *et al.*, 1991; Monger, Daugherty y Gile, 1991; Eash y Sandor, 1995; McAuliffe, 1994 y Parker 1995). Sin embargo, para lograr un mayor entendimiento de cómo estos factores afectan el desarrollo de las especies vegetales, es necesario complementar los análisis anteriores, con el estudio de las variaciones en la distribución de nutrientes en el suelo y la interpretación de los cambios en las propiedades edafo-ecológicas, dentro de un marco de las interacciones suelo-planta (Rending y Taylor, 1989).

En lo referente a la distribución de nutrientes en el suelo, Birkeland (1984) señala que los suelos más jóvenes, al presentar texturas más pedregosas y arenosas, son poco capaces de retener nutrientes en forma de cationes como potasio (K^+), calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y nitrógeno (como NH_4^+), ya que éstos se infiltran rápidamente hacia horizontes sub-superficiales, quedando atrapados en horizontes de texturas más arcillosas con cargas negativas. Sin embargo, los resultados obtenidos indican lo contrario, ya que los suelos presumiblemente más jóvenes fueron los que reportaron mayores concentraciones de nutrientes y los horizontes más superficiales fueron los que mostraron una mayor concentración de los mismos.

De acuerdo con los resultados (figuras 11a a 11c), el potasio es abundante en los horizontes superficiales (Ah), siendo muy reducido en el horizonte de transición (ACK). Su concentración en el solum (figuras 12a a 12c) tiende a disminuir conforme se pasa de un nivel más bajo a uno más alto, por lo que los suelos más viejos reflejaron ser más pobres en este nutriente. Por su parte, el fósforo (anión) tiende a mantenerse igual entre horizontes en el nivel 1, e incrementarse ligeramente hacia los horizontes subsuperficiales y de transición en los niveles 2 y 3. No obstante, al analizar el contenido de fósforo aprovechable en el solum (figuras 12a a 12c), se aprecia una tendencia a la reducción en su contenido entre suelos de niveles topográficamente más bajos, hacia suelos de niveles más altos. Finalmente, el nitrógeno (como nitrato) tiende a aumentar ligeramente en los horizontes de transición (figuras 11a a 11c); sin embargo su contenido en el solum disminuye considerablemente de suelos en niveles más bajos, a suelos más altos.

Se estima que esta reducción gradual en las concentraciones de nutrientes entre niveles topográficos más bajos y más altos es debida probablemente a las condiciones climáticas en zonas áridas y semiáridas, como las imperantes en Barranca de Muchil, en donde la evaporación predomina sobre la precipitación, impidiendo que los nutrientes sean lixiviados hacia horizontes sub-superficiales, quedando atrapados en los horizontes superficiales. El suelo del tercer nivel mostró ser el más empobrecido de todos en lo referente a los nutrientes analizados, mientras que el suelo en el primer nivel es el más rico. Estos resultados parecen indicar que disminuye la cantidad de nutrientes conforme los suelos se hacen más viejos. Ello podría estar relacionado con un mayor número de organismos presentes por metro cuadrado en los niveles más viejos, con respecto a la cantidad de organismos en los niveles más jóvenes.

En lo que se refiere a las propiedades edafo-ecológicas, se puede señalar que los suelos más jóvenes (niveles 1 y 2) mostraron una mayor penetración de raíces con respecto a aquella en los niveles más viejos (3 y 4). Ello es debido a que en los suelos más viejos, aumentan la pedregosidad y la proporción de arcillas, haciendo que el suelo sea más compacto y menos adecuado para el despliegue radical de la planta.

La porosidad y la capacidad de retención de agua, son parámetros de gran importancia para el establecimiento exitoso de una cubierta vegetal. Los poros del suelo se pueden encontrar llenos de aire o agua, según su diámetro y el balance hídrico del sitio, por lo que la retención de agua se comporta de acuerdo con las leyes de capilaridad y de adsorción a superficies fijas, de manera que entre más estrecho sea un capilar, más alto subirá el agua dentro de él y más grande será la fuerza con la que el agua será retenida, dificultando su absorción por parte de las raíces (Siebe, Jahn y Stahr, 1996). Los suelos en Barranca Muchil son pedregosos, con gran abundancia de poros de diferentes tamaños y formas (anexo II), a excepción de los horizontes petrocálcicos en los niveles 3 y 4 que carecen de macro-poros, de ahí su carácter impermeable. Para evaluar la porosidad y la capacidad de retención de agua asociada a ésta, se consideraron variables como la totalidad del espacio poroso (VPT). Si la totalidad del espacio poroso se encuentra saturado de agua, la capacidad de aireación (CA) de un suelo es nula, por lo que debe existir un balance entre ambas variables. Cuando un suelo presenta un equilibrio entre su capacidad máxima de retención de agua y su capacidad de aireación, estará en mejores posibilidades de soportar una cubierta vegetal. Los resultados señalan que existe una mayor capacidad de retención de agua en el nivel 1 (del 31 al 50% del volumen) con respecto a los demás suelos. Sin embargo, en términos generales, esta variable se comporta de manera semejante en los 4 niveles analizados, por lo que no puede considerarse que en este caso en particular, esté influyendo notoriamente como una condición determinante en el tipo y características de la cubierta vegetal.

La mayoría de los suelos estudiados presentan una adecuada capacidad de aireación (CA), a excepción del nivel más alto, en donde el aumento en la proporción de arcillas disminuye la cantidad de poros de más de $50.0 \mu\text{m}$, dificultando su drenaje y con ello, reduciendo su capacidad de aireación.

De la totalidad de agua almacenada en poros con diámetro entre $2 \mu\text{m}$ y $50.0 \mu\text{m}$, solamente una parte de ésta queda a disposición de las plantas, por lo que se le denomina cantidad de agua disponible (dCC) (el agua retenida en poros menores a $2\mu\text{m}$ no puede ser absorbida por las plantas). Los resultados mostraron una mayor cantidad de agua disponible en los niveles 1 y 2, con respecto a los demás niveles, lo cual hace pensar que, al estar estos factores íntimamente ligados con la proporción de arenas y arcillas en el suelo, la disponibilidad de agua sea uno de los factores limitantes para el desarrollo de la vegetación en los niveles de terreno bajo estudio.

Otro factor determinante de la calidad del sitio es la conductividad hidráulica (Kf), la que se puede manifestar como una propiedad física del suelo que lo capacita para transmitir agua o aire (Siebe, Jahn y Stahr, 1996). De acuerdo con los resultados, se puede señalar

que en general, los suelos en los 4 niveles son de regulares a buenos transmisores de agua o aire (alta K_f). Este factor es relevante en zonas áridas sujetas a un régimen de lluvias torrenciales, ya que los suelos con K_f baja en este tipo de ambientes, son fácilmente anegados cuando se localizan en zonas planas, o bien, muy susceptibles de ser erosionados si se localizan en laderas u otras formas de relieve. En el caso de los suelos en los cuatro niveles de Barranca Muchil, se considera que se trata de superficies estables, ya que tanto el valor de la K_f como el coeficiente de erosionabilidad (K), mostraron que son suelos poco erosionables.

Con base en el escalonamiento topográfico de la superficie del abanico, la gradación observada en los estadios morfológicos de carbonatación, el aumento en la adquisición de texturas más arcillosas y disminución de las texturas arenosas conforme se pasa de un nivel más bajo a uno más alto, las variaciones en algunas propiedades edafo-ecológicas y la disminución de nutrientes de los niveles más altos a los más bajos, se considera que existen evidencias para reconocer de forma indirecta la presencia de una cronosecuencia de topoformas y suelos a lo largo de la sección analizada en donde el suelo del nivel más alto corresponde al suelo más viejo, y el suelo en el nivel más bajo, al suelo más joven, siguiendo una sucesión gradual de alturas y edades.

Tanto la textura como la carbonatación son parámetros que establecen las condiciones de humedad de los suelos y la disponibilidad de agua para las plantas (McAuliffe, 1994; Parker, 1995). En zonas áridas y semiáridas, el agua es fundamental para establecer la supervivencia de las especies vegetales y su persistencia en el tiempo (Valiente-Banuet *et al.*, 1995; Silva, 1996). Es por ello que, con base en los resultados obtenidos, se considera que este factor, juega un papel importante en la determinación de las especies presentes por nivel, sus características fisonómicas y las posibilidades de reclutamiento de organismos juveniles.

Autores como Barber y Silberbush (1984) y Silva (1996), señalan que los mecanismos involucrados en la falta de establecimiento de nuevos individuos en poblaciones que ocupan superficies antiguas de suelo en zonas áridas, están relacionados con la disminución del drenaje en suelos arcillosos, lo que aumenta la pérdida de agua por escurrimiento superficial y/o evaporación, así como por la presencia de carbonatos de calcio, que disminuyen la disponibilidad de agua para las plantas y afectan la absorción radical al precipitarse sobre los tejidos de las raíces (Barber y Silberbush, 1984).

La tendencia a la adquisición de texturas más arcillosas con el paso del tiempo y por consiguiente, una mayor pérdida de agua por evaporación (mayor evaporación por capilaridad en suelos más arcillosos; fenómeno denominado por Noy-Meir (1973) como el "efecto inverso de la textura"), conlleva a que los suelos de texturas más gruesas (nivel 1), tengan mayor capacidad de retención de agua que los suelos más arcillosos en los niveles 3

y 4, donde el espacio radical es reducido y la textura fina, incrementándose con ello el efecto de pérdida de agua por evaporación capilar. Se considera que tanto la capacidad de retención de agua, como la profundidad del espacio radical contribuyen como factores determinantes de la selección de la vegetación capaz de persistir en cada una de las superficies del depósito aluvial.

Los resultados del análisis de la vegetación mostraron que en la Barranca de Muchil, no obstante de que se trata de una misma superficie coluvial sujeta a similares condiciones climáticas y de material parental, la distribución de la vegetación dista de ser homogénea, pues existen asociaciones de plantas que son característicamente dominantes en cada uno de los niveles topográficos estudiados, existiendo asociaciones de especies distintas y particulares a cada nivel. Los índices de dominancia por especie y los bajos niveles de similitud encontrados, reflejaron que cada una de las comunidades vegetales asentadas, puede ser caracterizada de forma particular con base en sus especies dominantes.

Tomando en consideración la corta distancia existente entre niveles topográficos inmediatos (de 25 a 300 m aprox.), se estima que los valores de similitud de Jaccard observados resultan ser considerablemente bajos, particularmente para una comunidad que alberga especies longevas como *Pachycereus weberi* y *Escontria chiotilla*; lo que permite sugerir que dichas diferencias no sean atribuibles a procesos de dispersión de las especies, sino que posiblemente estén asociados a algún elemento del medio físico donde se desarrollan, como podría ser el factor suelo.

La vegetación reflejó que está integrada por especies con diferente grado de presencia y dominancia en la comunidad. La existencia de diferentes grados ha sido reportada por algunos autores (Braun-Blanquet, 1951 *IN*: Kent y Coker, 1992), dentro del marco de la fitosociología y permiten ubicar las especies encontradas en la Barranca Muchil dentro de los siguientes grupos: 1) *Especies Preferenciales*, aquellas que están presentes en todos los niveles topográficos con mayor dominancia y vigor en alguno de ellos como: *Pachycereus weberi* (en N1), *Senna wislizenii* (en N1), *Ziziphus pedunculata* (en N2), *Bursera aptera* (en N4), *Escontria chiotilla* (en N2), *Ceiba parvifolia* (en N1), *Stenocereus stellatus* (en N2), *Mimosa polyantha* (en N3), *Mimosa luisana* (en N3) y *Opuntia pilifera* (en N4). 2) *Especies Exclusivas*, aquellas que son abundantes sólo en algún nivel en particular, estando ausentes en cualquiera de los otros niveles, incluso de los más próximos. Entre estas especies, en el Nivel 1 están *Pachycereus hollianus*, *Acacia coulteri*, *Prosopis laevigata*, *Indigofera conzatii* y *Viguiera dentata var. dentata.*; en el Nivel 2, *Cordia curassavica*; en el Nivel 3, *Sapium appendiculatum* y *Bursera morelensis*; y finalmente en el Nivel 4, *Manihotoides pauciflora* y *Caesalpinia melanadenia*.

Otras de las especies presentes podrían incluirse dentro de un tercer y cuarto grupo según su grado de presencia en la comunidad, conformados por: 3) *Especies Indiferentes*, aquellas presentes en todos los niveles sin una afinidad por algún nivel en particular (como sería el caso de *Ferocactus latispinus*, *Acacia cochliacantha*, *Croton ciliato-eglandulosa*, y *Opuntia phaeacantha*); y 4) *Especies Accidentales*, que son aquellas especies raras o relictas de una comunidad anterior y cuya dominancia es baja en algún nivel en particular (como sería el caso de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Anisacanthus quadrifidus*, *Celtis pallida*, *Senna holwayana*, *Dalea sp.*, *Indigofera jamaicensis*, *Marina scopia* y *Cnidosculus tehuacanus*).

El análisis de la distribución espacial (utilizando componentes principales) confirmó la existencia de cuatro grupos de especies, coincidentes con los 4 niveles topográficos identificados; siendo factible la separación de los grupos utilizando los valores de dominancia por nivel, o en su caso, el nivel en donde apareció únicamente la especie.

Estos resultados permitieron identificar dos patrones en la vegetación: uno conformado por especies presentes en todos los niveles y otro conformado por especies que son muy abundantes en algún nivel en particular, estando ausentes en cualquiera de los otros niveles, incluso de los más próximos.

De acuerdo con los resultados arrojados por el análisis de conglomerados (Cluster Analysis), las semejanzas en la distribución de las especies por nivel y su grado de dominancia, obedecen a un patrón gradual de distribución, acorde al escalonamiento topográfico y a la cronosecuencia de suelos observada. Estos resultados sugieren que conforme han ido cambiando la topografía y las propiedades del suelo del sitio, algunas especies han sido capaces de tolerar dichos cambios, mientras que otras aparentemente han sido desplazadas, dando como resultado una graduación en la composición de las especies en distintos niveles y una identidad distinta para cada comunidad instalada.

Lo anterior lleva a considerar que las variaciones en los factores del suelo están limitando tanto la distribución, como la permanencia de las especies en diferentes niveles (incluso entre niveles más próximos). La distribución heterogénea de las especies vegetales en el abanico, pone de manifiesto que existe una marcada relación entre las asociaciones de especies y el nivel topográfico/suelo sobre el que se encuentran; lo que de acuerdo con Rending y Taylor (1989), lleva a considerar que una acción combinada de condiciones edáficas (textura, carbonatación, humedad, nutrientes, penetrabilidad de raíces, etc.) particulares de cada nivel, son las que limitan el desarrollo de las plantas, afectando eventualmente su capacidad de permanencia en el sitio (extinción local de especies) (Silva, 1996) y la incorporación de otras especies a la comunidad.

La identificación de patrones de distribución y dinámica de las comunidades vegetales a lo largo de una cronosecuencia edáfica, permite inferir los procesos de evolución del

paisaje en un sitio determinado. Los datos arrojados por este estudio permiten suponer de forma hipotética, la secuencia de eventos que posiblemente llevaron a la evolución del paisaje en el abanico aluvial de la Barranca de Muchil, hasta lograr su actual configuración. La hipótesis planteada corresponde a una posible explicación de los hechos, ya que se cuenta con poca información referente a la demografía de las especies y la edad de las superficies y suelos analizados; información de suma importancia para reconocer con mayor certeza, la secuencia de dichos eventos. No obstante, como una primera aproximación hipotética, a continuación se presenta una relación de posibles eventos en la evolución del paisaje del abanico aluvial de la Barranca de Muchil.

HIPOTESIS SOBRE LA EVOLUCION DEL PAISAJE EN EL ABANICO ALUVIAL DE LA BARRANCA DE MUCHIL, COXCATLAN, PUEBLA.

..... Los cambios en ciertos elementos abióticos del paisaje actúan como mecanismos promotores del desplazamiento de ciertas especies y la incorporación de otras, dentro del contexto de la sucesión ecológica de comunidades. Estos cambios, aunados a la dinámica de las comunidades vegetales que éstos promueven, determinan la evolución del paisaje....

A partir del análisis de la información, se estima que el abanico aluvial al pie de la Barranca de Muchil en Coxcatlán, Puebla, se formó durante el Holoceno; tiempo en el cual ocurrieron eventos de precipitación torrencial (Akin, 1991; Hodell *et al.* 1991) que ocasionaron la depositación masiva de material coluvial conformando una superficie convexa, característica de los abanicos aluviales (Blissenbach, 1954; Dumas, 1967; Plummer y McGeary, 1993; Blair y McPherson, 1994). Dicha superficie estuvo sujeta a la tectónica de la zona (Hidalgo-Fuenteslaz, 1958), elevando el depósito coluvial sobre su margen Oeste, dándole la actual inclinación al glacis de Oeste a Este y de Norte a Sur.

Simultáneamente, y con base en la erosión escalonada de superficies convexas planteada por Klein (1984), se estima que una porción de la superficie del abanico permaneció estable a la erosión, dejando de correr sobre ella sedimentos y agua proveniente de los procesos de modelado de abanicos aluviales (Blissenbach, 1954). Esto permitió que sobre la superficie estable se iniciaran los procesos pedogenéticos, resultando en lo que actualmente se observa como el nivel más alto (Figura 17a). Sobre este nivel, los procesos pedogenéticos actuaron para desarrollar suelos jóvenes, con texturas gruesas (predominantemente arenosos), sobre los que se asentó una comunidad vegetal probablemente conformada por especies que se desarrollan en suelos arenosos, bien

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

drenados, y con una buena cantidad de agua disponible, como *Pachycereus weberi*, *Senna wisliseni*, *Cursetia caribaea*, *Stenocereus stellatus*, *Escontria chiotilla*, *Mimosa polyantha*, *Cercidium praecox*, *Bursera aptera*, *Fouquieria formosa*, *Ceiba parvifolia*, entre otras (Figura 17b), ya que estas especies componen la comunidad actualmente asentada en suelos con estas características (suelos jóvenes).

Posteriormente, y de acuerdo con Akin (1991) y Hodell *et al.* (1991), hacia inicios del Holoceno en la región caribeña ocurrieron importantes eventos de precipitación torrencial, mismos que fueron disminuyendo con el paso del Holoceno, por lo que al reducirse las lluvias torrenciales, otra parte de la superficie del abanico quedó fuera del cauce erosivo principal, permaneciendo estable. Esta estabilidad permitió el inicio de los procesos pedogenéticos para conformar un suelo joven en lo que actualmente se observa como el nivel 3. La superficie formada con anterioridad (nivel 4) continuó sujeta al avance de los procesos pedogenéticos, aumentando su proporción de arcilla, materia orgánica y carbonato de calcio. Las concentraciones de carbonatos y los cambios texturales, empezaron a afectar la disponibilidad de agua para diversas plantas de las que ahí se encontraban asentadas, de acuerdo con sus diferentes niveles de tolerancia hacia los cambios de dichos factores.

La captación, aprovechamiento y retención o almacenamiento del agua resulta ser de vital importancia en la subsistencia de especies en ambientes áridos y semiáridos, de ahí que al modificarse las condiciones de permeabilidad y retención de agua en el suelo conforme éste "envejeció", resultó en diferentes presiones para el adecuado desarrollo de una misma especie de plantas bajo condiciones distintas de disponibilidad de este recurso (p.ej. menores tasas reproductivas y poco desarrollo); situación reportada por Silva (1996) para *Pachycereus pringley* en Baja California Sur. Al modificarse las condiciones de disponibilidad de agua para las plantas, se estima que se dieron presiones de competencia entre diversas especies, resultando exitosas aquellas con mayor facilidad para retener el agua disponible, como se demuestra en los trabajos de McAuliffe (1994) y Parker (1995).

Esta hipótesis considera entonces, que de las especies presentes y que eran dominantes a un primer tiempo, algunas fueron desplazadas por otras especies, capaces de desarrollarse de manera exitosa ante las nuevas condiciones de suelo y humedad. Es posible entonces que especies como *Pachycereus weberi*, *Senna wisliseni* y *Cursetia caribaea* (dominantes en suelos muy jóvenes) empezaron a ser desplazadas por especies como *Stenocereus stellatus*, *Escontria chiotilla*, *Mimosa polyantha*, *Cercidium praecox*, *Bursera aptera*, *Fouquieria formosa* y *Ceiba parvifolia* (Figura 17c), ya que éstas primeras se encuentran como dominantes en suelos jóvenes y se encontraron siendo menos dominantes e incluso ausentes en suelos próximos con mayor edad.

Al continuar la reducción gradual en el régimen de precipitación en el Holoceno como la reportan Akin (1991) y Hodell *et al.* (1991), se estima que en un tercer tiempo quedó

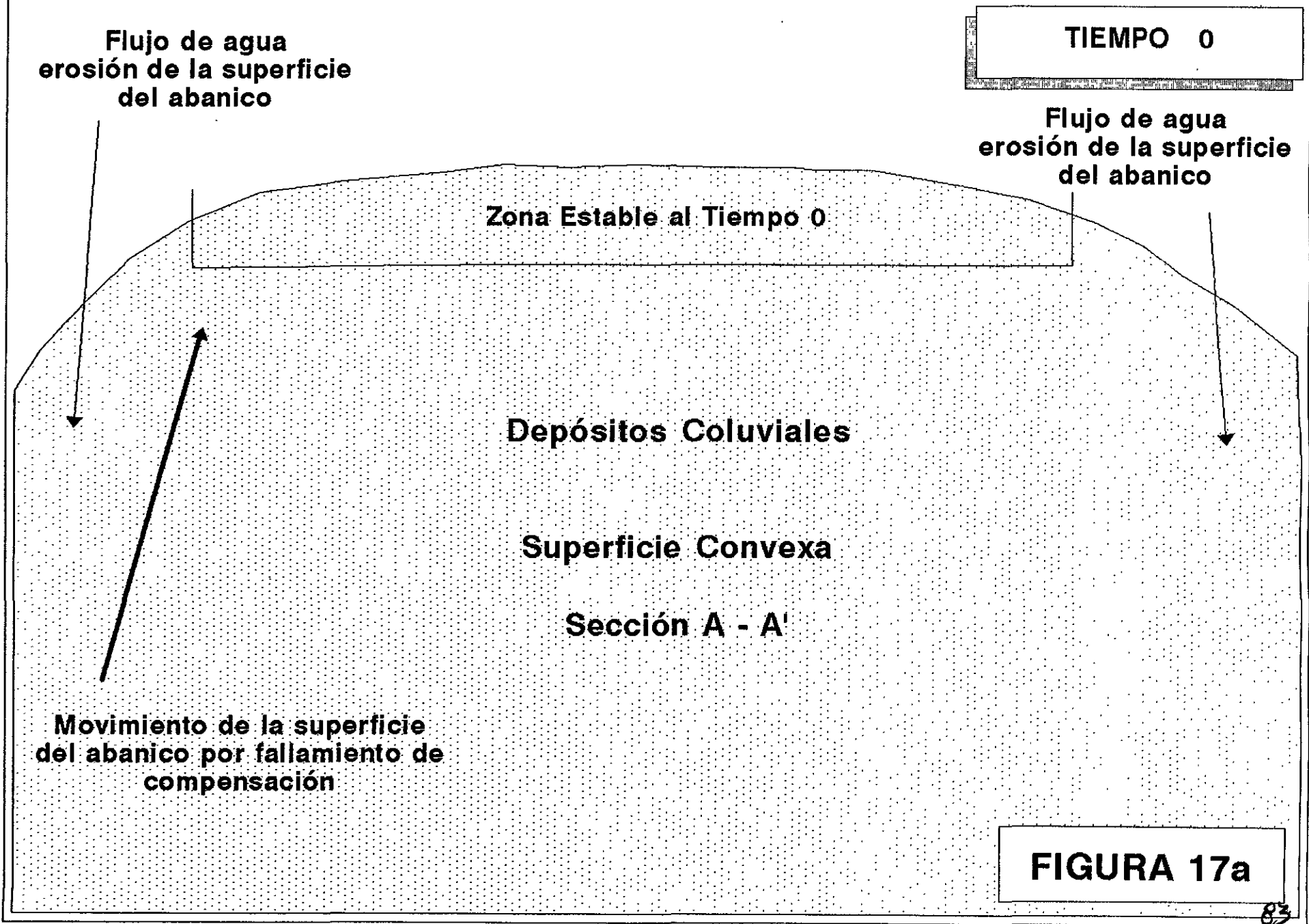
expuesta otra parte de la superficie del abanico, en la cual se iniciaron los procesos pedogenéticos para formar el suelo de lo que se observa como el nivel topográfico 2. El suelo en todos los niveles estables continuó su proceso de pedogénesis, así como el abanico continuó su proceso de erosión escalonada característica de éstos ambientes (Klein, 1985). La concentración de precipitados de carbonato de calcio llegó a un punto tal que comenzó a formarse un horizonte cálcico y posteriormente un petrocálcico en el suelo que cubría las unidades más altas y por ende, más antiguas. Asimismo, el suelo se volvió más arcilloso; aumentándose la evaporación de agua por capilaridad ("efecto inverso de la textura"; Noy-Meir, 1973). Ambas situaciones se transformaron en mayores dificultades para la captación y retención de agua para las plantas restantes, por lo que se estima que siguió presentándose un desplazamiento gradual en las especies dominantes. En este sentido, sería factible considerar que especies como *Stenocereus stellatus*, *Cercidium praecox* y *Escontria chiotilla*, empezaron a ser desplazadas por otras como *Mimosa polyantha*, *Bursera aptera*, *Fouquieria formosa* y *Ceiba parvifolia*. Ante estas nuevas condiciones edáficas generadas, se incorporaron a la comunidad especies como *Bursera morelensis*, *Mimosa luisana* y *Sanvitalia fruticosa* (Figura 17d); especies que al parecer se desarrollan muy bien en suelos someros con baja humedad y alta carbonatación (nivel 3) y no se encuentran en suelos arenosos más jóvenes.

Finalmente, en un cuarto tiempo, disminuyó la precipitación, ocupando su actual cauce el arroyo al Este del abanico, dejando expuesta la superficie que actualmente se reconoce como nivel 1, en la cual dieron inicio los procesos pedogenéticos. El suelo en las superficies más antiguas adquirió texturas más arcillosas, aumentando con ello su pérdida de agua por capilaridad. Aumentan las concentraciones de carbonatos, conformándose un horizonte petrocálcico en los suelos más viejos de los niveles 3 y 4, que prácticamente selló la penetración de agua hacia horizontes inferiores e incrementó el efecto de pérdida de agua por capilaridad, ocasionando además una mayor dificultad de absorción de agua por las raíces debido a la presencia de CaCO_3 , ya que al absorber las raíces el agua con carbonatos disueltos, éstos se encuentran cada vez más concentrados en el interior de la raíz, hasta que se precipitan, impregnándose de calcita las paredes celulares de los pelos absorbentes de las raíces, cubriéndolas y ocasionando su muerte (Monger *et al.* 1991). Este efecto está relacionado con la concentración de carbonatos en el suelo, por lo que las raíces más susceptibles van muriendo conforme aumenta la cantidad de carbonatos en el agua, factor que puede ser una de las causas físicas de la mayor o menor tolerancia de unas especies con respecto a otras, en diferentes grados de carbonatación del suelo.

A partir de la información anterior se estima que la cada vez mayor competencia por agua (McAuliffe, 1995 y Parker, 1996) que se presenta en suelos arcillosos y con altos contenidos de carbonatos, así como los diferentes grados de sensibilidad que pueden tener

las raíces de las plantas hacia la carbonatación, continuaron promoviendo el proceso de extinción local de especies (Silva, 1996), resultando en que especies como *Mimosa polyantha*, *Mimosa luisana*, *Bursera morelensis* y *Ceiba parvifolia* empezaran a ser desplazadas por *Bursera árida*, *Sanvitalia fruticosa*, *Fouquieria formosa* y *Manihotoides pauciflora* (Figura 17e), particulares de suelos muy viejos con elevados niveles de carbonatación y texturas muy arcillosas.

Finalmente, la conformación del abanico quedó tal y como se observa en la actualidad (Figura 17f), con cuatro niveles topográficos claramente definidos, distintas edades en los suelos que los conforman y diferentes integrantes florísticos en sus comunidades vegetales (Cardonal, Chiotillal, Cuajiotal y Fouquierial).



Pachycereus weberi
Senna wislizeni
Mimosa polyantha
Cursetia caribaea

Spp Dominantes

Stenocereus stellatus
Bursera aptera
Escontria chiotilla

Spp Acompañantes

TIEMPO 1

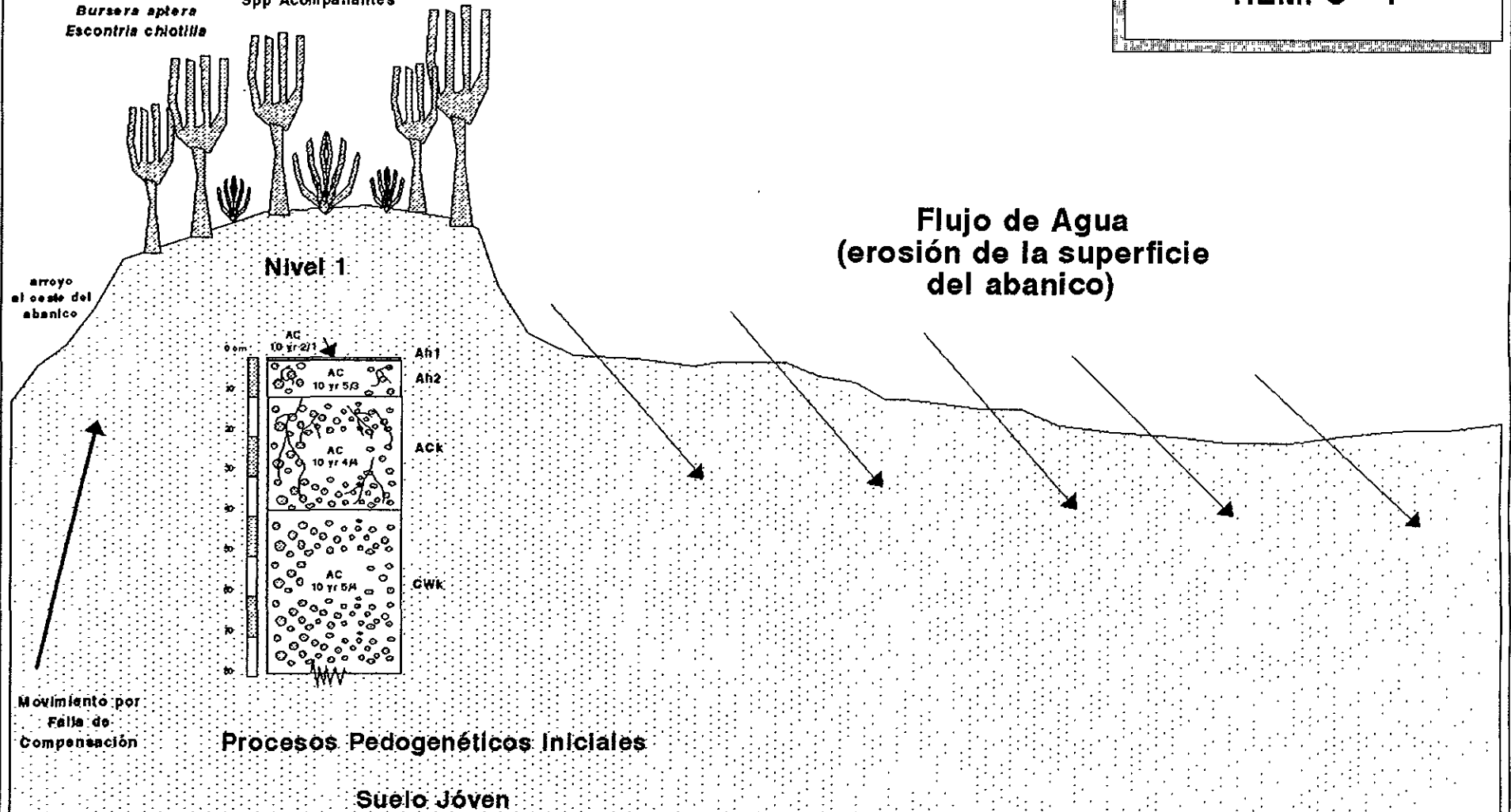


FIGURA 17b

LA BARRANCA DE MUCHIL, COXCATLAN, PUEBLA

Spp Dominantes

Stenocereus stellatus
Ziziphus pedunculata
Vigiera gramatoglossa
Escontria chiotilla
Mimosa polyantha
Cercidium praecox

Spp Acompañantes:

Pachycereus weberi
Bursera aptera

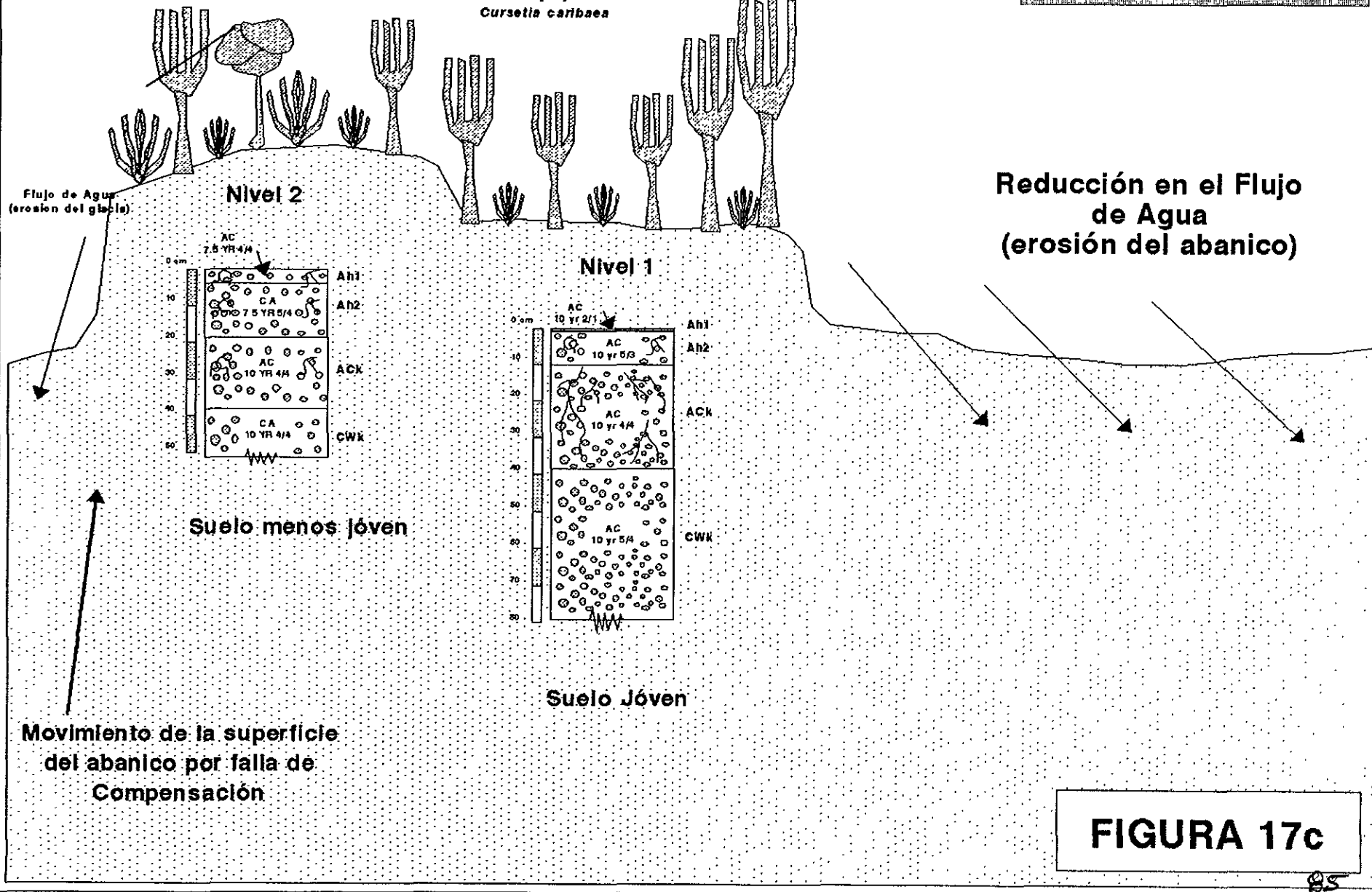
Spp Dominantes

Pachycereus weberi
Senna wislizeni
Mimosa polyantha
Cursetia caribaea

Spp Acompañantes:

Bursera aptera
Stenocereus stellatus
Escontria chiotilla

TIEMPO 2



Spp Dominantes

Spp Acompañantes

Bursera aptera
Bursera morelensis
Mimosa luisana
Fouquieria formosa

Stenocereus stellatus
Pachycereus weberi
Escontria chiotilla

Spp Dominantes

Spp Acompañantes

Stenocereus stellatus
Ziziphus pedunculata
Viguera gramatoglossa
Escontria chiotilla
Mimosa polyantha
Cercidium praecox

Bursera aptera

Spp Dominantes

Pachycereus weberi
Senna wislizeni
Mimosa polyantha
Cursetia caribaea

TIEMPO 3

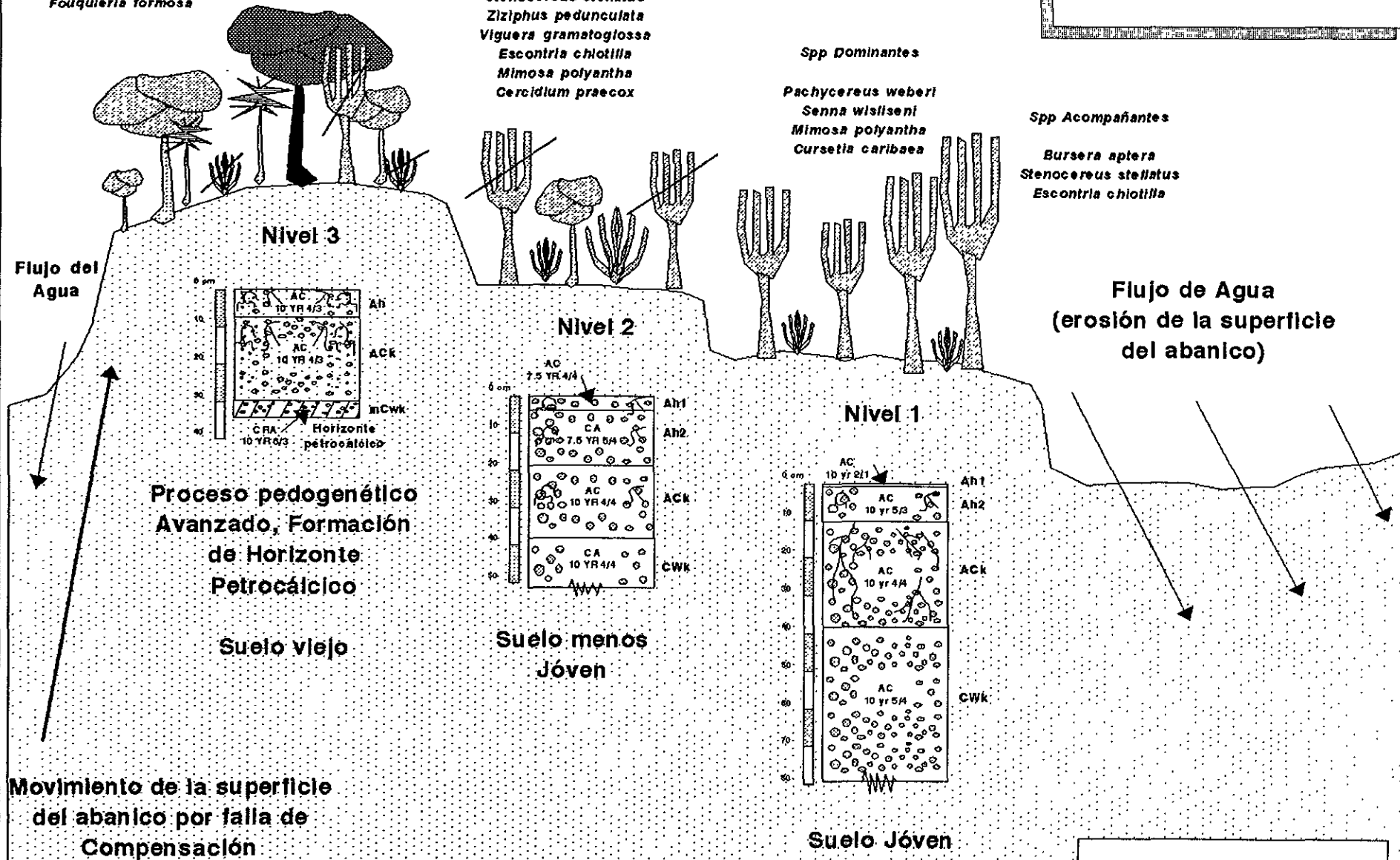


FIGURA 17d

TIEMPO 4

Spp Dominantes

Fouquieria formosa
Sanvitalia fruticosa
Manihotoides pauciflora
Ceiba parvifolia
Bursera aptera

Spp Dominantes

Bursera aptera
Bursera moreletii
Mimosa luisana
Fouquieria formosa

Spp Acompañantes

Stenocereus stellatus
Pachycereus weberi
Escontria chiotilla

Spp Dominantes

Stenocereus stellatus
Ziziphus pedunculata
Viguiera gramatoglossa
Escontria chiotilla
Mimosa polyantha
Cercidium praecox

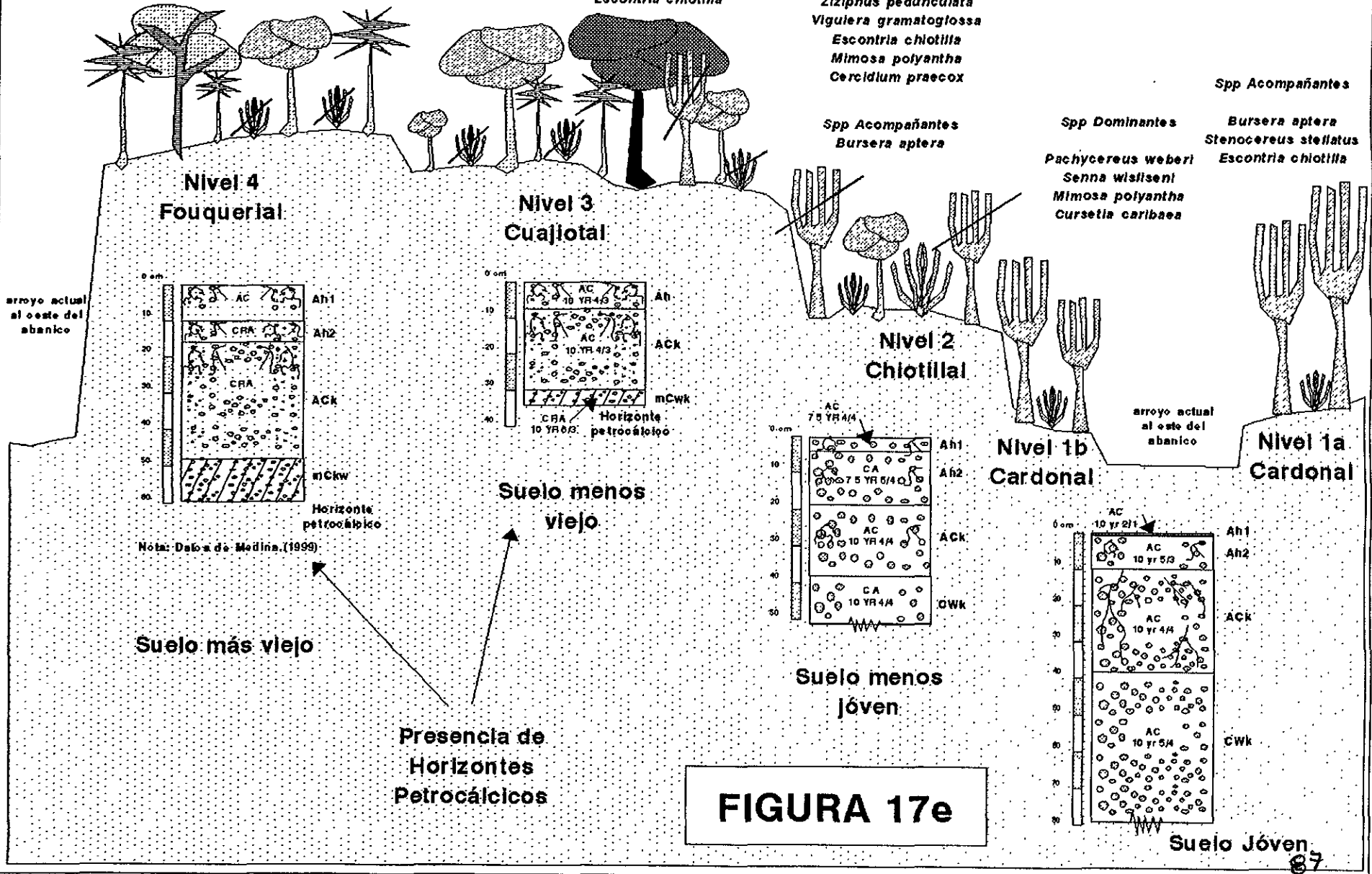
Spp Acompañantes

Bursera aptera
Stenocereus stellatus
Escontria chiotilla

Spp Dominantes

Pachycereus weberi
Senna wislizeni
Mimosa polyantha
Cursetia caribaea

Spp Acompañantes
Bursera aptera



CONFORMACION ACTUAL

Fouquieria formosa
Sanvitalia fruticosa
Manihotoides parviflora
Ceiba parvifolia
Bursera aptera

Bursera aptera
Bursera morelensis
Mimosa luisana
Fouquieria formosa

Stenocereus stellatus
Ziziphus pedunculata
Viguera gramatoglossa
Escontria chiotilla
Mimosa polyantha
Cercidium praecox

Pachycereus weberi
Senna wislizeni
Mimosa polyantha
Cursetia caribaea

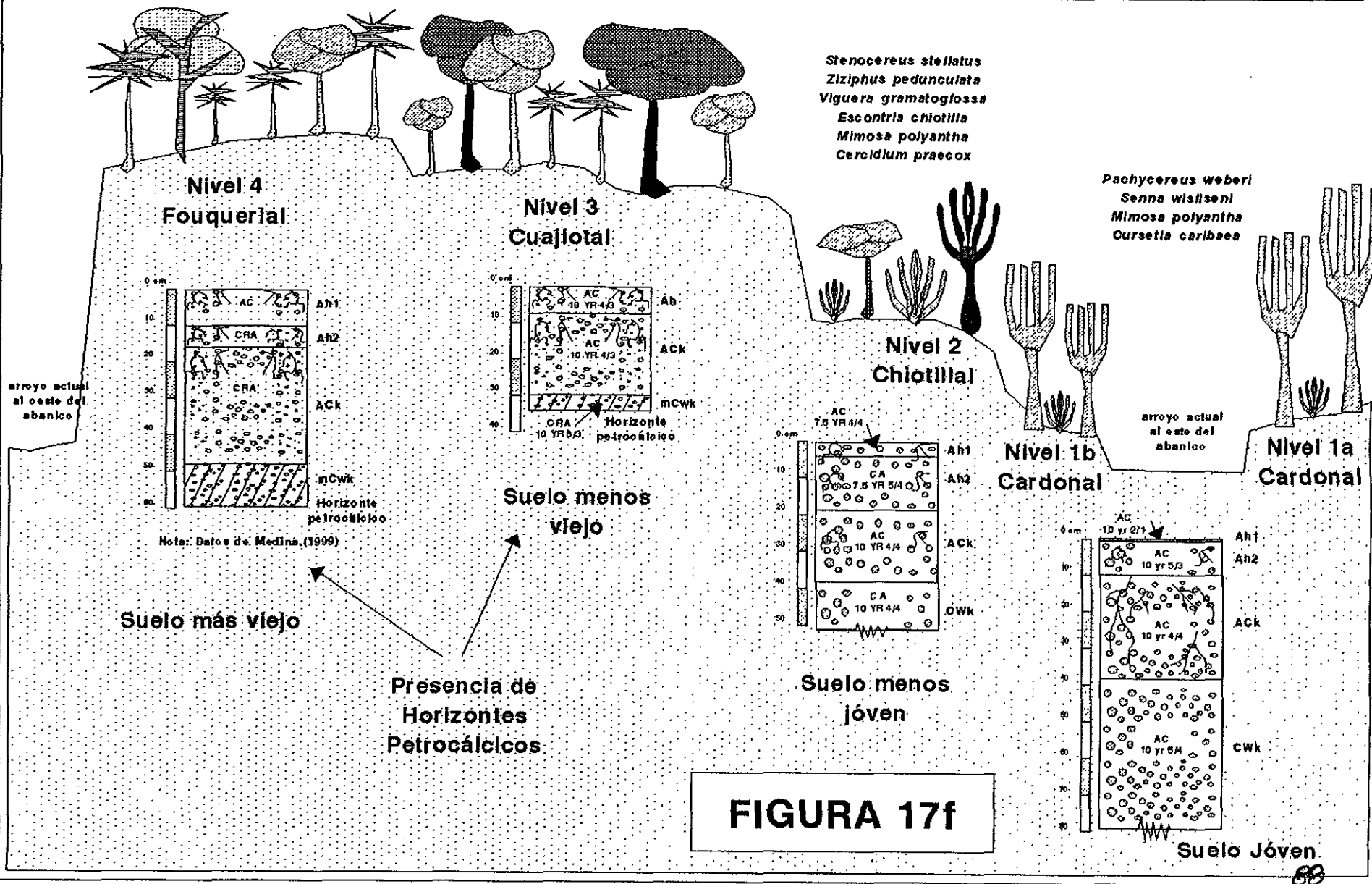


FIGURA 17f

FALTA PAGINA

No. **89**

8. CONCLUSIONES

Son pocos los estudios en donde se asocian las propiedades dinámicas de los paisajes aluviales desérticos, con los cambios y el estado actual de las comunidades vegetales (McAuliffe, 1994; Parker, 1995; Valiente-Banuet *et al.*, 1995). Ello se atribuye a la dificultad de encontrar escenarios que permitan el estudio simultáneo de las variaciones paisajísticas y la vegetación a lo largo del tiempo. Los trabajos de McAuliffe (1994) y Parker (1995), al igual que el presente, consideran que los abanicos aluviales corresponden a escenarios ideales, ya que son unidades geomórficas recientes, en donde los procesos de erosión y depositación, así como los procesos pedogenéticos, han producido y producen variaciones en suelos de diferentes características y edades. Cuando estas variaciones ocurren de manera gradual y están dadas por cambios en propiedades dependientes del factor tiempo, entonces se considera que se presenta una cronosecuencia edáfica. Ésta representa distintas opciones para el desarrollo exitoso en mayor o menor grado de algunas especies de plantas (McAuliffe, 1994; Valiente-Banuet *et al.*, 1995; Silva, 1996), por lo que es común observar sobre estas cronosecuencias, que la vegetación muestra discontinuidades entre las que resaltan diferencias en la composición florística y la dominancia de ciertas especies, como se pone en evidencia en este trabajo, el que nos permite realizar las siguientes conclusiones:

- El análisis de la superficie aluvial del abanico en Barranca de Muchil mostró que éste ha sido disectado por la erosión hídrica y afectado por la tectónica de la zona, dando como resultado un escalonamiento con cuatro niveles, siendo el de mayor altura (a 3.5 m sobre el nivel del arroyo) el nivel inmediato a la margen Oeste del abanico, y el más bajo (a 0.5 m sobre el nivel del arroyo), el nivel que se encuentra sobre la margen Este; siguiendo una secuencia gradual de altitudes entre los niveles.
- Por sus características ambientales y de material parental, el proceso pedogenético predominante en el abanico de barranca Muchil resultó ser la depositación de precipitados de CaCO_3 , seguida de la acumulación de arcillas en los horizontes intermedios del perfil del suelo, a partir del proceso de neoformación de arcillas *in situ*. Motivo de ello se tomaron como variables indicadoras de la edad relativa de los desniveles en la superficie del abanico, a la carbonatación y la neoformación de arcillas, con el fin de identificar la presencia de una cronosecuencia edáfica.

- El análisis de la morfología y concentración de carbonatos precipitados en el suelo mostró que los dos niveles superiores corresponden a suelos más antiguos, con la formación de horizontes petrocálcicos, constituyendo suelos clasificados como Calcisol pétrico (FAO-Unesco), mientras que los suelos de los niveles más bajos corresponden a suelos más jóvenes clasificados como Calcisoles háplicos, por la inexistencia de un horizonte petrocálcico.
- La distribución de la textura en la totalidad del solum mostró que existe un aumento gradual en la cantidad de arena conforme se pasa de un nivel superior a uno inferior, en asociación con un incremento en la cantidad de arcilla conforme se pasa de un nivel inferior a uno superior. Por su parte, los nutrientes reflejaron una reducción gradual al pasar de un nivel inferior a uno superior. Lo anterior da indicio de la existencia de una cronosecuencia edáfica en la que el suelo en el nivel más bajo corresponde a un suelo más joven, de textura más gruesa, poca carbonatación y altos niveles de nutrimentos, mientras que el suelo en el nivel más alto, corresponde a uno más viejo, con textura más arcillosa, horizontes petrocálcicos y bajas concentraciones de nutrientes, siguiendo una secuencia gradual de edades y altitudes.
- Las comunidades vegetales asentadas en cada uno de los 4 niveles topográficos mostraron tener muy baja semejanza entre sí (Índice de similitud de Jaccard < 60%), no obstante de encontrarse muy próximas unas de otras. Se observó una composición florística característica de cada nivel, claramente identificable (análisis de componentes principales), en donde existen especies presentes en todos los niveles y algunas que son muy abundantes o exclusivas de un nivel en particular, y que están poco representadas o son inexistentes en los demás niveles.
- Las comunidades donde dominan especies de cactáceas (como *Pachycereus weberi* y *Escontria chiotilla*) se localizan en niveles con suelos jóvenes, arenosos, bien drenados, bajos en carbonatos y que carecen de un horizonte petrocálcico; mientras que comunidades dominadas por latifoliadas como *Bursera morelensis* y *Fouquieria formosa*, se presentan en suelos más arcillosos, someros, con altos contenidos de carbonatos y la presencia de horizontes petrocálcicos a menos de 50 cm de profundidad.

BIBLIOGRAFIA

- Akin, W. 1991. A Brief Description of Climates of the Past. *IN: Global Patterns: Climate, Vegetation and Soils*. University of Oklahoma Press: Norman and London pp 145-155.
- Ato M. y J.J. López. 1994. *Fundamentos de Estadística con SYSTAT*. Addison-Wesley Iberoamericana. U.S.A. 630 p.
- Barber S.A. y M. Silberbush. 1984. Plant Root Morphology and Nutrient Uptake. *IN: David M. Kral (ed), Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth*. ASA Special Publication No. 49. *Soil Science Society Of America*, Madison, Wi. pp 65-88.
- Bennett D.P. y D.A. Humphries. 1985. *Ecología de Campo*. Hermann Blume. España. 326p.
- Birkeland, 1984. *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press. U.K. pp 233.
- Blair, T. y J.G. McPherson. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research*. Vol A64, No.3:450-489.
- Blissenbach Erich. 1954. Geology of alluvial fans in semiarid regions. *Bulletin Of The Geological Society of America*. vol 65 pp 175-190.
- Blümel W.D. 1982. Calcretes in Namibia and SE-Spain relations to substratum, soil formation and geomorphic factors. *IN: Dan H. Yaalon. Aridic Soils and Geomorphic Processes*. *Catena Supplement 1*. Braunschweig. pp 67-82.
- Buckman H.O. y N.C. Brady. 1993. *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. Utheha, Noriega Editores. México. 590p.
- Chadwick O.D. 1980. Forest development in North America following mayor disturbances. *Forest Ecology and Management 3* (1980/1981): 153-168.
- Christenson, G.E. y Ch. Purcell, 1985. Correlation and age of Quaternary alluvial-fan sequences, Basin and Range province, southwestern United States. *IN: Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States*. *Geological Society Of America Special Paper 203*. pp 115-122.
- Claridge G.G.C y I.B. Campbell. 1982. A comparison between hot and cold desert soils and soil processes. *IN: Dan H. Yaalom (Ed): Aridic Soils and Geomorphic Processes*. *Catena Supplement 1*, Braunschweig. pp 1-28.
- Clements, F.E. 1916. Plant succession. Carnegie Inst. Washington. Pub. 242. (*Apud in: Wilson J.B., et al.* 1992. Engler's concept of Initial floristic composition in succession-ecologists citing it don't agree what it means. *Oikos* 64:3, 591-593.

- Connell J.H. y R.O. Slatyer. 1977. Mechanisms of sucesion in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* Vol III, pp 1119-1144.
- Delcourt H.R. y P.A. Delcourt, 1991. *Quaternary Ecology; A paleoecological perspective*. Chapman y Hall. London. Cap.5.- Factors that structure communities. pp 123-53.
- Denslow J.S. 1985. Disturbance-mediated coexistence of species. *IN: The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics* (eds. S.T.A. Pickett y P.S. White) pp 307-323.
- Dumas B. 1967. Place et signification des glacis dans le quaternaire. *Bulletin De L'association Française Pour L'etude Du Quaternaire*. Vol 3: 223-244.
- Eash, N.S. y J.A. Sandor. 1995. Soil chronosequence and geomorphology in a semi-arid valley in the Andes of southern Peru. *Geoderma* 65: 59-79.
- Engler, F.E. 1954. Vegetation science concepts. 1. Initial floristic composition, a factor in old-field vegetation development. *Vegetatio* 4: 412-417.
- FAO/UNESCO, 1988. *Soil Map of the World, Revised Legend*. World Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1989. 138 p.
- Forman, R.T. y M. Godron. 1986. *Landscape Ecology*, Wiley and Sons, New York p-595.
- Galloway, W.E. y D.K. Hobday, 1983. *Terrigenous Clastic Depositional Systems: Applications to Petroleum, Coal and Uranium Exploration*. Springer-Verlag, New York, N.Y. 423 p.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Haines-Young, R., D.R. Green y S.H. Cousins, 1994. *Landscape Ecology and G.I.S.* Burgess Science Press, G.B. p-273.
- Harden J.W., E.M. Taylor, M.C. Reheis y L.D. MacFadden. 1991. Calcic, Gypsic and Siliceous Soil Chronosequence in Arid and Semiarid Environments. *Soil Science Society of America*. Special Publication No. 26.
- Hidalgo-Fuenteslaz M. 1958. Geohidrología y Estimación de los Volúmenes de Agua en el Subsuelo del Valle de Tehuacán, Pue. *Tesis Ingeniero Geólogo*. Escuela Nacional de Ingenieros. UNAM.
- Hodell, D.A., J.H. Curtis, G.A. Jones, A.Higuera-Gundy, M. Brenner, M.W. Binford y K.T. Dorsey. 1991. Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10,500 years. *Nature*, Vol. 352. 29 August, 1991. pp 790-793.

- Huck, M. 1984. *Water flux in the soil-root continuum*. *IN*: David M. Kral (ed), *Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth*. ASA Special Publication No. 49. *Soil Science Society of America*, Madison, Wi. pp 47-64.
- INEGI, 1980. Carta Geológica. Tehuacán. Esc. 1:250,000. México.
- INEGI, 1984. Carta Edáfica. Tehuacán. Esc. 1:250,000 México.
- INEGI, 1987. Carta Topográfica. Totitlán. Esc. 1:50,000 México.
- INEGI, 1987. Carta Hidrológica. Tehuacán. Esc. 1:250,000 México.
- Jongman, R.H.G., C.J.F. TerBraak y O.F.R. Van Tongeren. 1995. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press. p 350.
- Kent, M. y P. Coker. 1992. *Vegetation Description and Analysis: A practical approach*. CRC Press, Belhaven Press, London p 363.
- Klein, C. 1985. La notion de cycle en géomorphologie. *Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique*. Vol. 26, Fasc. 2, Paris, p 95-107.
- LaMotte, 1985. *The LaMotte Soil Handbook*. LaMotte Chemical Products Company, Chestertown, Maryland.
- Lewin, D. Peet, R.K. y Veblen, T.T. 1992. *Plant Succession: theory and predicions*. Chapman y Hall, London.
- Lustig, L. 1965. The Geomorphic and Paleoclimatic Significance of Alluvial Deposits in Southern Arizona: A Discussion. *Journal of Geology*. Vol 73. pp 95-101.
- Machette M.N. 1985. Calcic soils of the southwestern United States, *IN*: Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States. *Geological Society of America*, Special paper 203. pp 1-20.
- Mannion, A.M. 1991. *Environmental Change: Agents, Processes and the Quarternary Period*. *IN*: Mannion, A.M. *Global Environmental Change. A Natural and Cultural Environmental History*. Longman Scientific y Technical copublished with John Wiley y Sons, New York, NY. pp 1-13.
- Martínez-Ramos M. 1985. *Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración tatural de las selvas altas perennifolias*. *IN*: Gomez-Pompa A. Del Amor, S. (eds). *Investigaciones sobre las regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Ed. Alhambra Mexicana, S.A. de C.V. pp 191-227.
- Martínez-Ramos M. 1994. Regeneración Natural y Diversidad de Especies Arbóreas en Selvas Húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 54: 179-224.

- Mason J.A., C.J. Milfred y E.A. Nater. 1994. Distinguishing soil age and parent material effects on an Ultisol of north-central Wisconsin, USA. *Geoderma* 61: 163-189.
- MacNeish, R.S., S. B. Douglas y otros. 1967. *The Prehistory of the Tehuacan Valley*. Volume: Environment and Subsistence. Chapter 5: Geologic Studies. University of Texas Press, Austin Tx. London, Engl. pp 66-90.
- McAuliffe, J. 1991. Demographic shifts and plant succession along a late Holocene soil chronosequence in the Sonoran Desert of Baja California. *Journal of Arid Environments* No. 20: 165-178.
- McAuliffe J.R. 1994. Landscape evolution, soil formation and ecological patterns and processes in Sonoran Desert Bajadas. *Ecological Monographs* 64(2) 111-148.
- McFadden L.D. y J.C. Tinsley. 1985. *Rate and depth of pedogenetic-carbonate accumulation in soils: Formulation and testing of a compartment model*. *IN*: David L. Weide (ed). Soils and Quarternary Geology of the Southwestern United States.
- Medina, J. 1999. Determinación del vigor y el estado reproductivo de *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) a lo largo de una cronosecuencia edáfica en un abanico aluvial en Coxcatlán, Valle de Tehuacán. Instituto de Ecología, U.N.A.M. En proceso.
- Melton, M.A. 1965. The Geomorphic and Paleoclimatic Significance of Alluvial Deposits in Southern Arizona: A Reply. *Journal of Geology*. pp 102-106.
- Miranda, F. y X.E. Hernández, 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 28: 29-179.
- Monger C.H., L.A. Daugherty y L.H. Gile. 1991. A Microscopic Examination of Pedogenetic Calcite in an Aridsol of Southern New Mexico. *Soil Science Society of America*. Special Publication No. 26.
- Naveh y Lieberman, 1997. *Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Neef, E. 1982. Stages in development of Landscape Ecology. *IN*: S. Tjallingii y A. de Veer (Ed.): *Perspectives in Landscape Ecology*. Proceedings of the International Symposium of Landscape Ecology at Veldhoven, Netherlands, Puduc, Wageningen. p 19-27.
- Nettleton W.D., B.R. Brasher y S.L. Baird. 1991. Carbonate clay characterization by statistical methods. *Soil Science Society of America*. Special Publication No. 26.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert Ecosystem: environment and producers, *Annual Review of Ecology and Systematics* No.5: 25-51.

- Odeh I.O.A, A.B. McBratney y D.J. Chittleborough. 1994. Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma* 63: 197-214
- Osorio, O., A. Valiente-Banuet, P. Dávila, y R. Medina. 1996. Tipos de Vegetación y Diversidad β en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica*. México, 59: 35-58.
- Parker, K. 1995. Effects of complex geomorphic history on soil and vegetation patterns on arid alluvial fans. *Journal of Arid Environments*. 30:19-39.
- Pianka, E. 1978. *Evolutionary Ecology*. Harper and Row Publishers, New York, N.Y. p.245
- Pickett, S.T.A. , J. Kolasa , J.J. Armesto y S.L. Collins. 1989. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos* 54:2. pag 129-135.
- Plummer C. y D. McGeary. 1993. *Physical Geology*. WMC Brown Publishers.
- Rabenhorst, M.C., L.T. West y L.P. Wilding. 1991. Horizons in soils over carbonate rocks. *Soil Science Society of America*. Special Publication No. 26.
- Rending, V. y H.M. Taylor, 1989. *Principles of Soil-Plant Interrelationships*. McGraw-Hill Publishing Co. 275 p.
- Robinson, J.V. y J.E. Dickerson, Jr. 1987. Does invasion sequence affect community structure? *Ecology* 68:587-595.
- Rykiel Jr. E.J. 1985. The role of disturbance in natural communities. *Australian Journal of Ecology*, 10:361-365.
- Rzedowski J. 1978. *La Vegetación de México*. Limusa. México 432 p.
- Shreve, F. 1929. Changes in desert vegetation. *Ecology*. 10:364-373.
- Shreve, F. 1942. The desert vegetation of North America. *Botanical Review* No. 8: 195-246.
- Siebe Ch., R. Jahn y K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicaciones Especiales No. 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- Silva, C. 1996. *Demografía comparativa de Pachycerus pringley en dos unidades geomórficas contrastantes del paisaje en Baja California Sur*. México. Tesis de Maestría en Ecología y Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Sousa W.P. 1984. The Role of Disturbance in Natural Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15:353-391.

Stamu G.P., M.D. Asikidis, M.D. Argyropoulou y S.P. Sgardelis. 1992. Ecological time versus standard clock time: the asymmetry of phenologies and the life history strategies of some soil arthropods from Mediterranean ecosystems. *Oikos* 66: 27-34.

Starkel, L. 1968. The Morphogenetic Role Played by the Holocene in Different Climatic Zones of the World. *Geographia Polonica* No. 14. pp 77-85.

Tricart J., R. Raynal y J. Besançon. 1972. Cônes rocheux, pédiments, glacis. *Annales De Géographie* No. 443, LXXXI année, Janvier-fevrier.

Valiente-Banuet, A. 1992. Evolución del paisaje y la ecología de zonas áridas. *Oikos* 18. Boletín del Centro de Ecología, UNAM.

Valiente-Banuet, A., P. Dávila, R.J. Ortega, M.C. Arizmendi, J.L. Loón, A. Breceda, J. Cancino. 1995. Influencia de la evolución de una pendiente de piedemonte en una vegetación de cardonal de *Pycnosphaera pringlei* en Baja California Sur. México. *Investigaciones Geográficas*. Boletín No. especial 3: 101-113.

Vink, A.P.A., 1983. Landscape Ecology, *IN*: Davidson, D.A. (Ed.) *Landscape Ecology and Land Use*. Longman, London p-2.

Zaidenberg, R., J. Dan y H. Koyumdjisky. 1982. The influence of parent material relief and exposure on soil formation in the arid region of eastern samaria. *IN*: Yaalon D.H. (eds) *Aridic Soils and Geomorphic Processes*. *Catena Supplement* 1. Braunschweig. pp 117-139.

PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO PARA EL ANALISIS FISICOQUIMICO DE LOS SUELOS

1) Prueba de Textura (*identificación de las fracciones de arena, limo y arcilla*). La base de esta prueba es la cantidad de tiempo requerida para el asentamiento de partículas de suelo de diferente tamaño. Para ello se utilizó un reactivo dispersante de la textura (pyrofosfato de sodio al 2%) y un floculante del suelo (polycrylamida al 0.008% y agua desionizada al 100%). Se colocó una muestra de suelo (15 ml) dentro de uno de tres tubos de ensayo cónicos graduados, se agregó el reactivo dispersante de la textura (1 ml) y aforó con agua hasta los 45 ml, se agitó vigorosamente por 2 minutos dejándose reposar por 30 segundos. Cuidadosamente se decantó el sobrenadante en un segundo tubo de ensayo y se dejó reposar 30 minutos. Posteriormente se decantó el sobrenadante en el tercer tubo de ensayo agregando 1 ml del reactivo floculante del suelo agitando suavemente por 1 minuto y dejando el tubo en reposo hasta concluida la sedimentación del material (en ocasiones por más de 24 hrs). A partir del material residual en el primer tubo se estima la proporción de arenas, del segundo la de limos y del tercero la de arcillas con respecto al volumen original (15 ml) de material vertido.

2) pH. Se realizó una determinación colorimétrica utilizando una escala de color correspondiente a diferentes valores de pH. Se emplearon dos reactivos principales: a.- Un indicador de pH (alcohol etílico, 48%; alcohol metílico, 2%; fenofaleina, 0.02%, azul de bromthymol, 0.03% y rojo de metilo, <0.01%). b.- un floculante del suelo (polycrylamida al 0.008% y agua desionizada al 100%). Se colocaron 1.5 gr de muestra de suelo en un tubo de ensayo y se completó a 4 ml con floculante. Se agitó invirtiendo el tubo en repetidas ocasiones lentamente durante 1 minuto y se dejó sedimentar el material. Se añadieron 9 gotas de solución indicadora de pH y se comparó el color con la tabla para diferentes valores pH.

3) Fósforo. Se realizó una determinación colorimétrica utilizando una escala de color correspondiente a diferentes concentraciones de fósforo por hectárea. Se emplearon tres reactivos principales: a.- Solución de extracción universal, consistente en ácido acético (3.0%) y acetato de sodio (9.75%); b.- Reactivo #1 (ácido acético, 11.9%, molibdato de sodio, 2.5%); y c.- Reactivo #2 (Cloruro de estaño, 1.55% y cloruro de potasio, 98.45%). Se extrajo el fósforo mediante la solución de extracción universal (7ml) a partir de una muestra

de 1ml de suelo agitando fuertemente por 1 minuto. Se filtró el extracto y se le añadieron 6 gotas del reactivo #1 agitando hasta revolver, y una tableta del reactivo #2 agitando hasta su desintegración. Se comparó la coloración con la tabla de valores para diferentes concentraciones de fósforo.

4) Potasio. Se realizó una determinación colorimétrica utilizando una escala de color correspondiente a diferentes concentraciones de potasio por hectárea. Se emplearon tres reactivos principales: a.- Solución de extracción universal, consistente en ácido acético (3.0%) y acetato de sodio (9.75%); b.- Reactivo #1 (Nitrito de sodio, 60%; cobalnitrito de sodio, 29%; benzonato de sodio, 11%); y c.- Reactivo #2 (alcohol etílico, 80%; alcohol metílico, 4% y rojo de metilo, <0.01%). Se extrajo el potasio mediante la solución de extracción universal (7ml) a partir de una muestra de 1ml de suelo agitando fuertemente por 1 minuto. Se filtró el extracto y se le añadió una tableta de reactivo #2 agitando hasta su desintegración, se diluyó con el reactivo #2 agregando éste lentamente hasta formar un precipitado que otorgaba diferentes grados de transparencia a la solución. Se comparó turbidez con la placa correspondiente para obtener la concentración de potasio en la muestra.

5) Nitrógeno (Nitrato). Se realizó una determinación colorimétrica utilizando una escala de color correspondiente a diferentes concentraciones de nitrato por hectárea. Se emplearon tres reactivos principales: a.- Solución de extracción universal, consistente en ácido acético (3.0%) y acetato de sodio (9.75%); b.- Reactivo #1 (bisulfato de sodio, 25.4%; sulfato de amonio, 7.0% y rojo de cresol) y c.- Reactivo #2 (sulfato manganeso, 1.5%; polvo de zinc, <1%; sulfato de bario, 66%; sulfanilamida, 0.6%; dihidrocloruro de N-1-Naphtyletilenodiamina, 0.6% y azúcar 30.4%). Se extrajo el nitrato mediante la solución de extracción universal (7ml) a partir de una muestra de 1ml de suelo agitando fuertemente por 1 minuto. Se filtró el extracto y se tomó 1ml al cual se le agregaron 10 gotas del reactivo #1 y 0.5 gr del reactivo #2 mezclando todo y después de 5 minutos se comparó la coloración con la tabla de valores para diferentes concentraciones de nitrógeno.

TIPO CATEGORIAL										Uso suelo/vegetación	Forma del terreno	Plano	Pendiente	Altura	Comentarios																
Escala 1:5000										Cardinal de Plectocomes arbor	Cardinal	2.6'	Horizontal	Despositos de erosion	Abanco natural de barranca de Muchis																
Lugar Norma Fertilidad Bases										Bursaria spora, diócoricos	Exposición	45' NE	Otras observaciones	Coveración Púeblo																	
Escala Bases										Escala bases	1:500	1:500	1:500	1:500	Condiciones de muestreo mucho viento sacas																
Frecuencia y duración de períodos húmedos										Temperatura	10.0	10.0	10.0	10.0	COSTRA NEGRA SUPERFICIAL 10 YR 2/1																
D. DSC										37	37	37	37																		
DESCRIPCIÓN CUADRANTE										ANÁLISIS QUÍMICO																					
No	Profund. cm	cm	#	Fertilidad	PF	Poros	Recos	Límite con	Estructura	Estabilidad	Pedregosidad (peso y %)		Textura (%)					TEXTURA	Color [huegel]	Dens. Apar. (g/cm ³)	PROBABILIDAD DE SALICICLOS ESTABILIZADOS										
											Total (pes)	Piedras	% Piedra	Árboles	Limos	Arcillas	AC				10 YR 5/3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
1	0	0.5	3	mayor	5	regular, estensos, muchos	rua	clero uniforme	subangular a subangular med a deb	moderada	1.05	1.02	7.00%	15%	16%	8%	AC	10 YR 5/3	1.1	may base 0-0.5%	7.5	fuertemed	450	504.51	25	28.03	10	11.21	2	AH1	
2	0.8	10	3	mayor	5	abund, ped, esp, esp, esp, esp	rua	clero irregular	subangular a subangular med a deb	baja	1.22	1.02	15.00%	80%	11%	3%	AC	10 YR 5/3	1.4	base 0.5 a 2%	7.5	fuertemed	350	392.39	25	28.03	10	11.21	1.25	AH2	
3	1.1	39	3	mayor	5	may abund, esp, limos a grues, esp, esp	rua	clero irregular	subang med a med a granular fo	baja	1.25	1.12	40.00%	80%	3%	11%	AC	10 YR 4/4	1.4	aba 10-25% carb polvo	8	fuertemed	140	156.96	25	28.03	15	16.82	---	ACK	
4	40	79	3	mayor	5	abund, gris a chicos, esp, esp	rua	clero irregular	subang med a med a granular fo	baja	1.3	1.18	50.00%	79%	6%	15%	AC	10 YR 5/4	1.6	may abo > 25 carb polvo	8	fuertemed							---	CWk	
Prof. de desarrollo										40	cm	Clasif. del suelo										Calcisol háplico									
Prof. max. raíces										40	cm	Nivel paleosolico										desconocido, se estima profundo									

OTROS DATOS ADICIONALES																	
No	Profund. cm	cm	#	Cubetas	Muestra	Comentación	Concreciones			Manchas y Motas			Otras				
							abundancia (vol%)	color	tamaño (mm)	forma	dureza	tipo		abundancia (vol%)	color	tamaño (mm)	forma
1	0	0.5		NO	T1A-1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	0.5	10		NO	T1A-2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3	1.2	39		NO	T1A-3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	39	79		NO	T1A-4	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

EVALUACIÓN SUELO																						
No	Profund. cm	cm	#	Fertilidad	PF	Poros	Recos	Límite con	Estructura	Estabilidad	Sum(CCC)		Sum(CC)		Sum(B)							
											46832	124271	49541	MEJ BAJA	MEJ BAJA	MEJ BAJA						
1	0.05	0.5	3	mayor	50	abund	rua	clero irregular	subangular a subangular med a deb	moderada	0.917	32	1.468	100.300	may abo	145	req, req	145	0.742	0.742		
2	0.85	10	3	mayor	41	mediano	rua	clero irregular	subangular a subangular med a deb	baja	14.518	27	21.803	40.100	aba	142	req, req	145	19.392	16.392		
3	1.9	39	3	mayor	41	mediano	rua	clero irregular	subang med a med a granular fo	baja	31.320	27	46.890	40.100	aba	115	req, req	115	28.014	14.007		
4	4	79	3	mayor	31	bajo	rua	clero irregular	subang med a med a granular fo	baja	---	27	54.000	1.40	aba	115	req, req	115	38.800	18.400		
Prof. Fisiológica										40	cm	Sum(B)										49541
Evaluación										mediano		Evaluación										MEJ BAJA
Espesor Radicular Efect										2.9	cm	Evaluación										MEJ BAJA

Metodología Grae et al 1998

Erodabilidad (An) 0.2 Factor de Corrección 1
 K= 0.2 Evaluación BAJA Para El Pag 41

Ubicación: 77- COASTA NEGRA		Uso suelo/vegetación		Forma del terreno		Paisaje		Clima		Comentarios	
Fecha: 16/09/1		UTM Nor		Clima: (SE) (zona) (temp) / Zonificación: semicálido, subhúmedo, Cerrado		Inclinación: 7,4°		Materiales: Material Parental		Dispositivo de Muestreo	
Autor: Martín Ferrer		UTM Est		Altitud (m s.n.m.): 1077		Exposición: 45° NE		Otras observaciones		Condiciones de muestreo: Almacén de barranca de Muchi	
Escala horizontal: 1:500		Escala vertical: 1:100		Escala de temperatura: 100-200		Evidencia de erosión: Muy poco		Pedregosidad superficial regular: piedras medianas y grandes		Condiciones de muestreo: Corralón Pueblo	
Frecuencia y duración de períodos húmedos: 0 DAC		Temperatura: 27		Viento: 10 km/h		Peso húmedo: 10 kg		Abundancia: pavimento del de Lenta y costa negra superficial en algunos puntos		COASTA NEGRA 10 YR 2/1	

No	Profundidad (cm)	Horizonte	pH	Poros	Razas densidad	Límite con	Estructura	Evaluación	Pedregosidad (peso y %)			Temperatura (°C)			TEXTURA	Color (húmedo)	Dens. Apor. (g/cm³)	Capacidad de agua (g/g)	PHOSFORO ORGANICO Y CAL EN LOS ESTIMADOS						M.O.				
									Total	Piedras	% Piedras	Arroz	Lentea	Acidosa					CaCO3	Alum. Acido	Potasio	Fosforo	Nitrógeno	NM D					
1	0	0	5	abund med chc. azules, med y chc. azules	mediana	claro uniforme	subang grues-subang med fuerte	alta	1.3	1.18	7.00%	70%	14%	7%	AC	7.5 YR 4/4	1.1	med	8	fuerte/med	450	504.51	10	11.21	10	11.21	1.5	Ab1	
2	4	19	5	abund med chc. azules, med y chc. azules	mediana	claro irregular	subang grues-subang med chco debil	moderada	1.25	1.18	15.00%	73%	17%	10%	CA	7.5 YR 5/4	1.1	med	7.5	fuerte/med	150	188.17	25	28.03	10	11.21	1.25	Ab2	
3	18	38	5	med azules entre chcos, med y chc. azules	baja	claro irregular	subang grues-subang med chco fuerte	baja	1.42	1.37	40.00%	80%	10%	10%	AC	10 YR 4/4	1.4	med	8	fuerte/med	100	112.11	20	22.42	15	18.82	---	ACK	
4	38	87	5	med azules entre chcos, med y chc. azules	nula	?	granular mediana	baja	1.84	1.85	50.00%	87%	15%	18%	CA	10 YR 4/4	1.8	med	8	fuerte/med	---	---	---	---	---	---	---	---	CKH
Prof. de desarrollo		18 cm		Prof. espacio radicular		de 0 a 18 cm		CLASIF DEL SUELO		Categoría: húmico		Fase		---		---		---		---		---		---		---		---	
Prof. max raíces		38 cm		Nivel permeancia actual		desconocido, se estima profundo		Nivel permeancia medio		desconocido, se estima profundo		Tipo de horne		---		---		---		---		---		---		---		---	

OTROS DATOS ADICIONALES																													
No	Profund. (cm)	Cubetas	Muestra	Comentarios	Concreciones			Manchas y Molas			Otras																		
					abundancia (%)	color	tamaño (mm)	forma	densidad	color		tamaño (mm)	forma	localización															
1	0	2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	4	18	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3	18	38	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	38	87	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

EVALUACION FÍSICO-QUÍMICA															
No	Profundidad (cm)	Muestra				Muestra				Muestra		Muestra		Muestra	
		Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
1	0-2	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
2	4	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
3	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
4	38	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

Metodología: Sebe et al 1988

Factor de Corrección: 1
K = 0.7
Evaluación: BUJO
Página: 41

Especies: TS - CUAQUIL		Uso suelo/vegetación		Forma del terreno	Orografía	Pendientes	Aluvial	Comentarios	
Fecha: 11/01/11	UTM nor	Clima: BS (arido templado)	Bursera spinescens, Bursera morandensis	Inclinación: 4 a 7°	Material Parental	Depositos de aluvión		Abanco lateral de barranca de Aluvial - Ciudadán, Puebla	
Cuerpo: Norma Fendler-Bucari	UTM sur	Abundancia: 1040	Neobursera leifolii, Fouquieria	Exposición: 30° NE	Otras observaciones		* se observan raíces en el contacto con horizonte dos sustratos		
Elevación: Solitario	Prescp (mm): 400, 800	Especie sésil: 1st - 2nd	Hyptis, Escorthis chetale	Evidencia de protección: No	Uso y de conservación de cluse		** cubierta de polvo y fragmentos de caliche empujan a cementar rocas		
Frecuencia y duración de períodos húmedos	°C	Var °C		Si topó con una capa sefide de caliche a los 32 cm		*** rocas envueltas en matriz de caliche cementada de profundidad desconocida			

No	Profundidad	Humedad	pH	Forma	Rocas	Límite con	Estructura	ESTABILIDAD				Textura (%)	Color	Días Apas (g/100g)	VALORES QUÍMICOS Y CALCULOS ESTIMADOS					SITIO										
								Estabilidad	Preocupación (L y M)	Total	Porcentaje				Arcoas	Largas	Arcillas	CaCO3	pH		Alum	Potasio	Fósforo	Nitrógeno	MM O					
1	0	2	muy seca	5	muy abund, agria a chocas, ester. sub irregular	aba	claro irregular	tubular med, tubular fina, debil	mediana	1.2	1.15	10.00%	17%	18%	11%	AC	10 YR 4/3	1.2	800 (RCC, grado carb)	7.5	buete/med	250	297.35	10	11.21	10	11.21	1.25	Ah	
2	0	32	muy seca	5	aba, ester. a chocas, ester. sub irregular	aba	claro irregular	tubular fino, granular gruesa, debil	mediana	1.2	1.2	30.00%	85%	15%	35%	AC	10 YR 4/3	1.4	800 (RCC, grado carb)	8	buete/med	25	28.09	25	28.09	10	11.21	---	ACK	
3	30	32	muy seca	5	rocas cementadas por CaCO3 arena clasada	nuda	?	rocas y caliche	1.1	1.1	80.00%	81%	18%	25%	CHA	10 YR 6/2	1.8	800 (RCC, grado carb)	8	buete/med	---	---	---	---	---	---	---	---	OWk	
								meda	87%	18%	18%							meda	7.83333											
								des	4%	0.5%	6%									des	0.2357									

Prof de desarrollo: 30 cm	Prescp espacio radicular: de T a 6 cm *	CLASE DEL SUELO: Caliche/ público	Fase:
Prof. max raíces: 8 cm	Muel por cemento actual: descolorado, se agrieta profundo	Muel por cemento medio: descolorado, se agrieta profundo	Tipo de humus: Muñ

No	Profundidad	Cilindros	Muestra	Comercialización	Concreciones	Manchas y Motas	Otras		
								abundancia (vol%)	color
1	0	1	HO	12-1	HO	NO	NO		
2	0	20	HO	12-2	con precipitación de CaCO3 envuelven estructuras rocas de caliche	concreciones de carbonato entre los cilindros	NO		
3	32	32	HO	12-3	masa de caliche que cementa cilindros y forma capa sefide (no muy adherida)		NO		

Prof. Fecundica: 8 cm	Evacuación: SOMERO	Sum(CC): 31.08	Evacuación: MUY BAJA	Sum(CC): 15.25	Evacuación: MUY BAJA	Sum(B): 20.593	Evacuación: REGULAR
-----------------------	--------------------	----------------	----------------------	----------------	----------------------	----------------	---------------------

Metodología: Siebe et al 1996

No	Profundidad	Humedad	EVALUACIÓN ECOLOGICA		CANTIDAD DE RAÍCES		CANTIDAD DE RAÍCES		CANTIDAD DE RAÍCES		CANTIDAD DE RAÍCES							
			abundancia	grado	abundancia	grado	abundancia	grado	abundancia	grado	abundancia	grado						
1	0.7	mediana	45	mediana	11	aba	20	12.800	28	46.272	40-100	aba	145	regular	145	10.862	10.862	
2	2.2	abundancia	41	mediana	9	mediana	17	19.480	37	58.880	40-100	aba	145	regular	145	31.207	14.631	
3	0.7	mediana																

Factor de Corrección: 1

Probabilidad (N): 0.25

FAMILIA	ESPECIES	DESCRIPCION
ARBOLES		
ACANTHACEAE	<i>Siphonoglossa ramosa</i>	Oersted
BOMBACACEAE	<i>Ceiba parvifolia</i>	Rose
BURSERACEAE	<i>Bursera aptera</i> <i>Bursera morelensis</i> <i>Iresine sp</i>	---
CACTACEAE	<i>Escontria chiotilla</i> <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> <i>Pachycereus hollianus</i> <i>Pachycereus weberi</i> <i>Stenocereus prinusus</i> <i>Stenocereus stellatus</i>	(Weber) Rose (Web.) Backb. (F.A.C. Weber) F. Buxb. (Otto) F. Buxb (Pfeiffer) Riccob
CAESALPINACEAE	<i>Senna holwayana</i> (Rose) Irwin & Barneby <i>Senna wisliseni</i> (A. Gray) Irwin & Barneby <i>Caesalpinia melanadenia</i> <i>Cercidium praecox</i>	var. holwayana var pringlei (Rose) Irwin & Barneby (Rose) Standley (Ruiz & Pavón) Harms
EUFORBIACEAE	<i>Sapium appendiculatum</i> <i>Chidoscylus tehucanus</i> <i>Manihotoides pauciflora</i>	(Muell. Arg.) Pax. et Hoffm.
FOUQUIERACEAE	<i>Fouquieria formosa</i>	Kunth
JULIANIACEAE	<i>Juliania abstringens</i>	Schl.
MIMOSACEAE	<i>Acacia cochliacantha</i> <i>Acacia coulteri</i> <i>Mimosa luisana</i> <i>Mimosa polyantha</i> <i>Prosopis laevigata</i>	Humb. & Bonp. ex. Willd. Benth Brandegee Benth. (Humb. & Bonpl. ex. Willd.) Johnston
RHAMNACEAE	<i>Zizyphus pedunculata</i>	Brand
SIMAROUBACEAE	<i>Castela tortuosa</i>	Liebm.
ULMACEAE	<i>Celtis pallida</i>	Torrey
ARBUSTOS / HIERBAS		
ACANTHACEAE	<i>Anisacanthus quadrifidus</i>	---
AGAVACEAE	<i>Agave macroacantha</i>	Zucc.
ASTERACEAE	<i>Sanvitalia fruticosa</i> <i>Viguiera dentata</i> (Cav.) <i>Viguiera gramatoglossa</i>	Hemsley Sprengel var. dentata D.C.
BORAGINACEAE	<i>Cordia curassavica</i> spp. sin identificar	(Jacq.) Roemer & Schultes ---
BURSERACEAE	<i>Bursera sp</i>	---
CACTACEAE	<i>Coryphanta pycnacantha</i> <i>Ferocactus latispinus</i> var. <i>spiralis</i> <i>Mamillaria carnea</i> <i>Mytillocactus geometrizans</i> <i>Opuntia acanthocarpa</i> <i>Opuntia phaeacantha</i> <i>Opuntia pilifera</i> <i>Opuntia sp</i>	(Karwinsky) Schuman Zucc. ex Pfeiffer (C. Martius) Console Englemann & Bigelow Engelmann F.A.C. Weber ---
EUPHORBIACEAE	<i>Croton ciliato-glanduliferus</i> <i>Argythamnia guatemalensis</i>	Ortega
FABACEAE	<i>Aeschynomene compacta</i> <i>Marina scopia</i> <i>Dalea sp</i>	Rose Barneby ---
LEGUMINOSAE	<i>Coursetia caribaea</i> <i>Indigofera konzattii</i> <i>Indigofera jamaicensis</i>	---
MALPIGHIACEAE	<i>Echinopterys eglandulosa</i>	(adr. Juss) Small
MIMOSACEAE	<i>Mimosa sp</i>	---
SAPINDACEAE	<i>Cardiospermum halicacabum</i>	L.
STERCULIACEAE	<i>Melochia tomentosa</i>	L.
VERBENACEAE	<i>Lantana achyranthifolia</i>	Desf.