

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

“ESTRATEGIAS DE COLONIZACIÓN
DE LAS PLANTAS PARA LA ESTABILIZACIÓN
DE TALUDES EN CARRETERAS”



T E S I S

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

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

P R E S E N T A:

ANA LUZ MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

Chapingo, Estado de México, Octubre de 2005



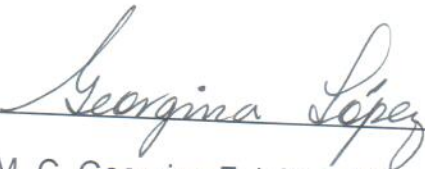
ESTRATEGÍAS DE COLONIZACIÓN DE LAS PLANTAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN CARRETERAS

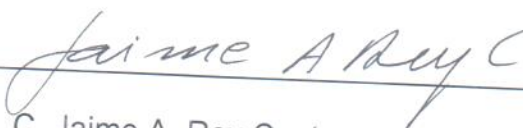
Tesis realizada por **ANA LUZ MARTÍNEZ RODRÍGUEZ** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: 
Dr. Diódoro Granados Sánchez

ASESOR: 
Dr. Arturo Sánchez González

ASESOR: 
M. C. Georgina F. López Ríos

ASESOR: 
M. C. Jaime A. Rey Contreras

ASESOR: 
M. C. Javier Santillán Pérez

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora nació en el año de 1977. Recibió su instrucción básica en la Escuela Primaria "Miguel Hidalgo", su educación media en la Secundaria Técnica No. 48 "Japón" y la media superior en la Preparatoria Federal por Cooperación "Albert Einstein", en Tulancingo, estado de Hidalgo. Su Formación Profesional la llevó a cabo en la División de Ciencias Forestales, de la Universidad Autónoma Chapingo, graduándose como Ingeniero en Restauración Forestal en el año 2000.

Su experiencia laboral la inicio en octubre del 2000 como evaluador de plantaciones forestales en los estados de Tabasco y Campeche, posteriormente, en el área de Servicios Técnicos Forestales, colaboró en la realización de inventarios forestales, Programas de Manejo de recursos maderables y no maderables, UMA's, Informes Preventivos y Estudios de Impacto Ambiental, para comunidades y ejidos de los estados de Oaxaca, Puebla, Morelos y Distrito Federal. Ingresó a la Maestría en Ciencias Forestales en enero del 2003.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial a la División de Ciencias Forestales, por la cordialidad y apoyo brindado, para realizar mis estudios de Maestría en el Programa de Ciencias Forestales.

A los mexicanos y mexicanas, que por medio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), contribuyeron en mi formación académica y profesional.

A los profesores que integran el Comité Asesor, Dr. Diódoro Granados Sánchez, Dr. Arturo Sánchez García, M. C. Georgina F. López Ríos, M. C. Jaime Rey Contreras y M. C. Javier Santillán Pérez, por su valiosa colaboración para realizar y concluir satisfactoriamente la presente investigación.

A todos aquellos profesores que se esfuerzan diariamente por formar profesionales de excelencia, pero muy en especial a Dr. Dante A. Rodríguez Trejo, Dr. David Cibrián Tovar, Dr. José Luis Romo, Dra. Amparo Borja y M. C. Silvia Terrazas.

A la Biól. Agustina Díaz Osorno, Jefa del Herbario de la Preparatoria Agrícola y al Biól. Andrés G. Miranda Moreno del Herbario de la División de Ciencias Forestales, por la identificación del material botánico.

A mis amigos, compañeros en esta batalla, Lupita Franco Islas, Lupita Carrillo Benítez, Rogelio Coatzín Ramírez y Susana Ramírez Sánchez.

DEDICATORIA

A MIS PADRES, CARMELITA Y MANUEL
Por su amor, ayuda y comprensión de toda la vida.

A LUIS GREGORIO
Por tu apoyo excepcional.

A JOSÉ MANUEL
Porque más que un hermano, eres un excelente amigo.

A MI HIJO DENET
Corazón pequeño, eres la luz que ilumina mi existencia,
cambiaste mi vida y ahora lo eres todo, te amo.

A CATALINA MARTÍNEZ
Porque eres un eslabón importante en mi vida.

A todos, mil gracias.

No olviden que al final, todos morimos... Ana

ÍNDICE

	Página
DATOS BIOGRÁFICOS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. General	4
2.2. Específicos	4
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Restauración ecológica	5
4.2. Sucesión ecológica	9
4.3. Estrategias de colonización de las plantas	13
4.4. Clasificación	17
4.5. Ordenación	20
4.6. Formas de vida	24
4.7. Estabilización de taludes	26

4.7.1. Definición de talud	26
4.7.2. Problemática de la estabilidad de taludes	26
4.7.3. Causas de deslizamientos	28
4.7.4. Clasificación del tipo de fallas en los taludes	28
4.7.5. Técnicas de estabilización de taludes	31
4.7.6. La cobertura vegetal en la estabilización de taludes	36
5. MATERIALES Y MÉTODOS	40
5.1. Localización del área de estudio	40
5.2. Localización de los sitios de muestreo	40
5.2.1. Caracterización de los elementos físicos y biológicos de los sitios de muestreo	41
5.3. Obtención de la información de campo	44
5.3.1. Diseño de muestreo y levantamiento florístico	44
5.3.2. Propiedades físicas y químicas del suelo	45
5.4. Análisis de la información	46
5.4.1. Clasificación	46
5.4.2. Ordenación	46
5.4.3. Diversidad de especies	47
5.4.4. Formas de vida	48
5.4.5. Evaluación de las estrategias de colonización	49
6. RESULTADOS	52
6.1. Propiedades químicas y físicas del suelo	59
6.2. Clasificación	64
6.3. Ordenación	65
6.4. Diversidad de especies	69
6.5. Formas de vida	71

6.6. Estrategias de colonización de las especies	75
6.7. Descripción de las especies	83
7. DISCUSIÓN	111
8. CONCLUSIONES	121
9. LITERATURA CITADA	123
10. ANEXO	128

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Bases para la evolución de tres estrategias primarias en las especies vegetales	14
Cuadro 2. Clasificación de fallas en taludes	30
Cuadro 3. Localización geográfica de los sitios de muestreo o taludes	41
Cuadro 4. Descripción de las características físicas de los taludes estudiados	43
Cuadro 5. Familias, especies y formas de vida de los vegetales presentes en los taludes	52
Cuadro 6. Especies exclusivas de los sitios planos aledaños a los taludes	54
Cuadro 7. Densidad de individuos por especie en el sitio 1	55
Cuadro 8. Densidad de individuos por especie en el sitio 2	55
Cuadro 9. Densidad de individuos por especie en el sitio 3	56
Cuadro 10. Densidad de individuos por especie en el sitio 4	57
Cuadro 11. Densidad de individuos por especie en el sitio 5	57
Cuadro 12. Resultados e interpretación de las propiedades químicas del suelo	60
Cuadro 13. Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables	61
Cuadro 14. Resultados e interpretación de las propiedades físicas del suelo	62
Cuadro 15. Textura y porcentaje de arena, limo y arcilla	64

Cuadro 16.	Resultados del análisis de correspondencia canónica para los tres primeros ejes de ordenación	66
Cuadro 17.	Correlación entre los tres primeros ejes de ordenación y las 21 variables ambientales	67
Cuadro 18.	Riqueza, abundancia y diversidad de especies por sitio	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Alternativas de la restauración ecológica comparadas con la regeneración natural de los ecosistemas	7
Figura 2. Modelo que describe los diversos equilibrios entre competencia, restricciones y la alteración en la vegetación, y la localización de las estrategias primarias y secundarias	16
Figura 3. Porcentaje de individuos por especie en el área estudiada	58
Figura 4. Abundancia de individuos por familia en el área de estudio	58
Figura 5. Dendrograma que muestra la semejanza entre los sitios de muestreo	65
Figura 6. Análisis de correspondencia canónica de 5 sitios de muestreo con 56 especies de plantas y 21 variables ambientales	68
Figura 7. Índices de diversidad α de Fisher y Shannon-Weiner	70
Figura 8. Espectro biológico de las especies analizadas	71
Figura 9. Representación gráfica de los espectros biológicos y climogramas de los sitios de muestreo	73
Figura 10. Ordenación triangular de las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas presentes en los taludes	76
Figura 11. Diagramas que representan la distribución de las especies de acuerdo a su estrategia de colonización	78

ESTRATEGIAS DE COLONIZACIÓN DE LAS PLANTAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN CARRETERAS

PLANT COLONIZATION STRATEGIES FOR STABILIZATION IN ROADSIDE BANKS

Ana Luz Martínez Rodríguez¹

Diódoro Granados Sánchez²

RESUMEN

La inestabilidad de taludes a orillas de carretera provoca el movimiento de tierras que ponen en riesgo la vida de los usuarios y provocan pérdidas económicas. Esta investigación tuvo como objetivo identificar y analizar las estrategias de colonización de la vegetación en los taludes de carretera, en el tramo de la Autopista Tehuacan-Oaxaca. Se muestrearon 25 parcelas y se cuantificó la riqueza, abundancia y forma de vida de las especies, además de algunas características ambientales. Los datos se analizaron con técnicas de clasificación, ordenación directa y ordenación triangular. De las 19 familias, Asteraceae fue la más representativa, *Rhynchelytrum repens* la especie más abundante y Hemicriptófito la forma de vida predominante. La clasificación permitió reconocer las diferencias en la composición de especies que colonizan los taludes de los sitios analizados. La ordenación mostró que la distribución de las especies esta asociada a determinados factores ambientales. La estrategia de colonización predominante fue ruderal.

Palabras clave: taludes de carreteras, estrategias de colonización.

ABSTRACT

The instability of roadside banks causes the movement of soil that puts at risk the lives of drivers and causes economic losses. The objective of this research was to identify and analyze the colonization strategies of vegetation in roadside banks along the Tehuacan-Oaxaca freeway. In 25 sample plots, the richness, abundance and life forms of species were evaluated, as well as some environmental characteristics. The data were analyzed using classification, direct ordination and triangular ordination techniques. Of the 19 families, Asteraceae was the predominant family, *Rhynchelytrum repens* was the most abundant species and Hemicryptophyte was the main life form. Classification made it possible to recognize the differences in the composition of species that colonize the banks of the places analyzed. Ordination showed that the distribution of species is associated with certain environmental factors. The predominant colonization strategy was ruderal.

Key words: roadside banks, colonization strategies.

¹Autor

¹Author

²Director de Tesis

²Thesis director

1. INTRODUCCIÓN

Las vías de comunicación terrestre, en especial las carreteras, son de gran importancia para el desarrollo económico de un país, puesto que son el medio por el cual se da el 70% de los canales de comercialización de mercancías y el 98% del tránsito de gente (AMC, 1995).

Una buena red de carreteras y caminos facilita la llegada de múltiples beneficios para las poblaciones, por lo que se consideran como símbolo de progreso.

Las carreteras se han ido transformando acorde a la evolución del pensamiento y el avance tecnológico. Los caminos acercan pueblos, mejoran la economía, fomentan los cambios culturales, económicos e ideológicos y promueven el descubrimiento de riquezas arqueológicas, naturales y paisajísticas (Ovalle, 1997).

Durante la construcción de carreteras se genera una serie de impactos adversos a los componentes físicos y bióticos del ecosistema, tales como (Martínez y Damián, 1999):

- Destrucción del hábitat de especies de flora y fauna.
- Alteración de las rutas y hábitos de sobrevivencia de la fauna silvestre.
- Alteración de esquemas de vida de los habitantes de la región.

- Degradación de la vegetación.
- Erosión, arrastre y sedimentación de materiales, aunado a la alteración de los regímenes hidrológicos de la región.
- Deterioro del paisaje.
- Contaminación del suelo y del agua por el mal manejo de materiales y residuos peligrosos.

En particular, el movimiento de grandes volúmenes de tierra y la formación de taludes inestables, aunado a un mal diseño de construcción de la obra y un manejo inadecuado o nulo de estas áreas, provoca la erosión y deslave de tierras, este problema se agudiza cuando no existe una cubierta vegetal que proteja al suelo de los procesos erosivos ocasionados por el agua, el viento y la actividad antropogénica.

Una de las causas primordiales por las que no existe una repoblación natural en los taludes de carreteras, puede deberse a que las plantas colonizadoras no encuentran las condiciones óptimas para establecerse, tales como: humedad, pendiente del talud, contenido de materia orgánica, nutrimentos disponibles, sitios adecuados de germinación, compactación del suelo, entre otros.

El movimiento de suelo y roca a orillas de estas vías de comunicación terrestre pone en riesgo la vida de los usuarios, provocando accidentes y cuantiosas pérdidas económicas y humanas.

Debido a que la naturaleza es capaz de restaurarse por si misma, en algunos casos muy lentamente, la investigación tuvo como objetivos conocer las estrategias de las plantas para colonizar los taludes de carreteras y definir las características de sitio que brindan las condiciones necesarias para su establecimiento.

La finalidad fue proponer una alternativa para la estabilización de taludes como proceso de restauración. El soporte ecológico primordial se concreta en una vegetación que sea capaz de automantenerse y que, de ser posible, tienda hacia estructuras más complejas de forma natural.

Para esta investigación se eligió el tramo de la autopista Tehuacán-Oaxaca, que es una vía carretera muy importante, puesto que, por las características geológicas, edáficas y topográficas que imperan en la zona, continuamente se presentan diversos problemas de inestabilidad de taludes.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Identificar y analizar las estrategias de colonización de las plantas en los taludes de carretera, en el tramo de la Autopista Tehuacán-Oaxaca, con la finalidad de proponer una alternativa para la estabilización de taludes como proceso de restauración.

2.2. Específicos

- Analizar los factores ambientales que influyen en el establecimiento y distribución de las especies vegetales que colonizan los taludes de carreteras, mediante técnicas de clasificación y ordenación.
- Definir las principales formas de vida que presentan las plantas que colonizan los taludes de carreteras.
- Identificar las estrategias ecológicas de las plantas para colonizar taludes de carreteras.

3. HIPÓTESIS

Si las especies colonizadoras se caracterizan por ocupar hábitats perturbados, actuando como plantas oportunistas, entonces éstas pueden iniciar la estabilidad y restauración de los taludes en carreteras.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Restauración ecológica

De acuerdo con Chávez (1996), restauración ecológica significa devolver a su estado original un sistema ecológico que ha sufrido un disturbio. Cairns (1995), define restauración como un modelo ideal que consiste en reproducir los atributos estructurales y funcionales que prevalecían en un ecosistema hasta antes de ser dañado.

La Society for Ecological Restoration (2004), define restauración ecológica oficialmente como: "El proceso de asistencia (ayuda) para la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido". Esta definición es lo suficientemente general, por lo que permite una amplia variedad de enfoques para la restauración, mientras que resalta la idea históricamente rica de recuperación.

En la restauración se intenta dirigir al sistema por una ruta de estadios sucesivos que recuperen la composición de especies y las interacciones que tenía la comunidad original en un tiempo relativamente corto (Martínez, 1996).

En la restauración comúnmente se utilizan cuatro términos diferentes, que tratan de indicar algún acto de mejoramiento o reconstrucción artificial de un

ecosistema degradado, estos son: restauración, rehabilitación, reemplazo y *laissez faire* (Martínez 1996).

- La restauración consiste en la recuperación total del ecosistema original.
- La rehabilitación es la recuperación parcial del ecosistema.
- El reemplazo, es la formación de un ecosistema diferente al original.
- En el *laissez faire* (dejar hacer), la manipulación es limitada y se permite un desarrollo natural del ecosistema.

Las diferentes opciones para el mejoramiento de un ecosistema degradado pueden ser expresadas en términos de dos características principales, que son: su estructura y función (Figura 1). Cuando la degradación ocurre, ambas características usualmente se reducen, aunque no necesariamente por igual. La restauración, en su sentido estricto, implica llevar al ecosistema a su estado original o previo en cuanto a su estructura y función. Por lo tanto, cuando lo anterior no se logra, existen otras alternativas, que incluyen la rehabilitación o el reemplazo (Perrow y Davy, 2002).

El término restauración no se limita a ecosistemas naturales complejos, Chávez (1996), menciona que existen dos enfoques generales para la restauración. El primero se refiere a restaurar un área a su estado natural, sin embargo, casi nunca se conoce como era originalmente, dado que los sitios han experimentado una historia desconocida de uso humano, por lo que no se tiene una clara idea de cómo serían sin la influencia humana. El segundo enfoque

para la restauración, es crear un sistema que, aunque no imita la situación natural, tiene una serie de rasgos que hacen al área mejor que cuando estaba degradada. En ambos casos el restaurador esta imitando el proceso natural de sucesión ecológica.

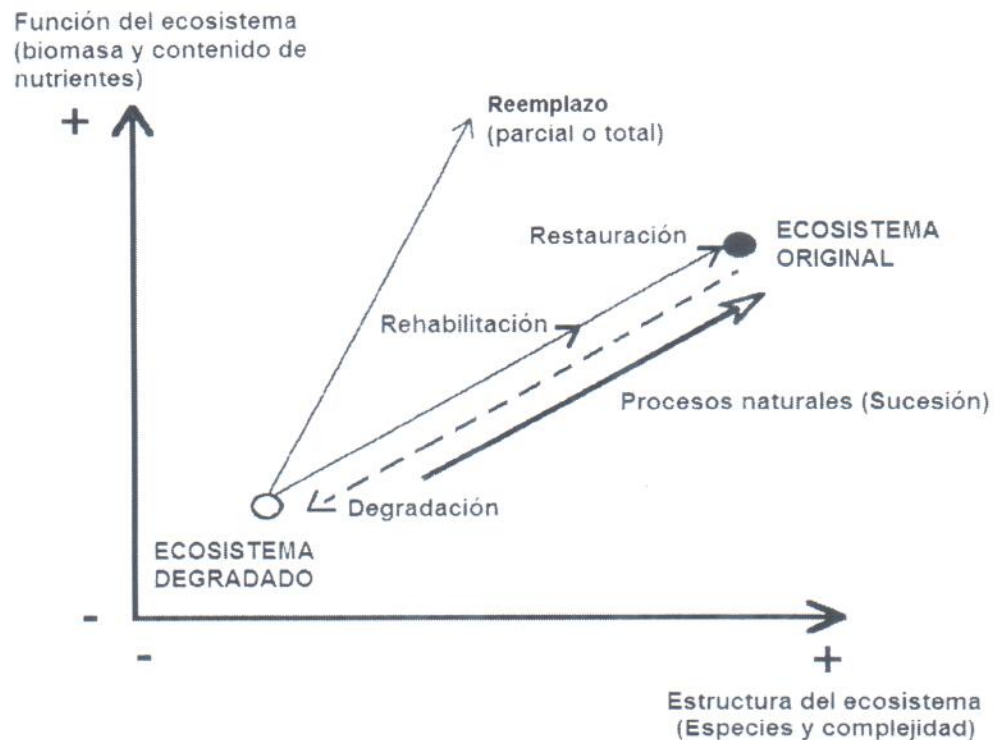


Figura 1. Alternativas de la restauración ecológica comparadas con la regeneración natural de los ecosistemas (Perrow y Davy, 2002).

Roos (1997) por su parte, alude que la restauración ecológica se reserva para las actividades que buscan recrear un ecosistema sustentable que imite pocos disturbios. Restauración se refiere a una gama de prácticas y a un amplio rango de escalas de tiempo, muchas veces a largo plazo, como sería la reproducción de sistemas complejos (por ejemplo bosques naturales y ecosistemas

acuáticos), o a corto plazo, como áreas de recreo que producen hábitat con menos credibilidad científica, pero que popularmente son más solicitados.

Roos (1997), sugiere que las soluciones modernas para las áreas de recreación, construcción de caminos y desarrollo de las ciudades están tendiendo a favorecer la simplificación de la vegetación natural, adoptando prácticas de restauración, las cuales ayudan a la colonización natural, algunas veces usando especies pioneras, mientras se ensaya como crear la diversidad de todas las comunidades vegetales. En este tipo de áreas de recreo se busca establecer comunidades de vegetación natural que en algún momento pudieran parecerse a la vegetación seminatural original, aunque no necesariamente recreen en su totalidad la diversidad.

De acuerdo con Ewel (1990), en una técnica de restauración ecológica se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

Autosustentabilidad. Se refiere a que el ecosistema sea capaz, en un momento dado, de autoperpetuarse, inclusive sin ayuda del hombre.

Invasión. Implica reconocer las especies que invaden comunidades perturbadas, ya que éstas podrían ser muy competitivas y desplazar a especies clave dentro del proceso de sucesión natural.

Productividad. Depende del uso eficaz del recurso por la comunidad. Una comunidad restaurada debe ser tan productiva como la original.

Retención de nutrimentos. Las comunidades son sistemas abiertos en el flujo de nutrimentos, una comunidad restaurada debe perder la menor cantidad posible de nutrimentos.

Interacciones bióticas. El ensamblaje de los organismos en una comunidad es un aspecto fundamental al que debe enfocarse una restauración. Es importante conocer las especies clave.

La restauración ecológica de éxito es aquella que es capaz de acelerar un proceso de sucesión en un tiempo relativamente corto, comparado con otro evento en el que no se haya llevado a cabo ninguna manipulación (Martínez, 1996).

4.2. Sucesión ecológica

La mayoría de los tipos de vegetación están sujetos a cambios temporales, tanto en la composición de las especies, como en la importancia relativa de las formas de vida que los constituyen. Estos cambios pueden ser clasificados como sucesionales o cíclicos (Grime, 1982).

Para Clements, la sucesión es un proceso sinecológico de eventos graduales y recurrentes que tienden a llegar al equilibrio en las comunidades (Martínez, 1996). De acuerdo con esta teoría, las comunidades bióticas son un superorganismo altamente integrado, que sigue un desarrollo gradual y progresivo, similar al de un organismo individual, desde su surgimiento hasta alcanzar el estado de madurez denominado clímax. En este proceso, los cambios ambientales provocados por las especies pioneras, favorecen el establecimiento de nuevas especies y así sucesivamente, de tal modo que el desarrollo de la comunidad es autogénico, además de ordenado, predecible y unidireccional (Jardel y Sánchez, 1989).

Odum, retomó la teoría de Clements y aportó elementos para establecer que la sucesión es un cambio ordenado, direccional y predecible, al menos en características del ecosistema tales como la diversidad de especies y/o la relación entre la productividad primaria y la respiración. Este proceso culmina en el estado estable en el cual la comunidad controla los cambios (Jardel y Sánchez, 1989).

La sucesión puede ser considerada como un conjunto de comunidades que se substituyen una a otra en un área determinada en el tiempo, y se designa como "sere"; en tanto que las comunidades relativamente transitorias se designan como etapas serales, etapas de desarrollo o etapas de explotación y el sistema estabilizado final se designa como clímax (Granados y López, 2000).

Dado que el concepto de clímax contiene una fuerte connotación determinística de la naturaleza, las hipótesis más aceptadas en la actualidad, para explicar los cambios sucesionales en una comunidad son según Cano y Meave (1996):

1. Las especies se incorporan en el curso sucesional en función de los gradientes temporales en la disponibilidad de recursos.
2. Las especies se presentan en distintos momentos en función de su longevidad diferencial y otros procesos poblacionales.
3. El proceso sucesional es resultado de las diferencias en los atributos de la historia de vida de los organismos involucrados.
4. El proceso sucesional tiene un fuerte componente estocástico.

En general, la sucesión ecológica se conoce como el reemplazamiento de una comunidad por otra, guiado por fuerzas ambientales que conducen hacia una comunidad madura estable y dinámica, esto se entiende como el camino hacia la formación en el cual se establecen fenómenos de competencia, establecimiento, supervivencia y dominancia, aunado a una dependencia de las interacciones y de las influencias modificadoras de los organismos vivientes que constituyen la comunidad (Granados y López, 2000).

La sucesión puede ocurrir en lentos estadíos integradores, en donde un sitio ecológico es al principio tan inhóspito que sólo unas cuantas especies pueden sobrevivir en él, o bien, puede ser muy rápido, por ejemplo cuando una comunidad es destruida por fuego o inundaciones y es reemplazada por otra en forma inmediata (Krebs, 1985; Granados y López, 2000).

De acuerdo a su origen, se consideran dos tipos de sucesión:

a) Sucesión primaria. Es la secuencia de especies en un terreno nuevo que no ha sufrido anteriormente la influencia de una comunidad. La regeneración e invasión ocurre en áreas estériles, que por primera vez se cubren con un tipo de flora y fauna (Begon *et al.*, 1988).

b) Sucesión secundaria. En los casos en que la vegetación de una zona ha sido eliminada de forma total o parcial (disturbio), pero donde se conserva en parte el suelo y un buen número de semillas y esporas, la secuencia que se produce entonces se conoce como sucesión secundaria (Begon *et al.*, 1988; Smith y Smith, 2000).

La sucesión secundaria, a diferencia de la primaria, presenta tasas de desarrollo y recuperación muy rápidas, debido a las modificaciones hechas por la vegetación previa al disturbio en cuanto a suelo, propágulos y semillas que persisten en el mismo (Krebs, 1985).

Existen en la naturaleza comunidades que en lugar de progresar desde las especies colonizadoras hacia el clímax, los ciclos se repiten una y otra vez en forma indefinida, a este tipo de sucesión se le llama “Sucesión Cíclica” (Granados y López, 2000).

La sucesión ecológica es el marco conceptual en el cual se basa la restauración ecológica. Los ecosistemas o comunidades que han sido degradados llevan a cabo por si mismos eventos de recuperación que son parte de un proceso de sucesión. El conocimiento de estos procesos de los diversos ecosistemas o comunidades permite plantear diferentes enfoques para realizar una restauración ecológica con éxito (Martínez, 1996).

4.3. Estrategias de colonización de las plantas

Las estrategias pueden definirse como agrupamientos de características genéticas semejantes o análogas que ocurren ampliamente entre las especies o poblaciones y hacen que las mismas exhiban semejanzas ecológicas (Grime, 1982).

Grime (1982), menciona que existen dos grupos de factores que limitan la cantidad de biomasa de las plantas en cualquier hábitat: las restricciones y la perturbación. El primero se refiere a los fenómenos que limitan la producción fotosintética: luz, agua, nutrimentos minerales y temperatura. El segundo se relaciona con la destrucción total o parcial de la biomasa vegetal y es el

resultado de las actividades de herbívoros, de agentes patógenos, del hombre, de daños causados por el viento, heladas, sequías, erosión del suelo y la acción del fuego.

A partir de estos dos grupos de factores, Grime (1982) elaboró un cuadro de contingencia de la intensidad de las restricciones (baja y alta), contra la intensidad de la perturbación (baja y alta). De las cuatro combinaciones posibles (Cuadro 1), propone tres estrategias básicas de comportamiento poblacional (Granados y López, 2000).

Cuadro 1. Bases para la evolución de tres estrategias primarias en las especies vegetales (Grime, 1982).

Intensidad de la perturbación	Intensidad de las restricciones	
	Baja	Alta
Baja	Estrategia competitiva	Estrategia tolerante al estrés
Alta	Estrategia ruderal	Sin estrategia viable

Así, las estrategias primarias en las plantas son (Łaska, 2001):

1. **Estrategia competitiva (C).** Bajo índice de restricción con baja perturbación.
2. **Estrategia tolerante al estrés (S).** Alto índice de restricción con baja perturbación.
3. **Estrategia ruderal (R).** Bajo índice de restricción con alta perturbación.

Los ambientes que han sido asociados con la presencia de competidores, tolerantes al estrés y ruderales, forman solamente una parte del espectro de los hábitat disponibles para las plantas. Es posible suponer que existen diversas estrategias secundarias que evolucionaron en hábitat con intensidades intermedias de competencia, restricciones y perturbación (Granados y López, 2000).

De acuerdo con Łaska (2001), la Teoría de la estrategia C-S-R, trata a la perturbación, restricciones y competencia, como los fenómenos que pueden producir cambios en la estrategia de vida de las especies y que toman lugar en respuesta a la variación de las condiciones ambientales. De acuerdo a la importancia relativa con que se presentan estos fenómenos, propone cuatro tipos de estrategias secundarias:

1. **Ruderales competitivas (C-R).** Adaptadas a circunstancias en las que hay un bajo índice de restricción y la competencia esta limitada a una moderada intensidad de perturbación.
2. **Ruderales tolerantes al estrés (S-R).** Adaptadas a hábitats improductivos, ligeramente alterados.
3. **Competidoras tolerantes al estrés (C-S).** Adaptadas a condiciones poco perturbadas, que experimentan intensidades moderadas en las restricciones.
4. **Estrategas C-S-R.** Confinadas a hábitat en los que la competencia esta restringida a intensidades moderadas por los efectos combinados de las restricciones y la perturbación.

Las condiciones en las que se puede esperar la presencia de los diversos tipos de estrategias secundarias, se pueden representar mediante un triángulo equilátero (Figura 2), en el cual las variaciones de la importancia relativa de los determinantes de la vegetación se indican por tres tipos de contornos: competencia (—), restricciones (---) y perturbación (---). En las tres esquinas del triángulo, las plantas competidoras (C), tolerantes al estrés (S) y ruderales (R), se convierten en las constituyentes exclusivas de la vegetación y las áreas restantes del triángulo corresponden a diferentes estados de equilibrio posible entre competencia, restricciones y perturbación (Granados y López, 2000).

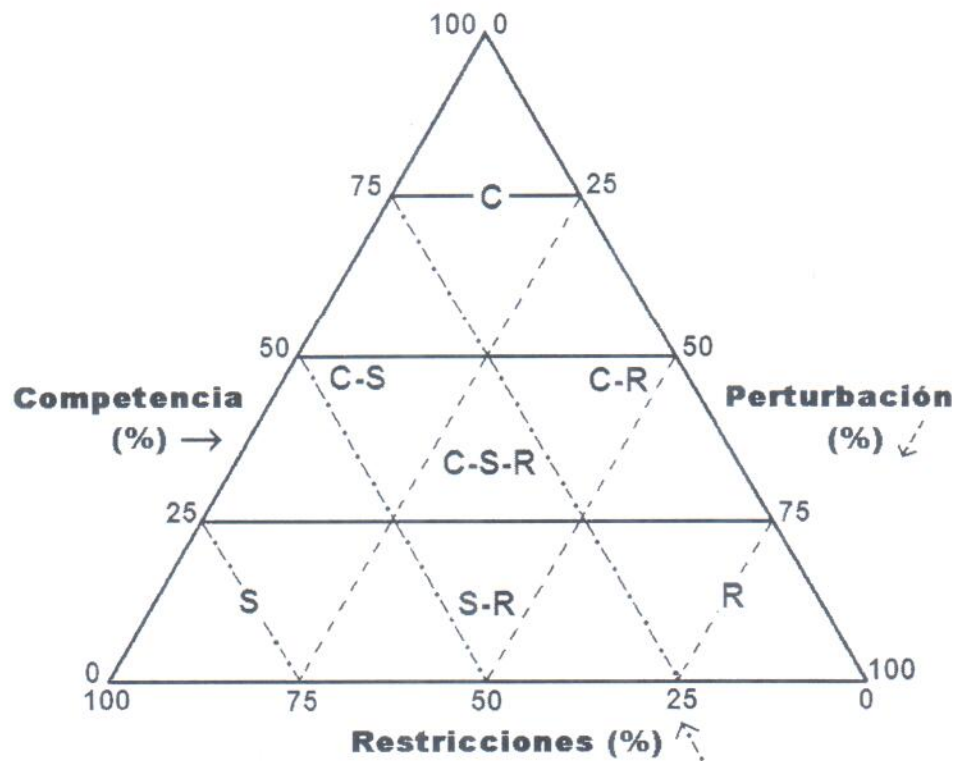


Figura 2. Modelo que describe los diversos equilibrios entre competencia, restricciones y la alteración en la vegetación, y la localización de las estrategias primarias y secundarias (Grime, 1982).

4.4. Clasificación

La clasificación consiste en el agrupamiento de individuos en categorías o entidades discretas, de acuerdo con algún criterio, donde los miembros deben ser semejantes entre si, pero diferentes a las otras categorías (Whittaker, 1970 y Barbour *et al.* 1998).

Las técnicas de clasificación se basan en el agrupamiento de muestras o de especies que tienen propiedades en común. Existen dos tipos: las que asignan individuos a clases ya existentes y aquellas que crean las clases a partir de la información, las técnicas hasta ahora empleadas son las del segundo tipo, dado que no se han establecido clases universales de la vegetación (Zavala, 1986).

De acuerdo con Matteucci y Colma (1982), la clasificación puede ser: *Reticulada*, cuando las técnicas permiten obtener clases de igual jerarquía; o *Jerárquica*, cuando las técnicas estructuran las clases, de manera que algunas tienen mayor rango y cada una de ellas engloba varias de menor orden.

Según el procedimiento utilizado en la formación de las clases, las técnicas pueden ser: *Divisivas*, cuando comienzan con la población completa y por divisiones sucesivas se van formando grupos más pequeños; o *Aglomerativas*, cuando comienzan con los individuos, los que se combinan por su semejanza hasta agotar las posibilidades de combinación o hasta que no queden individuos aislados (Matteucci y Colma, 1982).

De acuerdo con la cantidad de características que intervienen en la formación de clases, las técnicas son: Monotéticas, que sólo pueden ser divisivas, utilizan una sola característica en cada subdivisión; o Politéticas, emplean una función de semejanza basada en el conjunto de características (Matteucci y Colma, 1982).

En los estudios de vegetación, los individuos a clasificar pueden ser muestras de vegetación o de atributos. En el primer caso, los datos que se manejan son relaciones entre muestras en una matriz directa, la técnica es autoestructurante o normal. En el segundo caso, la entrada es una matriz indirecta y la técnica es de estructuración transpuesta (Zavala, 1986).

Las comunidades vegetales pueden ser clasificadas con los siguientes criterios, que dependen de las propiedades que se quieren enfatizar (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974):

– **Propiedades internas de la vegetación**

A. Criterio fisonómico y estructural

- a) Formas de crecimiento o de vida
- b) Estratificación vertical y desarrollo orgánico
- c) Periodicidad

B. Criterio florístico

- a) Un solo tipo de especies
- b) Grupos de especies de plantas

C. Criterio relación numérica

- a) Entre diferentes especies
- b) Entre diferentes comunidades

– **Propiedades externas de la vegetación**

A. Presunta etapa final en el desarrollo de la vegetación.

- a) Definida por la combinación de las formas de vida.
- b) Definida por el criterio florístico.

B. El hábitat y el ambiente.

- a) Factores del sitio (clima, relaciones hídricas, suelo, influencias antropogénicas).
- b) Combinación de los factores del sitio

C. Localización geográfica de las comunidades.

– **Propiedades combinadas de la vegetación y el ambiente.**

A. Por análisis independiente de la vegetación y por análisis independiente de los componentes ambientales y su subsiguiente correlación.

B. Por el análisis combinado de la vegetación y el ambiente y el énfasis en las interdependencias en el sentido funcional.

Gauch (1982) menciona que los fines de la clasificación, utilizada como una herramienta de análisis multivariado, son:

1. Simplificar conjuntos grandes y complejos de datos.
2. Auxiliar en la interpretación ambiental de patrones de variación de la comunidad.
3. Refinar modelos acerca de la estructura de la comunidad.

4.5. Ordenación

En el contexto de análisis de vegetación, el término de ordenación se refiere al arreglo de muestras de vegetación, con base a su semejanza en la composición de especies y, en algunos casos, en los factores ambientales asociados (Kent y Coker, 1992; Barbour *et al.*, 1998).

Con los métodos de ordenación se obtienen secuencias o gradientes, al disponer los individuos (muestras o atributos) a lo largo de ejes de variación continua. La ordenación consiste en reducir el número de ejes de variación, simplificando el espacio multidimensional hasta obtener un sistema con el menor número de ejes posibles que contenga la mayor parte de la variación (Matteucci y Colma, 1982).

Los ejes de una ordenación pueden ser construcciones puramente matemáticas derivadas de una matriz de semejanza entre las muestras o especies (ordenación indirecta), o representar gradientes ambientales (ordenación directa) (Sánchez, 1998; McCune y Grace, 2002). El análisis indirecto busca la obtención de ejes a partir de los datos vegetacionales, que pueden representar o no gradientes ambientales. El análisis directo busca el ordenamiento de los individuos (muestras o atributos) sobre ejes que expresan variaciones ambientales conocidas y aceptadas (Matteucci y Colma, 1982).

La ordenación es considerada como sinónimo de análisis de gradientes. Se reconocen tres tipos de gradientes ambientales (Austin y Smith, 1989):

1. **Gradientes indirectos**, aquellos que no tienen una relación directa con los organismos, involucran la presencia de otros factores (por ejemplo la altitud que tiene una correlación sitio-específica con la humedad y la temperatura las cuales si tienen efecto directo sobre el crecimiento).
2. **Gradientes directos**, con un impacto fisiológico directo en el crecimiento vegetal pero no son consumidos por los organismos (temperatura, pH, porosidad del suelo).
3. **Gradientes de recursos**, el factor ambiental es consumido como recurso para su crecimiento (oxígeno, agua, nutrimentos del suelo).

Técnicas de ordenación más usadas

Análisis de componentes principales (PCA). Tiene por objeto representar las relaciones entre las muestras en un espacio reducido, de menor número de dimensiones, para facilitar su interpretación. Los ejes representan las combinaciones lineales de la abundancia de cada especie. La virtud de este análisis radica en que los ejes derivados se obtiene de manera tal, que el primero representa la mayor variación posible y los siguientes la mayor variación residual posible, de tal manera que el primer eje recupera la mayor cantidad de estructura y ésta va disminuyendo gradualmente en los ejes subsiguientes, así, es posible basar el estudio en los primeros 2 o 3 ejes y descartar el resto (Matteucci y Colma, 1982).

Análisis de Correspondencia (CA). Esta técnica de análisis de gradiente indirecta, permite ordenar muestras y especies de manera simultánea. Es la forma lógica de descubrir factores determinantes de la estructura de la comunidad (Palmer, 1993).

Análisis de correspondencia rectificado (DCA). Matemáticamente, DCA asegura que las diferencias ecológicas o florísticas semejantes entre los grupos vegetales pueden ser expresados como distancias en un espacio de ordenación. Esta técnica es una de las más comúnmente usadas en los métodos de ordenación (Palmer, 1993). Con este método se eliminan dos problemas que presentan algunas técnicas de ordenación; el primero, visto en las técnicas de CA y PCA, como un patrón arqueado de puntos en un espacio

de ordenación (efecto de arco), surge porque el segundo eje es una función curvilínea (cuadrática) del primer eje; el segundo problema presente en CA, es que esta técnica tiende a comprimir los puntos hacia los extremos del primer eje, lo que provoca la determinación de conclusiones falsas en las semejanzas en la composición de especies (Gauch, 1982). Estos problemas son eliminados por el proceso matemático conocido como "detrending"; el cual da el nombre a este método (Gauch 1982; Barbour *et al.*, 1998). Esta técnica también permite evaluar la importancia relativa de los factores ambientales que influyen en la distribución de especies (Barbour *et al.*, 1998; McCune y Grace, 2002).

Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Es una técnica de ordenación directa que representa, además, un caso especial de regresión múltiple. CCA es capaz de producir cuadrantes y especies localizadas en un espacio de ordenación y generar vectores ambientales que se originan del centro. La longitud de estos vectores representa la longitud del gradiente de una variable ambiental, cuya dimensión es proporcional a la importancia del gradiente, esto es, los factores ambientales importantes tendrán vectores largos y los factores no importantes, vectores cortos. El resultado es de utilidad para observar, de manera significativa, la distribución de las especies en las comunidades y como éstas se relacionan y son influenciadas por el ambiente (Barbour *et al.*, 1998).

4.6. Formas de vida

La forma de vida, forma de crecimiento o tipo biológico, se entiende en general como la forma o estructura que presenta una especie y es el producto de las condiciones ambientales y de las estrategias adaptativas y evolutivas de las plantas (Granados y Tapia, 2002).

Las formas de vida pueden ser cualquiera de las siguientes, dependiendo del contexto que se trate (Barbour *et al.*, 1998):

- a. *Lapso de vida, consistencia leñosa y tamaño de un taxón*, por ejemplo, anual, perenne, herbácea, perenne herbácea, perenne leñosa, arbusto o árbol.
- b. *El grado de independencia de un taxón*, por ejemplo: parásitas, saprófitas o epífitas.
- c. *La morfología de un taxón*, por ejemplo: tallo succulento, hoja succulenta, forma de roseta, espinosa o pubescente.
- d. *Características de la hoja de un taxón*, por ejemplo: larga, pequeña, esclerófila, siempre verde, decidua de invierno, decidua de sequía, puntiaguda o ancha.
- e. *La posición de los brotes de renuevo*, como los definidos por Raunkiaer.
- f. *Fenología*, como: el tiempo de los eventos del ciclo de vida en relación con las señales ambientales.

Existen diversos sistemas de clasificación de las formas de vida. Esta variación se debe a los diferentes criterios que considera cada autor y a la zona geográfica y ecológica en la que se encuentra. Entre los sistemas de clasificación, se tienen los siguientes (Granados y Tapia, 2002):

- Formas de vida de Raunkiaer. Este sistema se basa esencialmente en el comportamiento de las especies durante la estación desfavorable, el cual consiste en el desarrollo de mecanismos que permiten la supervivencia de un año a otro (naturaleza y situación de los órganos productores de nuevos brotes: botones, órganos subterráneos, semillas). Es decir, la clasificación esta basada en la posición de las estructuras de renuevo o meristemas con respecto a la superficie del suelo, que permitirán a la planta retoñar en la estación de crecimiento. Sólo considera plantas superiores.
- Ellemberg y Muller-Dombois, retoman la clasificación de Raunkiaer, estableciendo varias divisiones. En primer lugar consideran el carácter autótrofo o heterótrofo de las plantas, luego toman en cuenta la distinción entre plantas vasculares y talófitas.
- Sistema de Braun Blanquet. Este autor adoptó una clasificación muy parecida a la de Raunkiaer, pero consideró a fanerógamas y criptógamas, aquí los criterios morfológicos juegan un papel muy importante.
- Clasificación de DuRietz. Este autor consideró los puntos de vista puramente fisonómicos, propone una clasificación basada esencialmente en la estructura de las plantas; este sistema pretende un acercamiento a ciertas relaciones taxonómicas.

Algunos autores han realizado modificaciones a los sistemas de clasificación que tuvieron su origen en zonas templadas, para adaptarlas a otras regiones, tomando en cuenta los factores propios de esos lugares, ejemplo de ello es la clasificación de las formas de vida de zonas áridas, la cual se fundamenta en el sistema de clasificación de DuRietz (Granados y Tapia, 2002).

4.7. Estabilización de taludes

4.7.1 Definición de talud

Se conocen con el nombre genérico de talud a cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal, que haya de adoptar permanentemente las masas de tierra (Rico y Del Castillo, 1990).

Se define como ladera, cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y se llama talud, cuando se formó de manera artificial, mediante una excavación, corte o relleno. Los taludes producto de un corte se generan mediante la excavación en una formación térrea natural, los taludes de relleno son los lados inclinados de los terraplenes y los taludes de excavación se producen cuando se realiza una excavación a partir del nivel del terreno natural (Ambríz, 2001).

4.7.2. Problemática de la estabilidad de taludes

El talud constituye la estructura más compleja de las vías terrestres, ligados a su estabilidad aparecen los problemas más complicados de la mecánica de suelos y de la mecánica de rocas aplicados a la construcción de estas obras,

sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable (Rico y Del Castillo, 1990).

La esencia del problema de estabilidad de taludes radica en poder definir la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén, que por lo general será la más escarpada que se sostenga, el tiempo necesario, sin caerse, esto debido a que a diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover, y por lo tanto, diferentes costos (Lambe y Whitman, 1991).

Las consideraciones de costo presiden la selección de la inclinación idónea, que resultará ser aquella a la que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo, el talud más escarpado (Lambe y Whitman, 1991).

De esta manera, los taludes son estructuras que en general se proyectan y construyen con una motivación esencialmente económica. Cabe señalar que los montos de inversión por los que se pelea y defienden, con un criterio correcto de estabilidad de taludes, son una parte muy importante de la inversión total que se efectúe en una vía terrestre. En México, el 50% de las carreteras por construir se desarrollan en terrenos francamente montañosos. En estos, el 70% del costo total de construcción de la carretera corresponderá al movimiento de tierras por la formación de cortes y terraplenes, en los que cualquier cambio en

la inclinación repercutirá en forma importante en el costo total (Rico y Del Castillo, 1990).

4.7.3. Causas de los deslizamientos

Las causas que llegan a provocar deslizamientos de taludes y laderas están íntimamente ligadas con las propiedades índice y mecánicas de los suelos y rocas, como son el contenido de agua, los límites de consistencia, la granulometría, estructura, resistencia, deformabilidad, permeabilidad y cambios volumétricos. Las causas más comunes que provocan deslizamientos son (Ambríz, 2001):

1. Existencia de suelos blandos.
2. Inclinación inadecuada de los taludes.
3. Drenaje superficial y subterráneo deficiente.
4. Estratificación de roca y suelo.
5. Fracturas, fallas y diaclasas de la roca.
6. Discordancias geológicas entre suelo y roca.
7. Uso de materiales de construcción inadecuados.

4.7.4. Clasificación del tipo de fallas en los taludes

Las fallas son derrumbes, colapsos o movimientos excesivos de toda índole que ponen en riesgo la función estructural para la que fue construido el talud (OPS, 1997).

Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aun persiste cierto grado de incertidumbre a su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. Sin embargo, existen ciertos patrones que ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla. En el Cuadro 2 se presenta una clasificación de fallas de taludes adaptada por Hunt (1984).

Existen otros tipos de fallas, no directamente asociadas a la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Se menciona en primer lugar las fallas por erosión, tan frecuentes y dañinas en los terraplenes y cortes en las vías terrestres. Se trata del resultado del ataque superficial de los agentes erosivos (viento y agua), sobre los materiales que componen el talud. La falla se manifiesta en irregularidades, socavones y canalizaciones en el plano del talud, originalmente regular (Rico y Del Castillo, 1990).

En segundo lugar se menciona las fallas por tubificación, las cuales empiezan cuando hay arrastre de partículas de suelo dentro de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua. Una vez que las partículas han sido removidas van quedando en el suelo pequeños canales, por lo que el agua circula a mayor velocidad, con mayor poder de arrastre, de manera que el fenómeno de tubificación tiende a crecer continuamente. El límite del fenómeno es el colapso del bordo. Un factor que influye mucho en la tubificación es la insuficiencia de compactación en el terraplén, cuanto ésta afecta a suelos susceptibles (Lambe y Whitman, 1991).

Cuadro 2. Clasificación de fallas en taludes (Hunt, 1984).

Tipo de falla	Forma	Definición
Desprendimientos	- Caída libre	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o de roca que descienden en caída libre.
	- Volcadura	Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	- Planar	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana.
	- Rotacional	Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida.
	- Desparramamiento lateral	Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos.
	- Deslizamiento de escombros	Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.
Avalanchas	- De roca o escombros	Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material.
Flujo	- De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.
Reptación		Movimiento lento e imperceptible de una masa de suelo o suelo-roca de un talud.

En tercer lugar se hace referencia a las fallas por agrietamiento que tienen importancia especial en el caso de terraplenes. Los agrietamientos se pueden presentar en sentido transversal y longitudinal. Los primeros ocurren por asentamiento a lo largo del eje del camino y sólo serán de consideración en el caso de terraplenes contruidos sobre suelos blandos. El agrietamiento longitudinal con respecto al eje de la obra vial es mucho más frecuente, ocurre sobre todo por movimientos diferenciales de los hombros del terraplén y su parte central. Se manifiesta por la aparición de dos familias de grietas simétricas respecto al eje del camino, ubicadas en los hombros, estas grietas continúan casi de forma interrumpida durante decenas o centenas de metros (Rico y Del Castillo, 1990).

4.7.5. Técnicas de estabilización de taludes

Existen tres grandes grupos de soluciones para lograr la estabilidad de un talud (OPS, 1997):

1. *Aumentar la resistencia del suelo:* son las soluciones que aplican drenaje en el suelo para bajar el nivel freático o la inyección de sustancias que aumenten la resistencia del suelo, tales como el cemento u otro conglomerante.
2. *Disminuir los esfuerzos actuantes en el talud:* soluciones tales como el cambio de la geometría del talud mediante el corte parcial o total de éste a un ángulo menor o la remoción de la cresta para reducir su altura.

3. *Aumentar los esfuerzos de confinamiento del talud*: se puede lograr la estabilización de un talud mediante obras, como los muros de gravedad, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo.

Estas soluciones pueden llevarse a cabo mediante diversos sistemas o técnicas de estabilización, Florez *et al.*, (2002), clasifican a los sistemas de estabilización de taludes en cinco categorías:

1. Conformación del talud o ladera

Sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen movimiento, mediante conformación topográfica (Florez *et al.*, 2002).

Dentro de estas técnicas se tiene:

- a) Remoción de materiales de la cabeza del talud
- b) Abatimiento de la pendiente
- c) Terraceo de la superficie

El escalonamiento o terraceo en suelos arcillosos busca transformar el talud original en una serie de taludes de menor altura, por lo tanto la huella de cada escalón debe ser suficientemente ancha como para que puedan funcionar prácticamente como taludes independientes. El escalonamiento se hace para obtener un abatimiento del talud, recoger materiales caídos y recolectar aguas superficiales (Univalle, 2000).

2. Recubrimiento de la superficie

Métodos que tratan de evitar daños por la acción de las aguas de lluvia, los vientos y el efecto de intemperismo en el cuerpo del talud. El recubrimiento puede ser con impermeabilizantes como el concreto o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal (Florez *et al.*, 2002).

Estos métodos son:

- a) Recubrimiento de la superficie del talud
- b) Conformación de la superficie
- c) Sellado de grietas superficiales
- d) Sellado de juntas y discontinuidades
- e) Cobertura vegetal

El recubrimiento del talud con concreto lanzado, con losas delgadas de concreto o riegos asfálticos, facilita el escurrimiento superficial sin arrastre de partículas; en taludes rocosos altamente fracturados, protegen las vías de continuos desprendimientos; en general estos recubrimientos son medidas costosas y difíciles de aplicar a taludes grandes. Para zonas con exceso de aguas subterráneas, se hace necesario el drenaje, generalmente por medio de drenes horizontales (Univalle. 2000).

Las pantallas son otro método de recubrimiento de la superficie, consisten de una malla metálica sobre la cual se proyecta concreto recubriendo toda la cara del talud (OPS, 1997).

La vegetación cumple una función importante en el control de la erosión de un talud, debido a la protección superficial y a la consistencia que le brinda el entramado mecánico de sus raíces. Son recomendables las especies nativas y se ha comprobado que la protección de los taludes es más efectiva con la plantación continua de pastos y plantas herbáceas (Univalle, 2000).

3. Control de agua superficial y subterránea

Sistemas que controlan al agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y/o aumentando las fuerzas de resistencia (Florez, *et al.*, 2002).

El agua subterránea produce un aumento del peso de la masa deslizante, un incremento de la presión hidrostática en las grietas y por último un incremento de la presión en los poros, lo cual da origen a la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. El uso de drenes y subdrenes son una de las principales medidas que garantizan la estabilidad de los taludes (Univalle, 2000).

Las principales obras de construcción para evitar daños por el agua son.

- a) Canales superficiales para control de escorrentía
- b) Subdrenes de zanja
- c) Subdrenes horizontales de penetración
- d) Galerías o túneles de subdrenaje
- e) Pozos profundos de subdrenaje

4. Estructuras de contención

Métodos en que se colocan fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas de resistencia, sin disminuir las actantes (Florez *et al.*, 2002).

Entre las estructuras de contención más utilizadas están:

- a) Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento
- b) Muros de contención
- c) Pilotes
- d) Anclajes o pernos
- e) Pantallas ancladas

La retención de taludes por medio de estructuras de contención es una solución costosa y debe compararse con otras soluciones alternativas más económicas. En términos generales, el diseño de una estructura de retención requiere de evaluaciones cuidadosas durante la construcción de la obra, especialmente cuando las estructuras sean más altas y cuanto más plástico sea el suelo (Univalle, 2000).

5. Mejoramiento del Suelo

Métodos que aumentan la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y/o la fricción de la mezcla suelo-producto estabilizante o del suelo modificado (Florez *et al.*, 2002).

Estos son:

- a) Inyecciones con químicos
- b) Magmificación
- c) Congelación
- d) Calcinación o tratamiento térmico
- e) Explosivos
- f) Compactación profunda o incremento de la densidad aparente del suelo

4.7.6. La cobertura vegetal en la estabilización de taludes

La vegetación juega un papel importante en el control de los procesos de degradación, como elemento de protección y es vital para la conservación del suelo (Escobar, 2002).

Las acciones que cumple la vegetación en la estabilización de taludes son (Escobar, 2002):

a) Intercepción

Vegetación. El follaje denso y multiestrato contribuye a la reducción del volumen de la precipitación que llega al suelo y de la cantidad de agua capaz de producir remoción y movilización del suelo. El follaje de las herbáceas disipa la energía cinética de las gotas de lluvia, evita el impacto de la gota sobre el suelo y controla la erosión pluvial (Escobar, 2002).

Materia orgánica. El follaje, los tallos, raíces y residuos orgánicos en la superficie (hojarasca), disipan la energía cinética de la lluvia y las escorrentías. La absorción del agua por el humus y la hojarasca incrementa el tiempo de llegada del agua al suelo, retrasando el punto de encharcamiento. Al incrementarse rugosidad superficial, se reduce la velocidad de escorrentía y se incrementa el tiempo de contacto del agua con el suelo. La infiltración es estimulada a través de los canales dejados por las raíces descompuestas. La incorporación de materia orgánica al suelo lo protege del secado intenso (Escobar, 2002).

b) Infiltración

Las raíces y los residuos orgánicos colaboran notablemente a mantener la porosidad y permeabilidad del suelo (González y García, 1998).

c) Evapotranspiración

El agua que intercepta el follaje se convierte en vapor de agua debido a la evaporación y la transpiración de las plantas. La disminución de la humedad del suelo debido a la evapotranspiración de las plantas retrasa la aparición de las escorrentías y la saturación del suelo (González y García, 1998).

d) Protección de la superficie del suelo

Protección al suelo del intemperismo provocado por el agua de lluvia y el viento.

e) Sujeción del suelo

Los sistemas radicales que penetran el suelo son elementos de refuerzo que contribuyen a estabilizar los estratos superficiales. Las raíces fibrosas amarran el suelo superficial evitando su remoción. Los efectos de las raíces sobre el mejoramiento mecánico del suelo son los siguientes (Escobar, 2002):

- Reforzamiento del suelo

Los sistemas radicales de las plantas y árboles desarrollan bulbos donde interactúan con el suelo y las raíces, lográndose el reforzamiento mecánico del suelo, el cual depende de la densidad de las raíces, su resistencia a la tracción, la resistencia por fricción entre la raíz y el suelo, el índice de alineamiento de las raíces (rectitud-angulosidad) y la orientación respecto la dirección del esfuerzo principal. El sistema radical incrementa la cohesión del suelo.

- Sobrecargas

Los árboles frondosos localizados en la zona pasiva del cuerpo de un deslizamiento potencial se convierten en factores que contribuyen a la estabilización de la masa de suelo.

La estabilización de taludes o laderas, mediante el uso de vegetación puede ser conveniente en aquellas situaciones en que (Schiechtl, 1986):

- Existe abundancia de material vegetativo.

- La vegetación natural se propaga y establece fácilmente.
- La construcción de obras de ingeniería pueden ser innecesarias o inconvenientes.
- Son importantes los valores estéticos.

El empleo de la vegetación, con o sin refuerzo mediante el uso de obras de ingeniería, puede ser especialmente apropiada para taludes de terraplenes y para restaurar laderas desnudas formadas durante la construcción de carreteras, emplazamientos de edificios, así como en canteras, terrenos de minas abiertas, márgenes de cursos de agua, entre otros. Los sistemas de estabilización vegetativos pueden utilizar el material disponible localmente, son más permanentes que las obras de ingeniería, no generan costos de mantenimiento y pueden incorporar valores estéticos al paisaje. Además, no causan disturbios (Schiechtl, 1986).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del área de estudio

Con la finalidad de realizar la investigación en un área representativa de los diversos problemas de inestabilidad de taludes, se determinó como área de estudio la Carretera Federal 135, específicamente en el tramo Tehuacan-Oaxaca. Esta carretera ejemplifica la problemática de inestabilidad de taludes por las condiciones geológicas, edáficas y topográficas que imperan en toda la zona donde se localiza. Adicionalmente este trayecto muestra una serie de obras destinadas a corregir los problemas de inestabilidad que no han cumplido eficientemente con su objetivo y la mayoría se encuentran en estado de deterioro.

5.2. Localización de los sitios de muestreo

Se realizó un recorrido de campo en mayo del 2003 a lo largo de la Carretera Federal 135 Tehuacan-Oaxaca, donde se seleccionaron 5 sitios muestreo. Se procuró que fueran los más representativos de toda la diversidad de condiciones vistas durante el trayecto, de acuerdo al clima, topografía, tipo de suelo, pendiente, altura y tipo de vegetación. Cada sitio de muestreo correspondió a un talud cuya formación tuvo su origen en un corte de cerro.

La localización geográfica de los sitios de muestreo se describe en el Cuadro 3.

Sitio 2. Pertenece al municipio de San José Miahuatlán, Puebla y forma parte de la Cuenca del Papaloapan. El tipo de clima es $BS_0(h)w''(w)(i')g$, el cual se considera seco muy cálido, el más seco de los esteparios, con temperatura media anual de 23°C y precipitación anual de 345.2 mm (García, 1981). El relieve es montañoso; el suelo es de tipo leptosol en combinación con regosol eutrico y rendzina. El talud presenta un busamiento (inclinación del material parental) en placas con pendiente del 42%, tiene una cubierta de malla de alambre (Ver anexo 1, sitio 2).

Sitio 3. Se localiza en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos, Oaxaca, en el Distrito de Coixtlahuaca. El tipo de clima es $BS_1kw''(w)(i')g$, que se define como semiseco templado, temperatura media anual de 14.6°C y precipitación anual de 495.6 mm, régimen de lluvias de junio a septiembre (García, 1981). La región es abrupta con montañas de considerable altura, predomina el bosque de encino. El material que conforma el talud no está muy compactado, por lo que en algunas partes se desprende fácilmente, acumulándose en su base (Ver anexo 1, sitio 3).

Sitio 4. Se localiza en el municipio de Asunción Nochixtlan, Oaxaca. El clima es de tipo $BS_1kw''(w)(i')g$, el cual se considera como semiseco templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.9°C y precipitación anual de 470.1 mm (García, 1981). La vegetación que predomina es el bosque de encino. Este talud es el de mayor altura y pendiente, el material está muy suelto y se desprende fácilmente, existe poca cobertura vegetal (Ver anexo 1, sitio 4).

Sitio 5. Se encuentra en el municipio de San Francisco Telixtlahuaca, Oaxaca, en el Distrito de Etlá y pertenece a la cuenca del Río Atoyac. El tipo de clima es (A)C(w''₀)(w)b(i')g, el cual se describe como templado semicálido, subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 18.8°C y precipitación anual de 758.3 mm (García, 1981). El tipo de suelo predominante es de tipo cambisol cálcico;. La vegetación predominante es el bosque de pino-encino. El talud tiene una cubierta de cemento muy deteriorada, la pendiente es la segunda más alta de todos los sitios, se presentan diferentes grados de erosión, principalmente en su parte alta (Ver anexo 1, sitio 5).

Las características físicas, específicas de cada talud, se describen en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Descripción de las características físicas de los taludes estudiados.

Sitio	m (%)	Altura (m)	Exposición	Material físico	P. E. S. (cm)	Vegetación aledaña	
1	114	6.0	Oeste	Sustrato calcáreo	00-05	Matorral Mediterráneo	Desértico
2	110	9.0	Este	Esquistos, roca metamórfica	00-05	Vegetación Crasicaule de <i>Cephalocereus</i> sp. y <i>Neobuxbaumia</i> sp.	
3	130	8.1	Oeste	Sustrato calizo	00-05	Matorral Esclerófilo	Desértico
4	150	18.3	Sur	Cantos rodados en estratos	00-05	Matorral Rosetófilo de <i>Dasyllirion</i> sp. y <i>Brahea dulcis</i> y Bosque de <i>Juniperus</i>	
5	140	11.2	Suroeste	Roca muy fracturada	00-03	Bosque de Pino-encino	

m. Pendiente del talud; Altura. Altura del talud; P.E.S. Profundidad efectiva del suelo.

5.3. Obtención de la información de campo

5.3.1. Diseño de muestreo y levantamiento florístico

Se utilizó un diseño de muestreo completamente al azar, el cual consistió en disponer en cada sitio de muestreo o talud 5 cuadros de dimensiones fijas (1 m²). El número total de subunidades de muestreo fue de 25. En cada cuadro se cuantificó la riqueza de especies y su abundancia, además, se determinó para cada especie su nombre común, forma de vida, tipo de raíz, color de la flor, tipo de tallo, altura y lugar donde se desarrolla (características del micrositio).

Para la identificación de las plantas se realizó la colecta botánica de 2 ejemplares de cada especie encontrada, se procuró que los individuos contaran con sus estructuras completas (flores y frutos), para facilitar su identificación. El material botánico fue identificado en el Herbario de la Preparatoria Agrícola y de la División de Ciencias Forestales, de la Universidad Autónoma Chapingo.

Con el fin de conocer el lapso de vida de cada especie (anual o perenne) y determinar la forma de vida y el tipo de estrategia de las plantas para colonizar, el inventario general se realizó en el mes junio del 2003 y se realizaron dos sondeos más en los meses de diciembre del 2003 y octubre del 2004.

Para determinar si existe diferencia en la composición y abundancia de las especies entre los taludes y las partes sin pendiente, se realizaron muestreos en cuadros de 1 m² en las partes planas aledañas a tres de los taludes analizados.

5.3.2. Propiedades físicas y químicas del suelo

Para el análisis de suelo de cada talud estudiado se tomó una muestra de sustrato de los primeros 10 cm de profundidad. El análisis se realizó en el Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos, de la Universidad Autónoma Chapingo. Se determinaron las siguientes propiedades:

Propiedades físicas

- Densidad aparente (método de la probeta).
- Densidad real (método del picnómetro).
- Capacidad de campo (olla de presión a 30.4 kPa).
- Porcentaje de marchitamiento permanente (membrana de presión a 1519.9 kPa).
- Límite líquido (Cazuela).
- Textura (hidrómetro de Bouyoucos).

Propiedades Químicas

- pH (potenciométrico; relación suelo-agua 1:2).
- Materia Orgánica (Walkley y Black).
- Nitrógeno inorgánico (extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor).
- Fósforo (Olsen).
- Potasio y Sodio intercambiable (extraído en acetato de amonio 1.0N, pH 7.0 en relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama).

- Calcio y Magnesio intercambiable (extraído en acetato de amonio 1.0N, pH 7.0, relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica).
- Capacidad de Intercambio catiónico (acetato de amonio 1.0N, pH 7.0 por centrifugación).
- Nitrógeno total (determinado por arrastre de vapor: Kjeldahl).
- Porcentaje de saturación de bases, calculado.

5.4. Análisis de la información

5.4.1. Clasificación

La semejanza en la composición de especies entre los sitios muestreados se determinó con el programa PCORD versión 4.0 (McCune y Mefford, 1999). La clasificación se realizó por medio del análisis de agrupamiento, con datos de presencia-ausencia, utilizando como medida de distancia el índice Jaccard y como método de unión el promedio entre grupos.

5.4.2. Ordenación

La ordenación de la vegetación se realizó mediante el análisis de correspondencia canónica (CCA), utilizando los programas de computo CANOCO versión 4 (Ter Braak y Šmilauer, 1998) y PC-ORD versión 4.0 (McCune y Mefford, 1999).

El CCA es una técnica de ordenación directa, la cual permite separar las especies según sus nichos ecológicos y construye gradientes sintéticos de ordenación. Estos gradientes pueden concordar con gradientes ambientales, con alguna combinación de diferentes factores ambientales o representar variables no consideradas en el análisis (Sánchez y Granados, 2003).

La prueba de Monte Carlo permitió determinar si las raíces características de los tres primeros ejes de ordenación y los valores de correlación entre las especies y las variables ambientales son estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

5.4.3. Diversidad de especies

La diversidad de especies se estimó con el índice alfa de Fisher, mediante el programa de computo ESTIMATES versión 7 (Colwell, 2004). Este índice se define como:

$$S = \alpha \ln (1 + N / \alpha) \quad (1)$$

donde:

S = número de especies

N = número de individuos

α = índice de diversidad

Ln = logaritmo natural

Este índice toma en cuenta la riqueza de especies y la abundancia, establece de manera explícita que la diversidad depende del número de individuos

muestreados. La ventaja del mismo es que permite hacer comparaciones entre parcelas de diferente área (tamaño de muestra) y parcelas con diferente número de individuos (Carranza, 1997).

5.4.4. Formas de vida

El sistema de clasificación que se utilizó para definir la forma de vida de las especies fue el propuesto por Raunkiaer, el cual se basa en la posición de las estructuras de renuevo o meristemas con respecto a la superficie del suelo que permitirán a la planta retoñar en la estación de crecimiento (Granados y Tapia, 2002):

Para la determinación de las formas de vida se consideró la altura a la que se encuentran las yemas de renuevo, según las siguientes categorías (Granados y Tapia, 2002):

Terófitas. Plantas anuales que sólo viven en la época más favorable, en la cual florecen, fructifican y después mueren, dejando durante la época desfavorable semillas que germinarán en el siguiente año.

Geófitas. Plantas cuya parte aérea muere año tras año y subsisten mediante bulbos, tubérculos o rizomas; por ende, la yema se encuentra cubierta por tierra (yemas subterráneas).

Hemicriptófitas. Las yemas de renuevo se encuentran al ras del suelo, el aparato aéreo es herbáceo y desaparece en parte al inicio de la estación desfavorable. Presentan gran variedad de formas como roseta o las que poseen rizomas rampantes.

Caméfitas. Plantas con la parte inferior leñosa y persistente, las yemas de renuevo se encuentran a menos de 30 cm por encima del suelo, sobre brotes aéreos cortos, rastreros o rectos.

Fanerófitas. Las yemas de renuevo se encuentran arriba de 25 cm, son en su mayoría plantas leñosas, árboles y arbustos. Se subdividen de acuerdo a la altura en:

Nanofanerófitas. Arbustos altos, mayores de 30 cm de alto.

Microfanerófitos. Árboles de 2 a 8 m.

Mesofanerófitas. Árboles de 8 a 30 m.

Megafanerófitas. Árboles mayores de 30 m

Con las formas de vida se determinó para cada sitio el espectro biológico, el cuál consiste en un gráfico de barras en el que se representa el porcentaje de especies pertenecientes a cada forma de vida, esto con la finalidad de mostrar las diferencias entre las formaciones vegetales predominantes y los climas (Matteucci, 1982).

5.4.5. Evaluación de las estrategias de colonización

La evaluación de las estrategias de colonización de las plantas, en los taludes de orillas de carreteras, se realizó de acuerdo al modelo de Grime (1982), el cual considera las estrategias de las plantas en la fase establecida del ciclo vital, considera los diversos equilibrios entre la competencia, las restricciones y la perturbación en la vegetación. Dicho modelo consiste de un triángulo equilátero, en cuyas esquinas se localizan las plantas competidoras, las

tolerantes al estrés y las ruderales, y en las áreas restantes los diferentes estados de equilibrio (Ver apartado 4.3. Estrategias de colonización de las plantas).

La estrategia de colonización de cada especie se determinó mediante la ordenación triangular, previa definición de las características de las especies, para lo cual se recopiló información bibliográfica y de campo.

La ordenación triangular tiene la finalidad de resumir las contingencias a las que se adapta la fase establecida, como un medio para clasificar los tipos de plantas y de vegetación.

En esta ordenación se clasificaron a las especies con base en dos criterios (Grime, 1982):

- La tasa máxima potencial de producción de materia seca ($R_{\text{máx}}$), estimada bajo un ambiente productivo estandarizado.
- El índice morfológico (M), el cual se determinó con la siguiente fórmula:

$$M = (a + b + c) / 2 \quad (2)$$

Donde:

- a = máxima altura estimada del follaje (1, < 12 cm; 2, 12-25 cm; 3, 26-37 cm; 4, 38-50 cm; 5, 51-62 cm; 6, 63-75 cm; 7, 76-87 cm; 8, 88-100 cm; 9, 101-112 cm y 10, >112 cm).

- b = expansión lateral (0, pequeñas terófitas; 1, terófitas robustas; 2, perennes con un rizoma compacto sin ramificar o formando pequeños macollos de 10 cm de diámetro; 3, perennes con rizoma o macollo que llega a tener un diámetro 10-25 cm; 4, perennes que alcanzan un diámetro de 26-100 cm, 5, perennes que alcanzan un diámetro >100 cm).
- c = acumulación máxima estimada de hojarasca persistente (0, ninguna; 1, cubierta delgada discontinua; 2, cubierta delgada continua; 3, hasta un cm de profundidad; 4, hasta 5 cm de profundidad; 5, más de 5 cm de profundidad).

Una vez definidas las estrategias, para cada especie se elaboró el modelo triangular de Grime (1982), situándolas según su estrategia y variabilidad.

6. RESULTADOS

Se analizaron 5 taludes o sitios de muestreo localizados sobre la Carretera Federal 135, en el tramo Tehuacán-Oaxaca. En cada sitio se colocaron al azar 5 cuadros de 1 m² (25 subunidades maestras), además de las tres subunidades colocadas en las partes planas aledañas a los taludes.

Se colectaron un total de 56 especies pertenecientes a 19 familias. Asteraceae fue la más representativa, con 19 especies que constituyen el 34% del total registrado. Le siguen en nivel de importancia Poaceae con 10 especies y Fabaceae con 6 especies, que equivalen al 18 y 11%, respectivamente. El 63% del total de especies esta representado únicamente por 3 familias (Cuadro 5).

Cuadro 5. Familias, especies y formas de vida de los vegetales presentes en los taludes.

Familia	Especie	Forma de vida ^{1/}
Amaranthaceae	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Terófito
Asteraceae	<i>Bidens odorata</i> Cav.	Terófito
	<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	Terófito
	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	Caméfito
	<i>Dyssodia papposa</i> (Vent.) Hitchc.	Terófito
	<i>Eupatorium petiolare</i> Moc. & Sessé ex DC.	Caméfito
	<i>Gnaphalium purpurascens</i> DC.	Terófito
	<i>Heterosperma pinnatum</i> Cav.	Terófito
	<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.	Caméfito
	<i>Parthenium bipinnatifidum</i> (Ortega) Rollins	Terófito
	<i>Picris echioides</i> L.	Terófito
	<i>Pinaropappus roseus</i> (Less.) Less	Geófito
	<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	Terófito
	<i>Senecio salignus</i> DC.	Caméfito

^{1/} Formas de vida de acuerdo con el Sistema de Raunkiaer.

Cuadro 5. Continuación.

Familia	Especie	Forma de vida ¹⁷
Asteraceae	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	Hemicriptófito
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Hemicriptófito
	<i>Stevia salicifolia</i> Cav.	Caméfito
	<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	Terófito
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex F.H. Wigg.	Hemicriptófito
	<i>Tridax procumbens</i> L.	Caméfito
Chenopodiaceae	<i>Salsola kali</i> L.	Caméfito
Convolvulaceae	<i>Ipomoea leptotoma</i> Torr.	Geófito
Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce hirta</i> (L.) Millsp.	Hemicriptófito
Fabaceae	<i>Acacia pennatula</i> (Schltdl. & Cham.) Benth.	Nanofanerófito
	<i>Cassia</i> sp.	Nanofanerófito
	<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Caméfito
	<i>Dalea brachystachya</i> A. Gray	Terófito
	<i>Dalea</i> sp.	Caméfito
	<i>Medicago sativa</i> L.	Hemicriptófito
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	Nanofanerófito
Lamiaceae	<i>Salvia aspera</i> M. Martens & Galeotti	Hemicriptófito
	<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl	Terófito
Liliaceae	<i>Asphodelus fistulosus</i> L.	Geófito
	<i>Dasyllirion lucidum</i> Rose	Caméfito
Linaceae	<i>Linum australe</i> A. Sèller	Hemicriptófito
Loasaceae	<i>Eucnide lobata</i> (Hook.) A. Gray	Caméfito
	<i>Mentzelia hispida</i> Willd.	Caméfito
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis corymbosa</i> Cav.	Terófito
	<i>Mirabilis oblongifolia</i> (A. Gray) Heimerl	Hemicriptófito
Poaceae	<i>Aristida adscensionis</i> L.	Hemicriptófito
	<i>Avena fatua</i> L.	Terófito
	<i>Bouteloua bromoides</i> Lag.	Hemicriptófito
	<i>Bromus carinatus</i> Hook. & Arn.	Hemicriptófito
	<i>Chloris virgata</i> Sw.	Hemicriptófito
	<i>Eragrostis barrelieri</i> Daveau.	Hemicriptófito
	<i>Muhlenbergia implicata</i> (Kunth) Trin.	Hemicriptófito
	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	Hemicriptófito
	<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	Hemicriptófito
	<i>Stipa constricta</i> Hitchc.	Hemicriptófito
	<i>Loeselia coerulea</i> (Cav.) G. Don	Terófito
	<i>Loeselia glandulosa</i> (Cav.) G. Don	Caméfito
Pteridaceae	<i>Notholaena aurea</i> (Poir) Desv.	Hemicriptófito
Resedaceae	<i>Reseda luteola</i> L.	Hemicriptófito
Rubiaceae	<i>Crusea diversifolia</i> (Kunth) W. R. Anderson	Terófito
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Caméfito
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Nanofanerófito

¹⁷ Formas de vida de acuerdo con el Sistema de Raunkiaer.

De las 13 especies colectadas en las áreas planas aledañas a los taludes, 4 resultaron exclusivas de estos sitios (Cuadro 6), las 9 especies restantes fueron; de la familia Asteraceae: *Bidens odorata*, *Brickellia veronicifolia*, *Dyssodia papposa* y *Tagetes lunulata*; de la familia Liliaceae: *Asphodelus fistulosus* y *Dasyilirion lucidum*; de la familia Poaceae: *Chloris virgata*, *Eragrostis barrelieri* y *Rhynchelytrum repens*. La familia más representativa fue Asteraceae.

Cuadro 6. Especies exclusivas de los sitios planos aledaños a los taludes.

Familia	Especie	Forma de vida ¹
Asteraceae	<i>Porophyllum tagetoides</i> (Kunth) DC.	Terófito
Fabaceae	<i>Dalea prostrata</i> Ortega	Caméfito
Fabaceae	<i>Macroptilium gibbosifolium</i> (Ortega) A. Delgado	Hemicriptófito
Poaceae	<i>Aristida glauca</i> (Nees) Walp.	Hemicriptófito

¹ Formas de vida de acuerdo al Sistema de Raunkiaer.

En el sitio 1, localizado en Tehuacán Puebla, se registraron en total 19 especies y 82 individuos. Las especies más abundantes fueron: *Chamaesyce hirta*, *Chloris virgata* y *Rhynchelytrum repens* (Cuadro 7). También se observó la presencia de *Nicotiana glauca* como elemento aislado en pendientes pronunciadas. *Mentzelia hispida* (pegarropa) crece en manchones en las hendiduras de las rocas.

En el sitio 2 de San José Miahuatlán, Puebla, se colectaron en total 49 individuos pertenecientes a 11 especies, de las cuales las más abundantes fueron: *Rhynchelytrum repens*, *Tridax procumbens* y *Nicotiana glauca* (Cuadro 8).

Cuadro 7. Densidad de individuos por especie en el sitio 1.

Familia	Especie	Densidad ¹⁷
Asteraceae	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	1
	<i>Dyssodia papposa</i> (Vent.) Hitchc.	2
	<i>Picris echioides</i> L.	4
	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	2
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	4
	<i>Stevia salicifolia</i> Cav.	2
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex F.H. Wigg.	2
	<i>Salsola kali</i> L.	1
Chenopodiaceae	<i>Chamaesyce hirta</i> (L.) Millsp.	20
Liliaceae	<i>Asphodelus fistulosus</i> L.	1
Loasaceae	<i>Mentzelia hispida</i> Willd.	1
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis corymbosa</i> Cav.	6
Poaceae	<i>Aristida adscensionis</i> L.	1
	<i>Chloris virgata</i> Sw.	12
	<i>Eragrostis barrelieri</i> Daveau.	5
	<i>Muhlenbergia implicata</i> (Kunth) Trin.	5
	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	1
	<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	8
Resedaceae	<i>Reseda luteola</i> L.	4

¹⁷ Numero de individuos en 5 m².

Cuadro 8. Densidad de individuos por especie en el sitio 2.

Familia	Especie	Densidad ¹⁷
Amaranthaceae	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	1
Asteraceae	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	1
	<i>Tridax procumbens</i> L.	11
Chenopodiaceae	<i>Salsola kali</i> L.	2
Convolvulaceae	<i>Ipomoea leptotoma</i> Torr.	1
Fabaceae	<i>Acacia pennatula</i> (Schltdl. & Cham.) Benth.	1
	<i>Cassia</i> sp.	1
Loasaceae	<i>Mentzelia hispida</i> Willd.	3
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	1
	<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	21
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	6

¹⁷ Numero de individuos en 5 m².

En el sitio 3, de Tepelmeme Villa de Morelos, Oaxaca, se cuantificaron 22 especies y un total de 93 individuos. Las especies con un mayor número de individuos fueron: *Bidens odorata*, *Aristida adscensionis* y *Salvia tiliifolia* (Cuadro 9).

Cuadro 9. Densidad de individuos por especie en el sitio 3.

Familia	Especie	Densidad ^{1/}
Asteraceae	<i>Bidens odorata</i> Cav.	24
	<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	2
	<i>Dyssodia papposa</i> (Vent.) Hitchc.	4
	<i>Heterosperma pinnatum</i> Cav.	1
	<i>Parthenium bipinnatifidum</i> (Ortega) Rollins	1
	<i>Picris echioides</i> L.	3
	<i>Pinaropappus roseus</i> (Less.) Less	3
	<i>Senecio salignus</i> DC.	4
	<i>Medicago sativa</i> L.	1
Fabaceae	<i>Medicago sativa</i> L.	1
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	3
Lamiaceae	<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl	8
Loasaceae	<i>Eucnide lobata</i> (Hook.) A. Gray	1
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis corymbosa</i> Cav.	7
	<i>Mirabilis oblongifolia</i> (A. Gray) Heimerl	1
	<i>Aristida adscensionis</i> L.	10
Poaceae	<i>Avena fatua</i> L.	1
	<i>Bromus carinatus</i> Hook. & Arn.	3
	<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	5
	<i>Stipa constricta</i> Hitchc.	2
	<i>Loeselia coerulea</i> (Cav.) G. Don	5
Polemoniaceae	<i>Loeselia coerulea</i> (Cav.) G. Don	5
Rubiaceae	<i>Crusea diversifolia</i> (Kunth) W. R. Anderson	1
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	3

^{1/} Numero de individuos en 5 m².

En el sitio 4, localizado en Asunción Nochixtlan, Oaxaca, se colectaron 63 individuos pertenecientes a 10 especies. Las especies con mayor densidad fueron: *Rhynchelytrum repens*, *Wigandia urens* y *Bouteloua bromoides* (Cuadro 10). *Dalea* es una especie escasa, que crece de forma decumbente cubriendo el 100% de la superficie de muestreo.

En el sitio 5, localizado en San Francisco Telixtlahuaca, Oaxaca, se registraron 13 especies y 74 individuos. Las especies con mayor abundancia fueron: *Rhynchelytrum repens*, *Bidens odorata* y *Muhlenbergia implicata* (Cuadro 11).

Cuadro 10. Densidad de individuos por especie en el sitio 4.

Familia	Especie	Densidad ¹⁷
Asteraceae	<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.	1
Fabaceae	<i>Dalea</i> sp.	4
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	11
Liliaceae	<i>Dasyllirion lucidum</i> Rose	1
Linaceae	<i>Linum australe</i> A. Heller	4
Poaceae	<i>Bouteloua bromoides</i> Lag.	8
	<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	30
Polemoniaceae	<i>Loeselia glandulosa</i> (Cav.) G. Don	1
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	2
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	1

¹⁷ Numero de individuos en 5 m².

Cuadro 11. Densidad de individuos por especie en el sitio 5.

Familia	Especie	Densidad ¹⁷
Asteraceae	<i>Bidens odorata</i> Cav.	11
	<i>Eupatorium petiolare</i> Moc. & Sessé ex DC.	3
	<i>Gnaphalium purpurascens</i> DC.	2
	<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	1
	<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	3
	<i>Tridax procumbens</i> L.	5
	<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	1
Fabaceae	<i>Dalea brachystachya</i> A. Gray	6
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	2
Lamiaceae	<i>Salvia aspera</i> M. Martens & Galeotti	2
Poaceae	<i>Muhlenbergia implicata</i> (Kunth) Trin.	7
	<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	30
Pteridaceae	<i>Notholaena aurea</i> (Poir) Desv.	1

¹⁷ Numero de individuos en 5 m².

De los 361 individuos cuantificados en el área de estudio, el 50% pertenecen a 5 especies, de las cuales *Rhynchelytrum repens* es la más abundante, con un total de 94 individuos registrados que representan el 26% del total. En nivel de importancia le siguen: *Bidens odorata* (10%), *Chamaesyce hirta* (6%), *Tridax procumbens* (4%) y *Wigandia ureas* (4%). El otro 50% esta constituido por las 51 especies restantes (Figura 3).

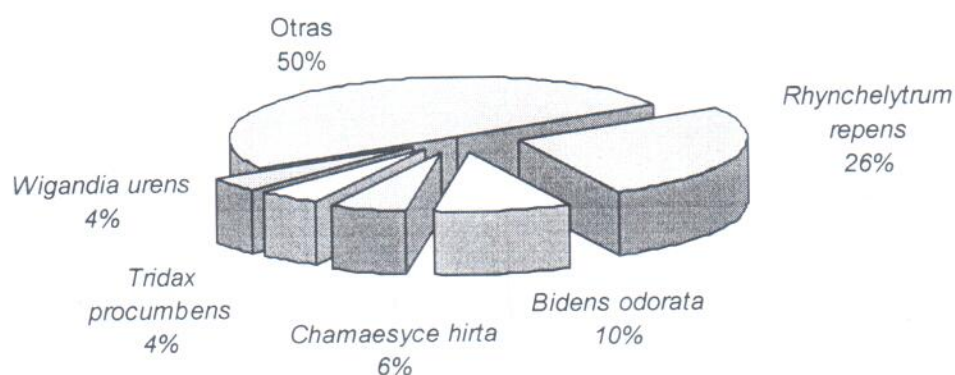


Figura 3. Porcentaje de individuos por especie en el área estudiada.

La familia con mayor número de individuos fue Poaceae, con el 46%, es decir 150 ejemplares. Otra de las familias que registró un porcentaje alto de individuos fue Asteraceae, con 26.9%, que equivale a 97 individuos. La abundancia de individuos por familia se muestra en la figura 4.

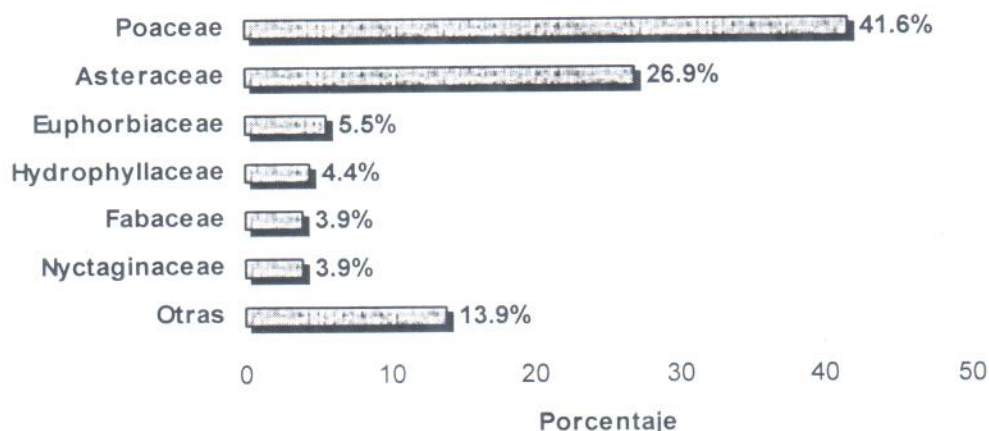


Figura 4. Abundancia de individuos por familia en el área de estudio.

6.1. Propiedades químicas y físicas del suelo

Los resultados del análisis de suelo se interpretaron con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT (DOF, 2000), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos (Cuadros 12, 13 y 14). Esta interpretación tuvo la finalidad de determinar la capacidad de los suelos para proporcionar los nutrimentos y el soporte a las plantas necesarios para su subsistencia. También se identificaron las características que contribuyen a la inestabilidad de taludes.

Propiedades químicas

El valor del pH de los suelos en los sitios de muestreo fue alcalino, desde moderado en los sitios 1 y 5, hasta fuertemente alcalino en los sitios 2, 3 y 4. El valor más alto en la escala de pH fue el del sitio 3 con 9.80 y el más bajo el del sitio 1 con 7.92 (Cuadro 12).

El contenido de materia orgánica (MO), fue muy bajo en el sitio 5 (0.27%) y prácticamente nulo en el resto de los sitios (Cuadro 12). Por el bajo contenido de materia orgánica, estos suelos se consideran como minerales.

El contenido de nitrógeno inorgánico (NI) fue muy alto en el sitio 1, medio en los sitios 4 y 5 y bajo en los sitios 2 y 3. El fósforo (P), únicamente se encuentra presente en el sitio 1, en cantidades bajas. El contenido de potasio (K) en el suelo fue moderadamente alto en el sitio 3, moderadamente bajo en el sitio 1 y muy bajo en los sitios 2, 4 y 5 (Cuadro 12).

El porcentaje de nitrógeno total (NT) en todos los suelos fue bajo, el suelo del sitio 5 fue el de menor concentración (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados e interpretación de las propiedades químicas del suelo.

Sitio	pH	MO (%)	NI (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	NT (%)
1	7.92 Medianamente alcalino	0	74.20 Muy alto	0.30 Bajo	154 Moderadamente bajo	0.08 Bajo
2	8.95 Fuertemente alcalino	0	14.84 Bajo	0	92 Muy bajo	0.07 Bajo
3	8.90 Fuertemente alcalino	0	13.36 Bajo	0	593 Moderadamente alto	0.07 Bajo
4	9.80 Fuertemente alcalino	0	29.68 Medio	0	60 Muy bajo	0.08 Bajo
5	8.45 Alcalino	0.27 Muy bajo	22.26 Medio	0	54 Muy bajo	0.04 Muy bajo

pH. Potencial de Hidrógeno; MO. Materia orgánica; NI. Nitrógeno inorgánico extraíble; P. Fósforo, K. Potasio; NT. Nitrógeno total.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), fue muy alta en el sitio 3 y baja para el resto de los sitios. El sodio (Na), se encuentra en mayor concentración en el sitio 3, seguido en importancia por el sitio 1 y en menor cantidad en los sitios 3, 4 y 5 (Cuadro 13).

La concentración de calcio (Ca), se consideró como muy alta en el sitio 3, media en el sitio 1 y 2, y moderadamente baja en los sitios 4 y 5. La concentración de magnesio (Mg), fue alta en el sitio 3, media en los sitios 2 y 5,

y moderadamente baja en los sitios 1 y 4. El porcentaje de saturación de bases fue semejante en todos los sitios, con valores más altos en los sitios 5, 2 y 1; y más bajos en los sitios 3 y 4 (Cuadro 13).

Cuadro 13. Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables.

Sitio	Na (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	CIC (Cmol(+)/kg)	Bases (%)
1	205	2170 Medio	156 Moderadamente bajo	13.5 Baja	99.4
2	63	2290 Medio	262 Medio	14.2 Baja	99.5
3	388	7847 Muy alto	815 Alto	49.6 Muy alta	99.1
4	44	950 Moderadamente bajo	127 Moderadamente Bajo	6.2 Baja	99.1
5	22	996 Moderadamente bajo	263 Medio	7.4 Baja	99.8

Na. Sodio; Ca. Calcio; Mg. Magnesio; CIC. Capacidad de intercambio catiónico; Bases. Porcentaje de saturación de bases.

Propiedades físicas

De acuerdo con los resultados de la densidad aparente (Da), se considera que el suelo de los sitios 1 y 3 esta formado principalmente por minerales de clasificación textural franca, el del sitio 2 tiene un valor cercano a los francos, sin embargo, se localiza dentro de la categoría de los minerales arenosos, al igual que en los sitios 4 y 5 (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resultados e interpretación de las propiedades físicas del suelo.

Sitio	Dap (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	Pr (%)	CC (%)	PMP (%)	HA (%)	LL (%)
1	1.32	2.57	48.64	38.90	15.48	23.42	44.67
	Minerales francosos						
2	1.39	2.67	47.94	23.54	11.97	11.57	29.31
	Minerales arenosos						
3	1.28	2.28	43.86	53.62	40.25	13.37	51.62
	Minerales francosos						
4	1.61	2.66	39.47	12.00	5.85	6.15	17.37
	Minerales arenosos						
5	1.72	2.70	36.30	12.56	4.81	7.75	15.40
	Minerales arenosos						

Dap. Densidad aparente; Dr. Densidad real; Pr. Porosidad; CC. Capacidad de Campo; PMP. Porcentaje de marchitamiento permanente; HA. Humedad aprovechable; LL. Límite líquido.

Los valores de densidad real (Dr) mostrados en el Cuadro 14, confirman que los suelos son minerales: sus valores oscilan entre 2.60 y 2.70 (Aguilera y Martínez, 1996).

Con los datos de densidad aparente y densidad real, se determinó la porosidad del suelo, es decir, el porcentaje del volumen total de suelo que está ocupado por los espacios porosos. La formula que se utilizó fue (Aguilera y Martínez, 1996).

$$Pr = ((Dr - Da) / Dr) * 100 \quad (3)$$

donde:

Pr = porosidad en %

Dr = densidad real en g/cm³

Da = Densidad aparente en g/cm³

El sitio con mayor porosidad fue el 1, con 48.64%, seguido por el sitio 2 con 47.94, y el sitio 3 con 43.86%. Estos valores corresponden a suelos de texturas francas. Los sitios con menor porcentaje de porosidad fueron el 4 y el 5, con 39.47 y 36.30%, respectivamente, los cuales se relacionan con suelos de textura arenosa (Cuadro 14).

La humedad aprovechable se determinó con base en la diferencia de contenido de humedad entre la capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento permanente (Aguilera y Martínez, 1996). Los sitios con mayor porcentaje de humedad aprovechable fueron: sitio 1 con 23.42%, sitio 3 con 13.37% y sitio 2 con 11.57%. Los de menor porcentaje de humedad aprovechable fueron el sitio 5 y el 4, con un porcentaje de 7.75% y 6.15%, respectivamente (Cuadro 14).

El límite líquido (LL), considera el porcentaje de humedad al que un suelo comienza a fluir, sobrepasando este valor, el suelo puede ser arrastrado por la corriente de agua. Los suelos que presentaron un límite líquido más alto fueron los de los sitios 3, 1 y 2, y los de límite líquido menor fueron los sitios 5 y 4 (Cuadro 14).

Con respecto a la proporción relativa de arena, limo y arcilla, en general, la mayoría de los suelos son de clasificación textural franca, con alto contenido de arena y bajo contenido de arcilla, a excepción del sitio 3 con clasificación textural franco arcillosa, con un porcentaje alto de arcilla, pero con porcentaje

de arena semejante; y del sitio 1, con clasificación franco limosa, con alto porcentaje de limo (Cuadro 15).

Cuadro 15. Textura y porcentaje de arena, limo y arcilla.

Sitio	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
1	20.2	70.0	9.8	Franco limoso
2	52.2	26.0	21.8	Franco arcillo arenoso
3	42.8	20.0	37.2	Franco arcilloso
4	74.2	16.0	9.8	Franco arenoso
5	82.4	11.8	5.8	Arena francoso

6.2. Clasificación

El dendrograma del análisis de agrupamiento muestra que los sitios 1, 2 y 3 son los de mayor semejanza en cuanto a su composición de especies. Los sitios 4 y 5 fueron parcialmente diferentes entre si y con respecto a los demás (Figura 5).

El nivel de corte elegido (50% de la información retenida), permitió distinguir tres diferentes asociaciones vegetales en los cinco taludes analizados. Los sitios 1, 2 y 3 conforman un grupo que comparte las especies *Nicotiana glauca* y *Rhynchelytrum repens*; los sitios 1 y 2 son los que muestran una mayor semejanza, ambos sitios tienen en común las siguientes especies: *Simsia amplexicaulis*, *Mentzelia hispida*, *Pennisetum purpureum* y *Salsola kali*. Los sitios 1 y 3 comparten 4 especies: *Aristida adscensionis*, *Picris echioides*, *Mirabilis corymbosa* y *Dyssodia papposa*.

Rhynchelytrum repens apareció en todos los sitios de muestreo; *Nicotiana glauca* se encontró en los sitios 1, 2, 3 y 4; los sitios 3, 4 y 5 comparten a *Wigandia urens*. El sitio 5 tiene en común con el sitio 1 a *Muhlenbergia implicata*, con el sitio 2 a *Tridax procumbens* y con el sitio 3 a *Bidens odorata*. El resto de las especies aparecieron únicamente en un sitio.

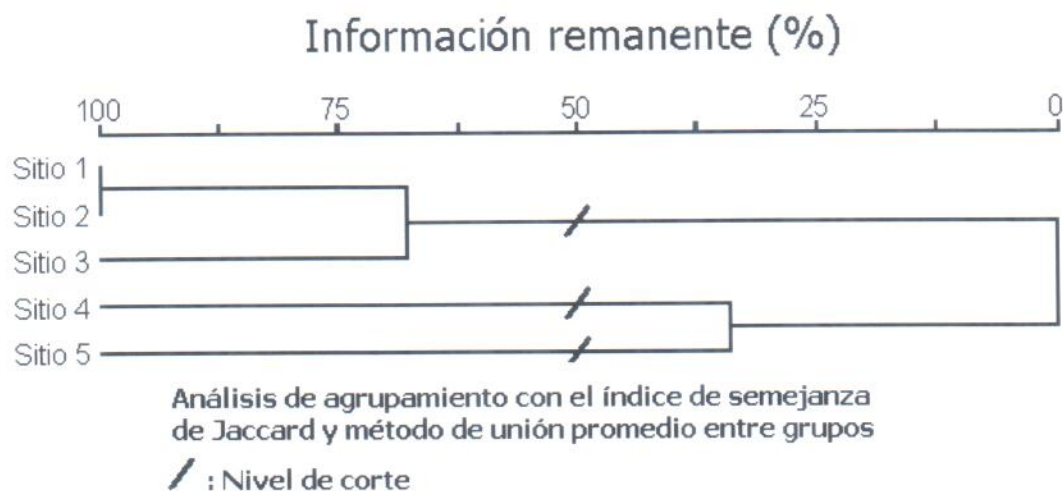


Figura 5. Dendrograma que muestra la semejanza entre los sitios de muestreo.

6.3. Ordenación

La ordenación directa, realizada con el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), se muestra en la Figura 6. Los valores de las raíces características para los tres primeros ejes de ordenación (Cuadro 16), sugieren que hay una separación adecuada entre los sitios de muestreo (o especies), asociada a gradientes ambientales representados por los ejes de variación. Estos resultados muestran que la distribución de las comunidades vegetales no es al azar, sino que obedece a factores ambientales.

La prueba de permutaciones Monte Carlo indica que los valores de las raíces características para los tres primeros ejes y los valores de correlación entre las especies, las variables ambientales y los tres primeros ejes de ordenación, son significativos ($p < 0.03$) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Resultados del análisis de correspondencia canónica para los tres primeros ejes de ordenación.

Ejes de ordenación	1	2	3	Inercia total
Raíces características	0.753	0.725	0.705	2.665
Correlación especies-factores ambientales	1.0	1.0	1.0	
Varianza acumulada (%):				
De las especies	28.3	55.5	81.9	
De las relaciones especies-ambiente	28.3	55.6	82.0	

La correlación entre los tres primeros ejes de ordenación y las 21 variables ambientales se muestra en el Cuadro 17. Las variables de mayor correlación positiva con el primer eje de ordenación fueron, en orden de importancia: pendiente (0.86), arena (0.79) y pH (0.70). Las de mayor correlación negativa para el mismo eje fueron: limite líquido (-0.77), porosidad (-0.75) y humedad aprovechable (-0.75).

Con respecto al segundo eje de ordenación, las variables con mayor relación positiva fueron: materia orgánica (0.93), porcentaje de saturación de bases (0.93) y precipitación total (0.75). La variable de mayor asociación negativa fue el porcentaje de nitrógeno total (-0.91).

En cuanto al tercer eje de ordenación, la temperatura fue la variable con mayor correlación positiva (0.77). El magnesio (-0.85), potasio (-0.80), calcio (-0.76) y la capacidad de intercambio catiónico (-0.77), mostraron la correlación negativa más alta.

Cuadro 17. Correlación entre los tres primeros ejes de ordenación y las 21 variables ambientales. La información entre paréntesis corresponde a las abreviaturas de las variables ambientales en la Figura 6.

Variables	Eje		
	1	2	3
pH (PH)	0.70	-0.40	-0.18
Materia orgánica (MO)	0.30	0.93	-0.18
Nitrógeno inorgánico (NI)	-0.27	-0.11	0.50
Fósforo (P)	-0.46	-0.13	0.45
Potasio (K)	-0.42	-0.40	-0.80
Sodio (Na)	-0.58	-0.49	-0.65
Calcio (Ca)	-0.45	-0.39	-0.76
Magnesio (Mg)	-0.33	-0.21	-0.85
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	-0.44	-0.38	-0.77
Por ciento de saturación de bases (Bases)	-0.03	0.93	0.37
Porosidad (Porosidad)	-0.75	-0.48	0.45
Humedad aprovechable (Hum. Aprov.)	-0.75	-0.24	0.26
Límite líquido (Lim. Liq.)	-0.77	-0.51	-0.36
Arena (Arena)	0.79	0.47	-0.16
Limo (Limo)	-0.55	-0.22	0.50
Arcilla (Arcilla)	-0.40	-0.44	-0.62
Nitrógeno total (NT)	-0.18	-0.91	0.32
Exposición en grados (Exp.)	-0.31	-0.08	-0.60
Temperatura media anual °C (Temp.)	-0.13	0.45	0.77
Precipitación total mm (PP)	0.39	0.75	-0.51
Pendiente en % (Pendiente)	0.86	0.07	-0.51

El diagrama de ordenación (Figura 6) proporciona una representación significativa de la distribución de las comunidades vegetales y las variables ambientales. También corrobora la semejanza entre sitios definida por el

análisis de agrupamiento: los centroides de los sitios 1, 2 y 3, que comparten un mayor número de especies se encuentran más cercanos, en comparación con los centroides de los sitios 4 y 5, que se encuentran totalmente alejados entre si y del resto de los sitios.

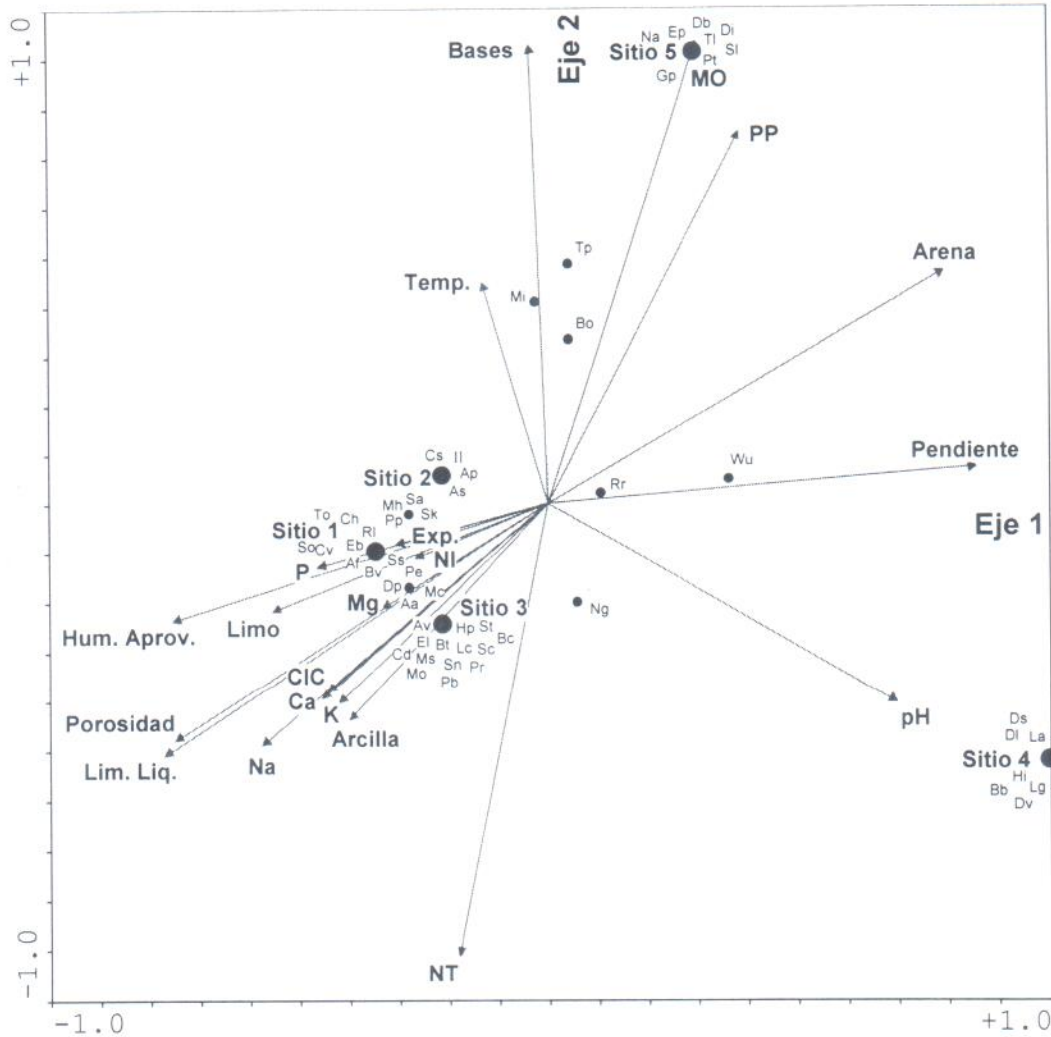


Figura 6. Análisis de correspondencia canónica de 5 sitios de muestreo con 56 especies de plantas y 21 variables ambientales. Los sitios están representados por círculos grandes, las especies por círculos pequeños y las variables ambientales por flechas.

Las variables ambientales representadas con flechas de longitud mayor son las que están más fuertemente correlacionadas con los ejes de la ordenación, por lo que tienen una relación mas estrecha con el patrón de variación de las comunidades vegetales.

6.4. Diversidad de especies

De acuerdo con el índice α de Fisher, el sitio con mayor diversidad fue el 3, con 9.1; seguido por el sitio 1 con 8.4. En nivel jerárquico, los sitios 5, 2 y 4, fueron muy semejantes en diversidad, con 4.6, 4.4 y 3.3, respectivamente (Cuadro 18).

Cuadro 18. Riqueza, abundancia y diversidad de especies por sitio.

	Sitios				
	1	2	3	4	5
Riqueza de especies	19	11	22	10	13
Número de individuos	82	49	93	63	74
Índice Alfa de Fisher	8.4	4.4	9.1 ^{1/}	3.3	4.6

^{1/} Sitio con mayor diversidad.

El comportamiento de los valores de diversidad de especies entre los sitios puede deberse a que el índice de Fisher da más peso al número de especies, eliminando el efecto positivo que tiene la abundancia sobre la diversidad. Así, la diversidad de los sitios 3 y 1 es muy semejante, dado que la riqueza de especies también lo es (22 y 19 especies, respectivamente); lo mismo ocurre con el resto de los sitios, que aunque presentan diferencias en el número de individuos, su riqueza de especies es muy semejante (Cuadro 18).

Para contrastar los valores de diversidad entre los sitios de muestreo, se estimó el índice de Shannon-Weiner con el programa ESTIMATES versión 7 (Colwell, 2004). Este índice combina los dos componentes de la diversidad: 1) el número de especies y 2) la igualdad o desigualdad de la distribución de individuos en las diversas especies. Así, un mayor número de especies aumenta la diversidad, al igual que lo hará una mayor uniformidad o equitatividad entre ellas.

En la figura 7, se observa que los valores de los índices de Shannon-Weiner y α de Fisher tienen un comportamiento similar entre los sitios, es decir, en ambos índices el sitio 3 fue el más diverso, seguido en importancia por los sitios 1, 5 y 2, y el menos diverso fue el sitio 4. Los valores del índice de diversidad de Shannon-Weiner mostraron una menor variación entre sitios (cercanos a 2).

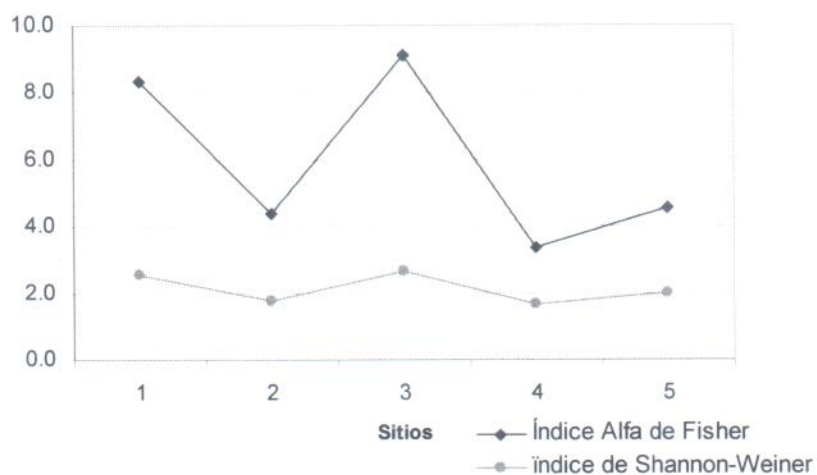


Figura 7. Índices de diversidad α de Fisher y Shannon-Weiner.

6.5. Formas de vida

El espectro biológico del área de estudio (Figura 8), muestra que la forma de vida más común fue la Hemicriptófita, representada por el 34% de las 56 especies presentes en los taludes estudiados. El 29% fueron Terófitas, el 25% Caméfitas y las menos frecuentes fueron las Nanofanerófitas con el 7% y las Geófitas con el 5%.

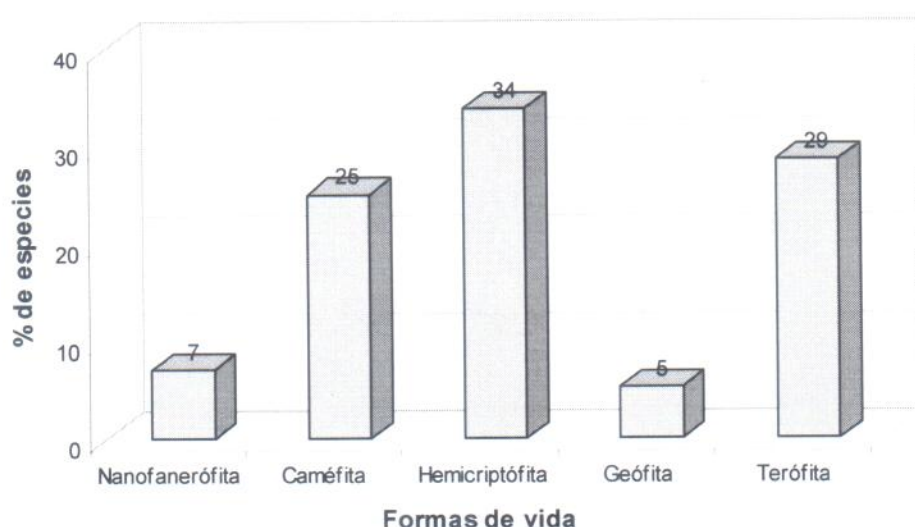


Figura 8. Espectro biológico de las especies analizadas.

El espectro biológico para cada sitio de muestreo se presenta en la Figura 9. En el sitio 1 predominaron las especies Hemicriptófitas, con el 55% del total. La proporción de Caméfitas y Terófitas fue de 20 y 15%, respectivamente, las menos comunes fueron las Nanofanerófitas y las Geófitas, con el 5%.

En el sitio 2, las Nanofanerófitas, Caméfitas y Hemicriptófitas se presentaron en la misma proporción (27%), la forma de vida Geófitas y Terófitas fueron las menos comunes, con un porcentaje de 9.5%.

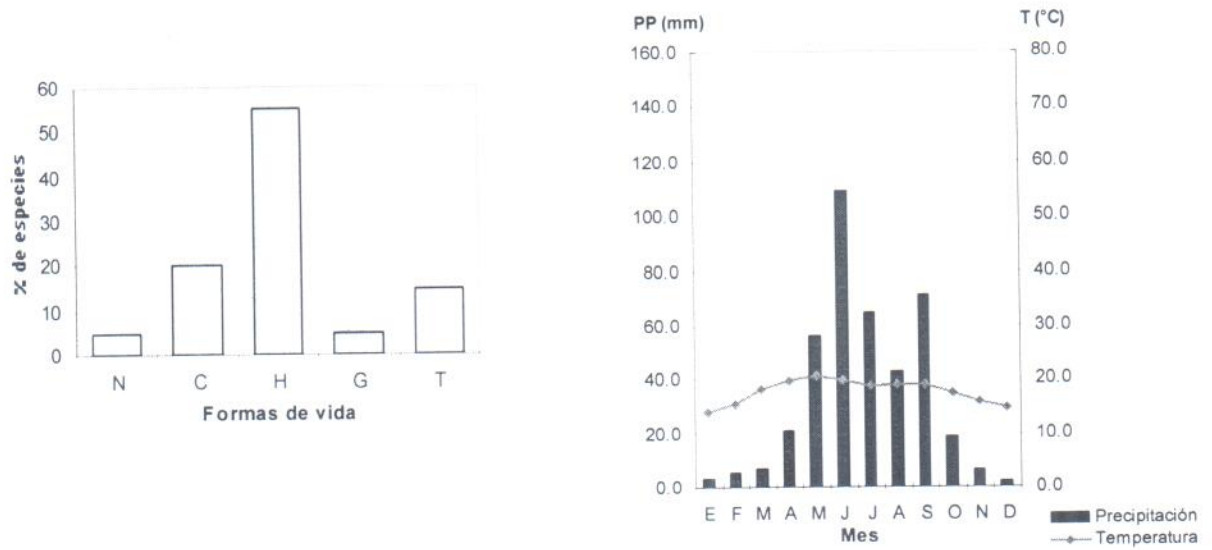
Para el sitio 3, las especies más abundantes fueron las Terófitas, con el 50%, seguida en importancia por las Hemicriptófitas con el 27.2%, Nanofanerófitas y Caméfitas, ambas con 9%, y las Geófitas con 4.6%.

Las formas de vida presentes en el sitio 4 fueron Caméfitas (50%), Hemicriptófitas (30%) y Nanofanerófitas (20%). En el sitios 5, las formas de vida fueron, en orden de importancia: Terófitas (38%), Hemicriptófitas (31%), Caméfitas (23%) y Nanofanerófitas (8%).

Los climogramas de la Figura 9 se elaboraron con datos de temperatura y precipitación de las normales climatológicas de la estación más cercana a cada sitio de muestreo. La normal climatológica utilizada para cada sitio fue: sitio 1. Tehuacan; sitio 2. San José Miahuatlan; sitio 3. Tepelmeme de Morelos; sitio 4. Asunción Nochixtlan y sitio 5. San Fco. Telixtlahuaca (CNA, 2000).

Generalmente los espectros biológicos están relacionados con las condiciones ambientales que imperan en el lugar, especialmente con aquellos factores desfavorables, que limitan el crecimiento adecuado de las plantas.

SITIO 1



SITIO 2

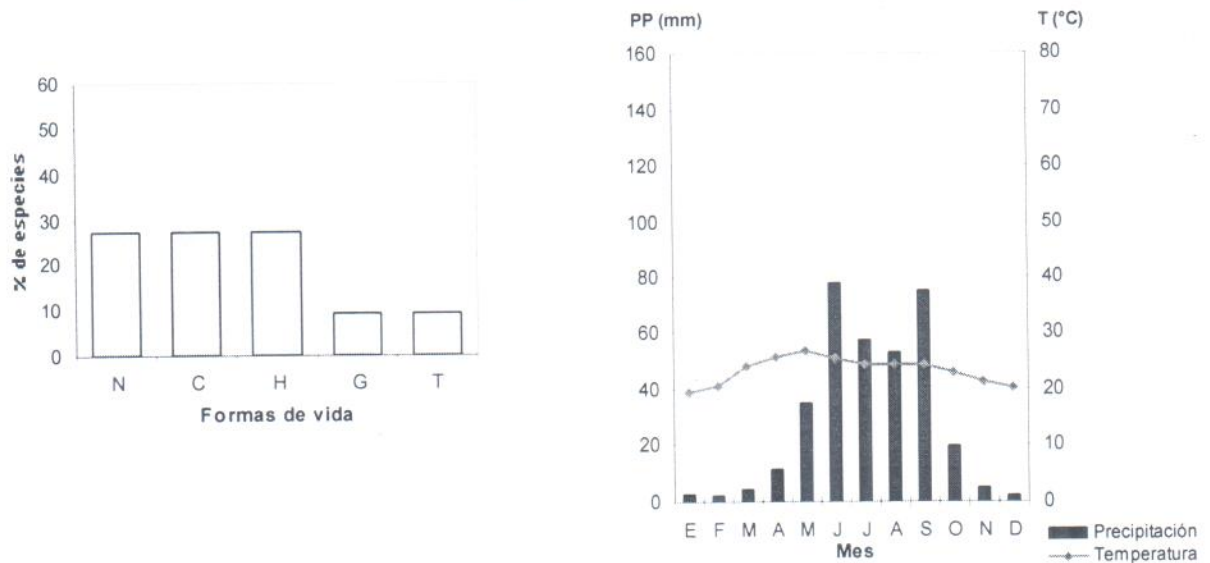
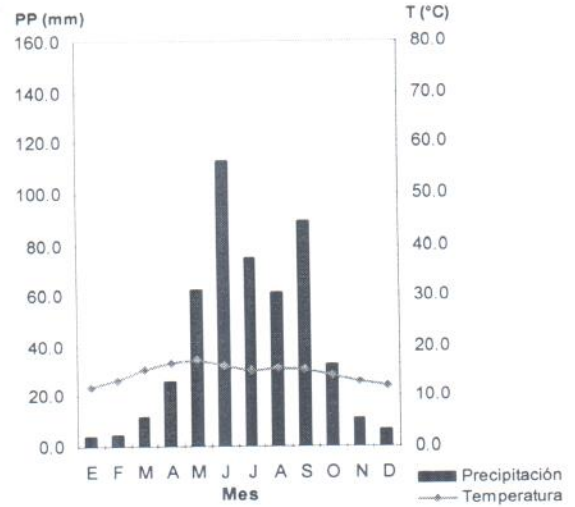
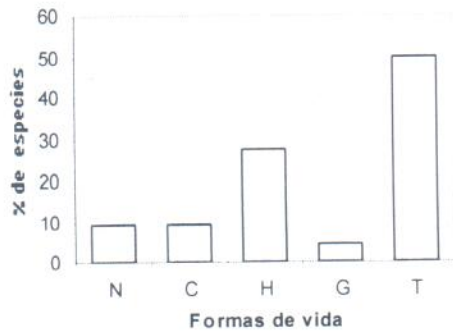
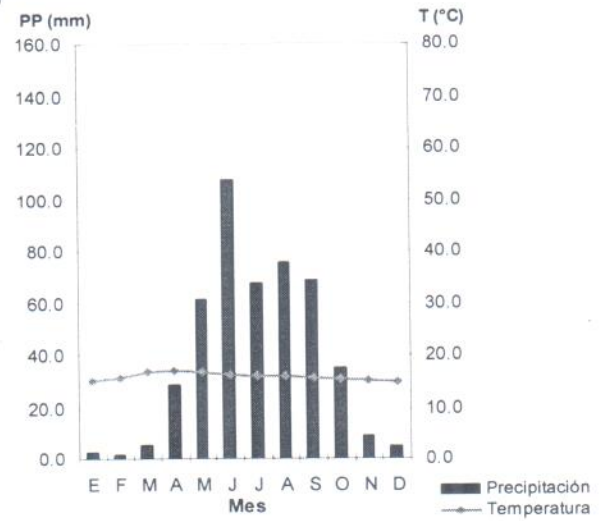
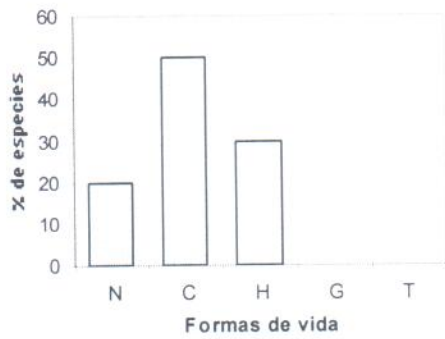


Figura 9. Representación gráfica de los espectros biológicos y climogramas de los sitios de muestreo. N= Nanofanerófitas, C= Caméfitas, H= Hemicriptófitas, G= Geófitas y T= Terófitas.

SITIO 3



SITIO 4



SITIO 5

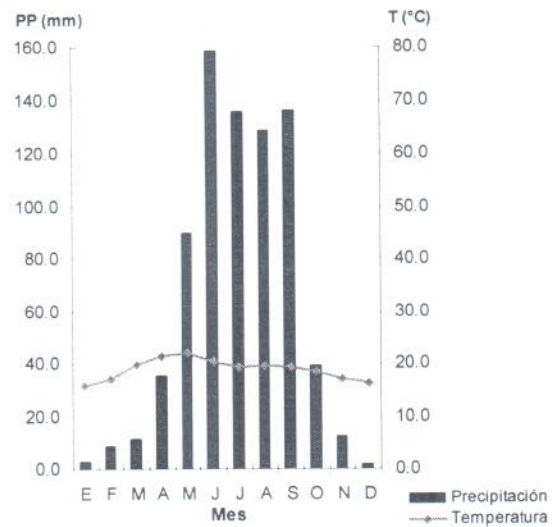
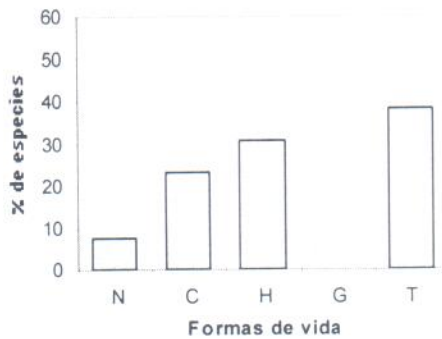


Figura 9. Continuación.

Los climogramas presentan un comportamiento similar con respecto a la temperatura media anual, que oscila entre 11 y 20°C, a excepción del sitio 2, donde las temperaturas sobrepasan los 20°C. La precipitación total es diferente para cada sitio, y su valor fluctúa desde los 345 mm en el sitio 2, hasta 758 mm en el sitio 5. El régimen de lluvias es igual en todos los sitios y se presenta en los meses de mayo a octubre. El periodo de sequía ocurre en los meses de noviembre a abril (Figura 9).

En general, las temperaturas extremas, la sequía y la irradiación solar influyen en las formas de vida de las especies, sin embargo, la disponibilidad de agua durante todo el año es un factor determinante de los tipos de estrategias.

6.6. Estrategias de colonización de las especies

La ordenación triangular (Figura 10), muestra que la mayoría de las especies presentan un índice mórfico de 1 a 4 y una $R_{\text{máx}}$ de productividad de 2 a 11 g. Lo anterior, en analogía con el modelo de Grime (1982), donde se representa los diversos equilibrios entre competencia, restricciones y la alteración en la vegetación, muestra que la distribución de las especies tiende hacia la zona de la estrategia R (ruderal).

De las 56 especies colectadas en los 5 taludes, 16 son exclusivamente Ruderales (R) y representan el 29% del total.

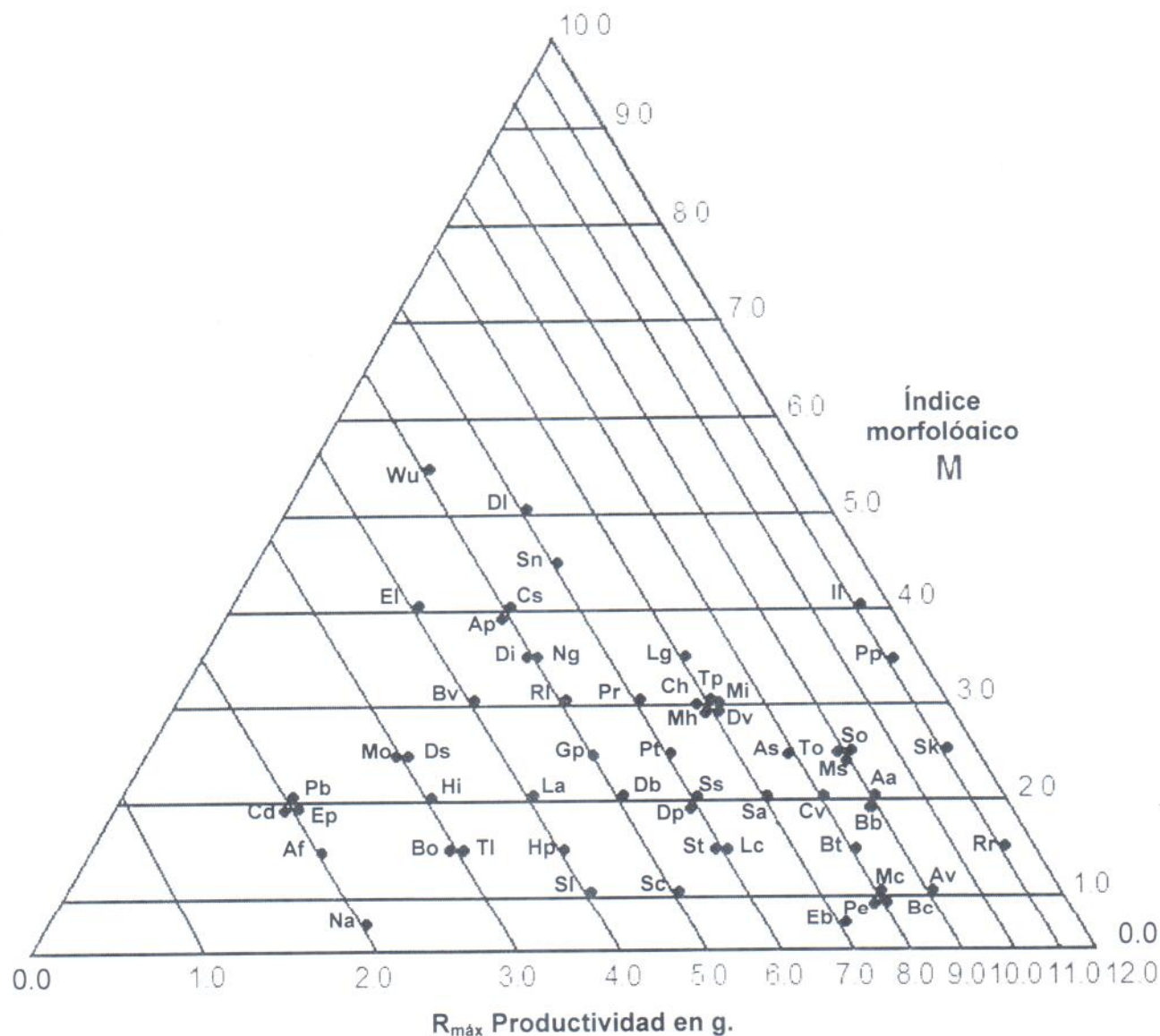


Figura 10. Ordenación triangular de las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas presentes en los taludes.

Clave de especies: Aa, *Aristida adscensionis*; Af, *Asphodelus fistulosus*; Ap, *Acacia pennatula*; As, *Amaranthus spinosus*; Av, *Avena fatua*; Bb, *Bouteloua bromoides*; Bc, *Bromus carinatus*; Bo, *Bidens odorata*; Bt, *Bidens triplinervia*; Bv, *Brickellia veronicifolia*; Cd, *Crusea diversifolia*; Ch, *Chamaesyce hirta*; Cs, *Cassia* sp.; Cv, *Chloris virgata*; Db, *Dalea brachystachya*; Di, *Dalea bicolor*; Dl, *Dasylium lucidum*; Dp, *Dyssodia papposa*; Ds, *Dalea* sp.; Dv, *Dodonaea viscosa*; Eb, *Eragrostis barrelieri*; El, *Euchide lobata*; Ep, *Eupatorium petiolare*; Gp, *Gnaphalium purpurascens*; Hi, *Heterotheca inuloides*; Hp, *Heterosperma pinnatum*; Il, *Ipomoea leptotoma*; La, *Linum australe*; Lc, *Loeselia coerulea*; Lg, *Loeselia glandulosa*; Mc, *Mirabilis corymbosa*; Mh, *Mentzelia hispida*; Mi, *Muhlenbergia implicata*; Mo, *Mirabilis oblongifolia*; Ms, *Medicago sativa*; Na, *Notholaena aurea*; Ng, *Nicotiana glauca*; Pb, *Parthenium bipinnatifidum*; Pe, *Picris echioides*; Pp, *Pennisetum purpureum*; Pr, *Pinaropappus roseus*; Pt, *Piqueria trinervia*; Rl, *Reseda luteola*; Rr, *Rhynchelytrum repens*; Sa, *Simsia amplexicaulis*; Sc, *Stipa constricta*; Sk, *Salsola kali*; Sl, *Salvia aspera*; Sn, *Senecio salignus*; So, *Sonchus oleraceus*; Ss, *Stevia salicifolia*; St, *Salvia tiliifolia*; Tl, *Tagetes lunulata*; To, *Taraxacum officinale*; Tp, *Tridax procumbens*; Wu, *Wigandia urens*.

La estrategia S-R, que considera a las plantas adaptadas a hábitats improductivos ligeramente alterados, es la segunda en importancia con 15 especies, que equivalen al 27%.

La estrategia C-R, que corresponde a las especies que se adaptan a circunstancias en las que hay un bajo índice de restricción y la competencia esta limitada a una moderada intensidad por la perturbación y la estrategia C-S-R, de las especies que están confinadas a hábitats en los que la competencia esta restringida a intensidades moderadas por los efectos combinados de las restricciones y la perturbación, están representadas con 8 especies cada una, equivalentes al 14% del total respectivamente.

Las estrategias con menor número de especies fueron: Tolerantes al estrés (S), con 6 especies y C-S (que pertenece a las especies que se adaptan a condiciones poco perturbadas, que experimentan intensidades moderadas en las restricciones) con 3 especies, que representan el 11 y 5% respectivamente.

En la Figura 11 se presenta la distribución de cada especie de acuerdo a su estrategia de colonización. Una distribución concentrada sugiere que la especie asume sólo una estrategia, por lo que, en el triángulo se manifiestan los núcleos muy concéntricos y puntuales en una sola área. La variación en la distribución de una especie muestra la plasticidad para asumir diversas estrategias de colonización en el campo. Del total de especies, 29 tienen distribución concentrada y 27 variable.

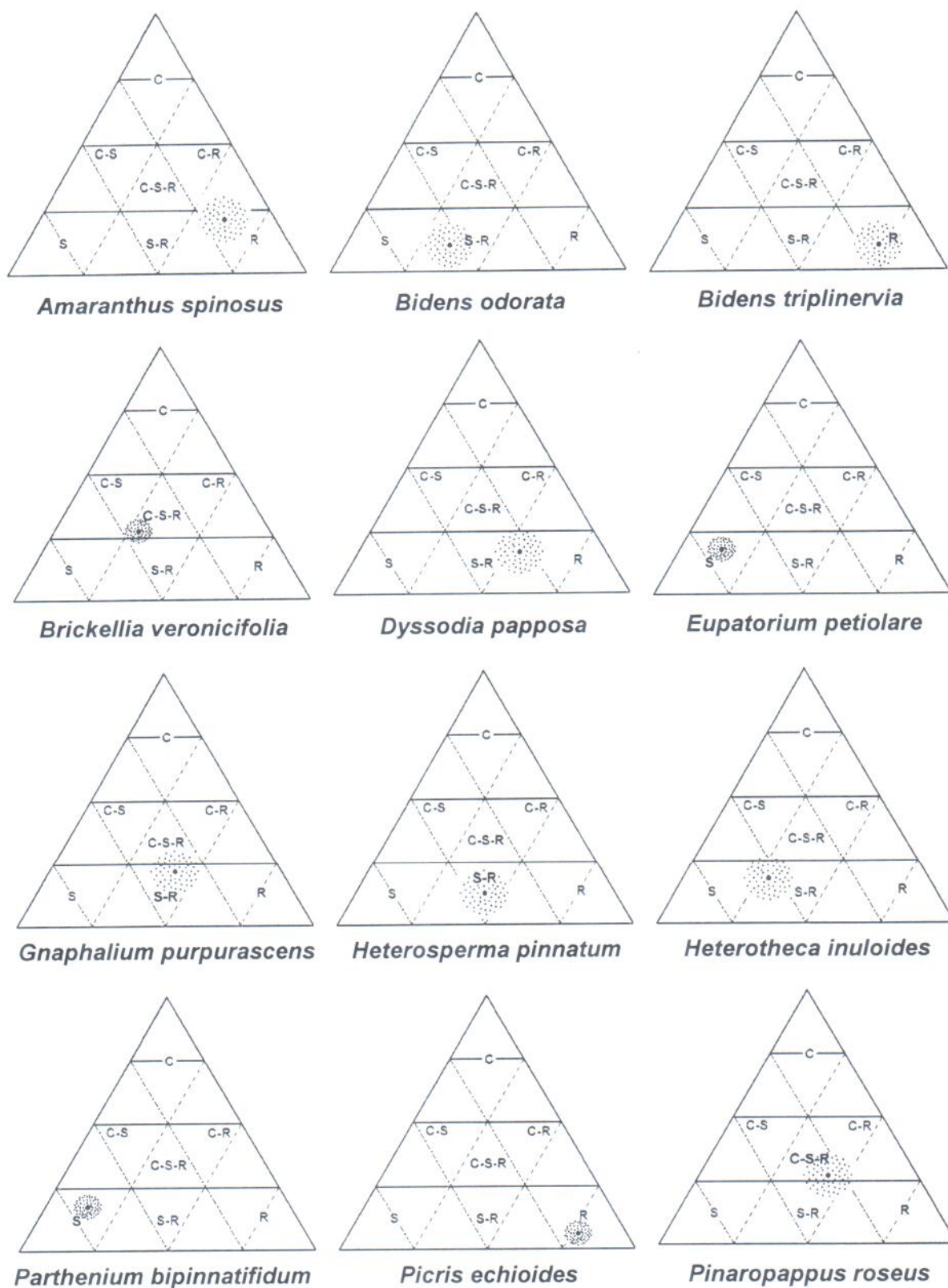
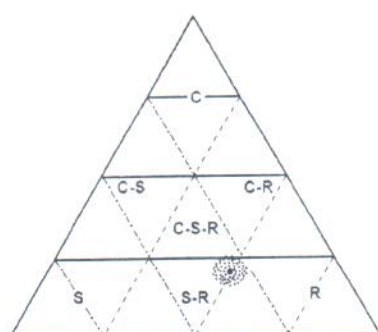
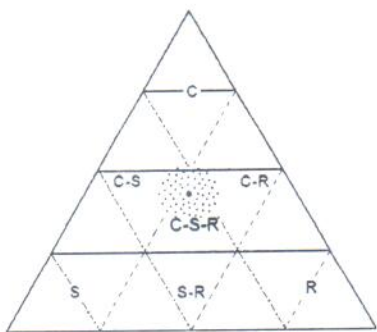


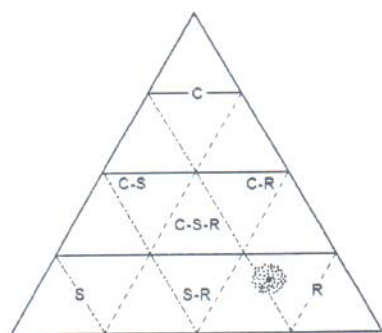
Figura 11. Diagramas que representan la distribución de las especies de acuerdo a su estrategia de colonización.



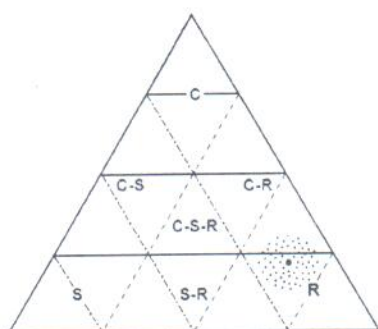
Piqueria trinervia



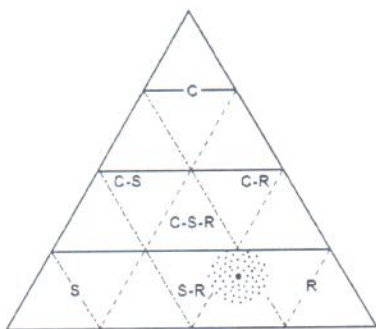
Senecio salignus



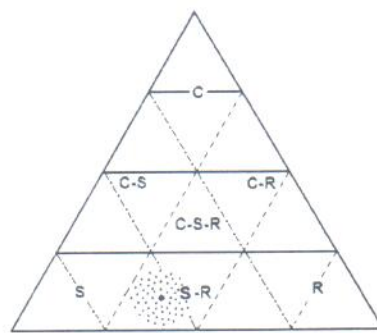
Simsia amplexicaulis



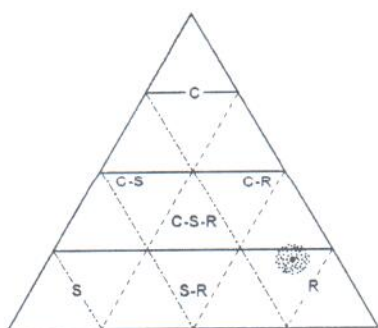
Sonchus oleraceus



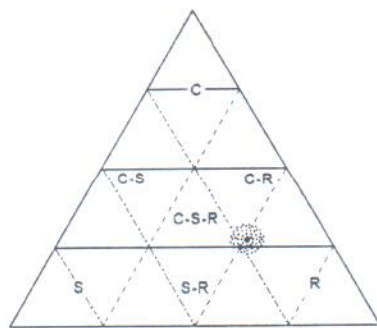
Stevia salicifolia



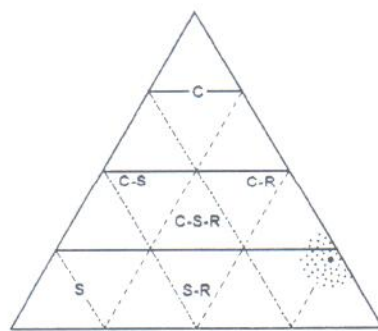
Tagetes lunulata



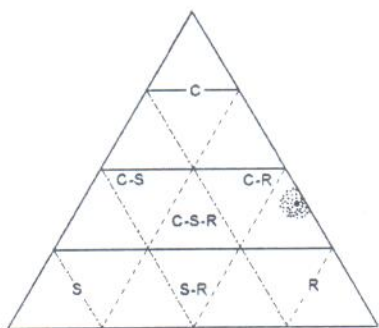
Taraxacum officinale



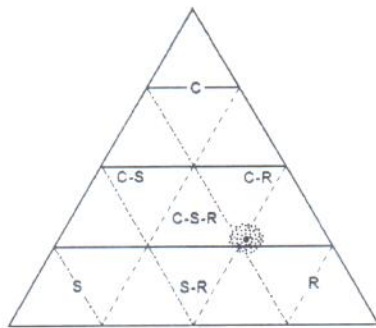
Tridax procumbens



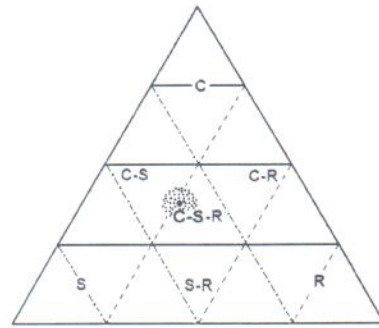
Salsola kali



Ipomoea leptotoma

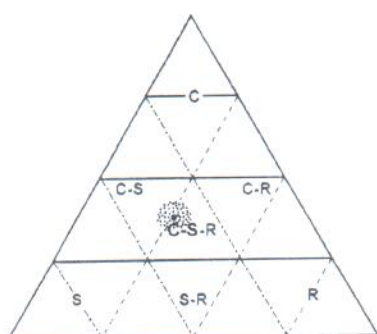


Chamaesyce hirta

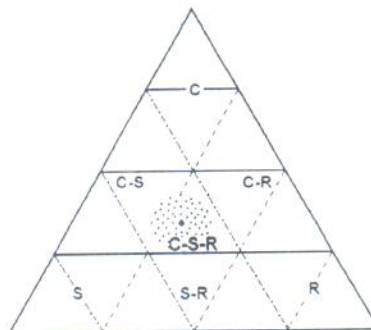


Acacia pennatula

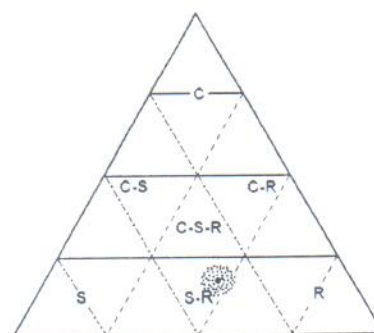
Figura 11. Continuación.



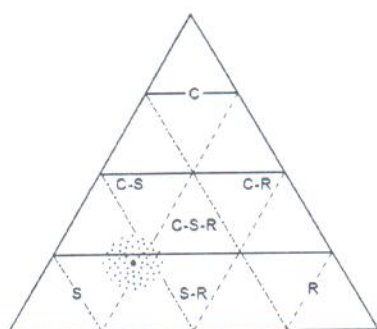
Cassia sp.



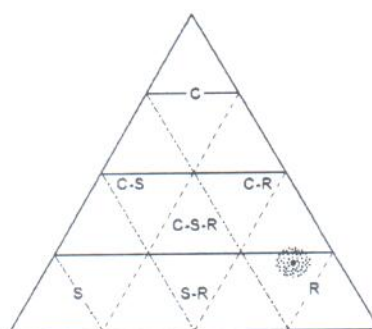
Dalea bicolor



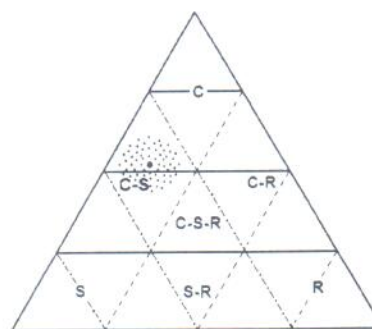
Dalea brachystachya



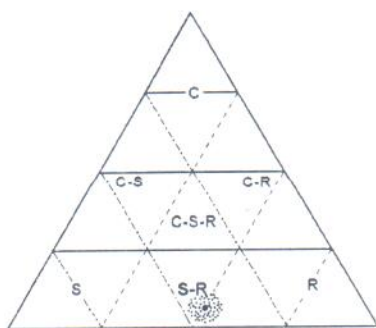
Dalea sp.



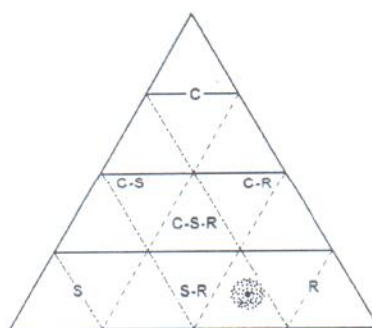
Medicago sativa



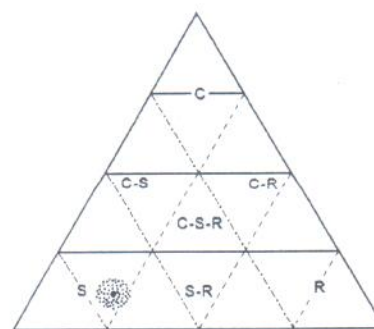
Wigandia urens



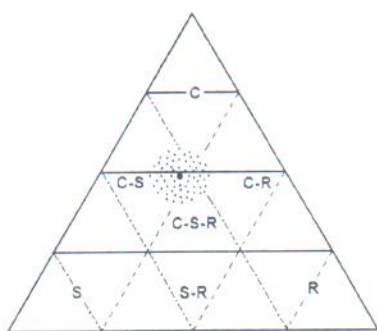
Salvia aspera



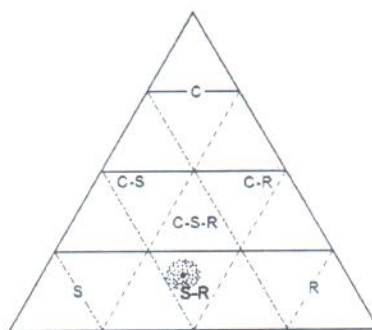
Salvia tiliifolia



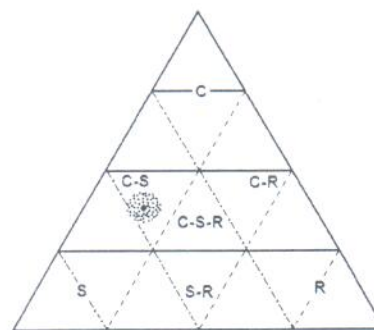
Asphodelus fistulosus



Dasylirion lucidum

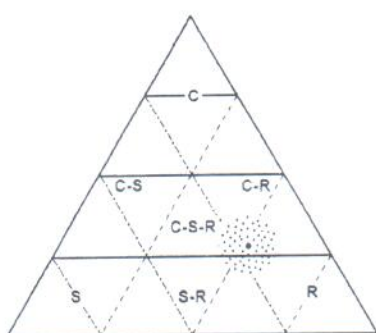


Linum australe

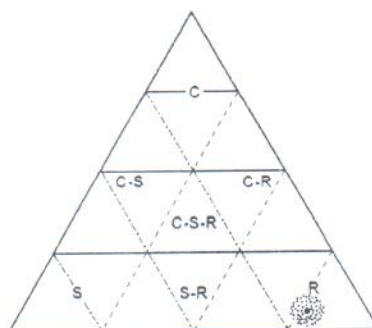


Eucnide lobata

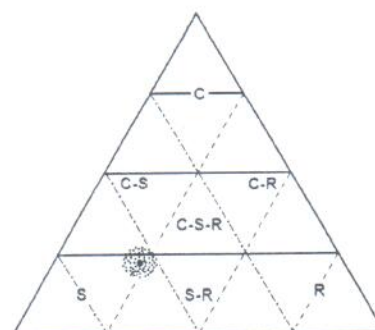
Figura 11. Continuación.



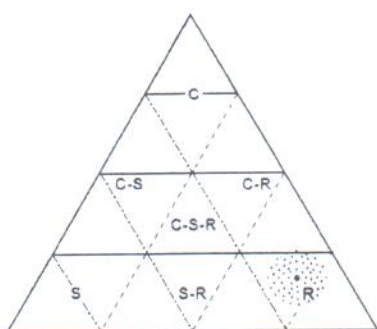
Mentzelia hispida



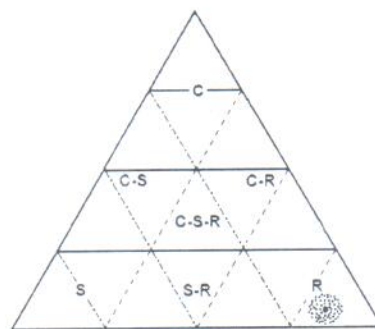
Mirabilis corymbosa



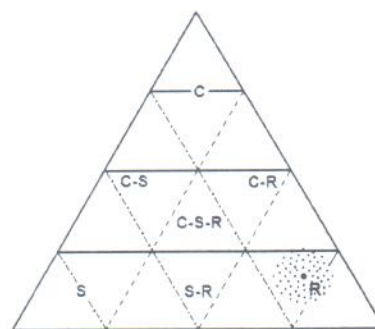
Mirabilis oblongifolia



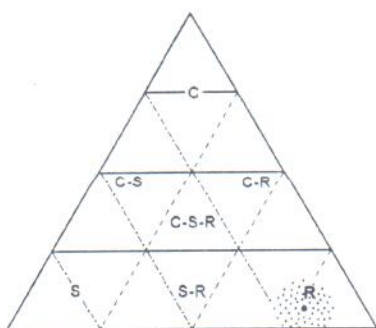
Aristida adscensionis



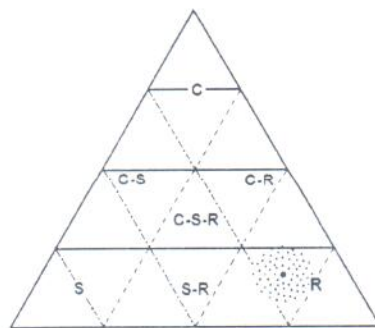
Avena fatua



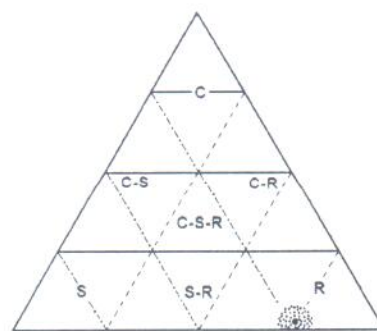
Bouteloua bromoides



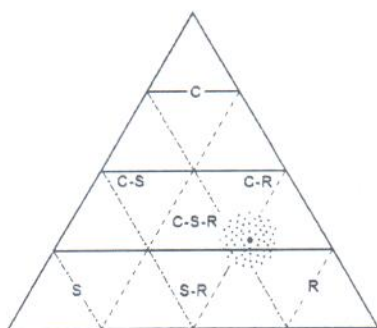
Bromus carinatus



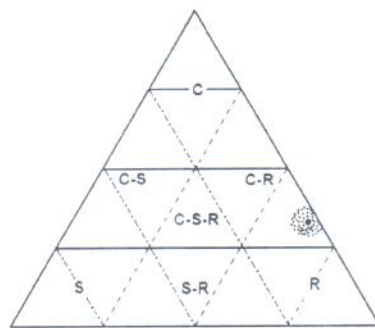
Chloris virgata



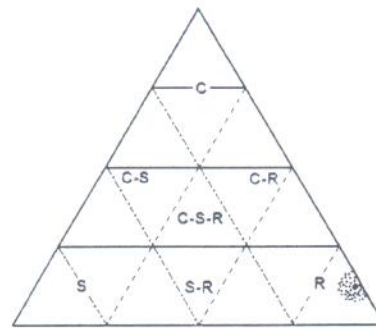
Eragrostis barrelieri



Muhlenbergia implicata

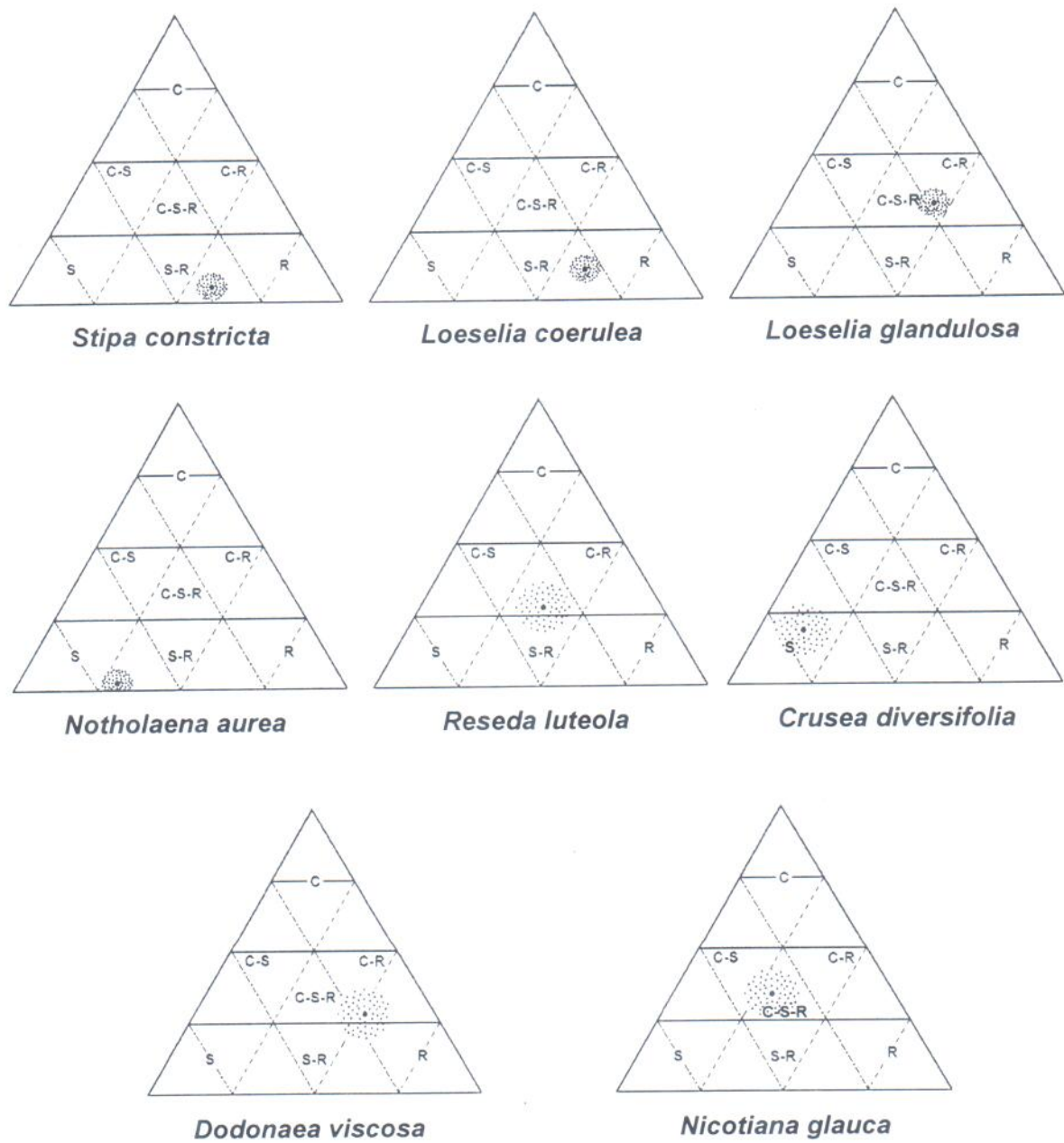


Pennisetum purpureum



Rhynchelytrum repens

Figura 11. Continuación.



Tipos de distribución:



Concentrada



Variable

Figura 11. Continuación.

6.7. Descripción de las especies

***Amaranthus spinosus* L.**

Familia Amaranthaceae

Planta anual, erecta, espinosa, alcanza una altura de 70 cm. Tallo color púrpura, muy ramificado. Hojas alternas. Inflorescencia de tipo espiga, flores pequeñas de color verde. Fruto un esporocarpo globoso. Crece en lugares silvestres, pastizales, jardines, cultivos y terrenos baldíos.

En el área de estudio crece en suelos con textura franco-arcillo-arenosa, con pH de 8.95, sin materia orgánica. De acuerdo a la ordenación triangular presenta estrategia R y su distribución es variable.

***Bidens odorata* Cav.**

Familia Asteraceae

Planta anual de raíz pivotante y tallo erecto ramificado, que crece de 25 a 150 cm de altura, glabro y angulado. Hojas simples o compuestas. Flor compuesta por capítulos terminales de flores amarillas en el centro y blancas radiales. Fruto aquenio. Se presenta a orillas y bordes de caminos, potreros y cultivos.

Se distribuye en sitios con suelos franco arcillosos y areno francosos, con porcentaje de materia orgánica pobre (0.27%), y pH de entre 8.45 y 8.90. Su estrategia de colonización es S-R, de distribución variable.

***Bidens triplinervia* Kunth**

Familia Asteraceae

Planta herbácea perenne, ascendente o rastrera, hasta de 70 cm de largo. Tallos varios, por lo común ramificados. Cabezuelas generalmente solitarias y terminales. Flores con corolas amarillas. Fruto aquenio. Habita en los bosques de coníferas, de encino y mesófilo de montaña, matorral de encino, a menudo en lugares perturbados.

Habita en suelos franco arcillosos, con pH de 8.90, sin materia orgánica. La estrategia de colonización es R y su distribución es variable.



***Brickellia veronicifolia* (Kunth) A. Gray**

Familia Asteraceae

Arbusto muy ramificado de 60 a 90 cm de alto, gris-pubérulo. Hojas opuestas. Inflorescencia de cabezuelas terminales que forman una panícula hojosa. Flores de corola blanca o rosada. Fruto aquenios. Ampliamente distribuida en sitios con pastizal y matorral, a menudo en condiciones de disturbio.

Ocupa lugares con suelo franco limoso, de 7.92 de pH y sin materia orgánica. De acuerdo a la ordenación triangular, se presenta con estrategia C-S-R y su distribución es concentrada.



***Dyssodia papposa* (Vent.) Hitchc.**

Familia Asteraceae

Hierba aromática anual, erecta o raras veces decumbente, de 5 a 40 cm de alto, unicaule o profusamente ramificada. Tallos elípticos, rojizos o verdes. Hojas opuestas. Cabezuelas solitarias o arregladas en forma de cima. Fruto aquenio. Distribución amplia, comúnmente como ruderal o en sitios perturbados.



En el área de estudio se encuentra en suelo con textura franco limosa y franco arcillosa, con pH de entre 7.92 a 8.90, sin materia orgánica. Su estrategia es S-R, de distribución variable.

***Eupatorium petiolare* Moc. & Sessé ex DC.**

Familia Asteraceae

Arbusto hasta 2 m de altura. Tallos leñosos, cilíndricos, estriados, blanco-amarillentos, puberulentos. Hojas opuestas. Numerosos capítulos dispuestos en corimbos; corola blanca. Aquenio muy pubescente. Crece en sitios con pastizal, matorral xerófilo, bosque de pino, encino y *Juniperus*, y frecuentemente en ambientes de disturbio, especialmente a lo largo de caminos y carreteras.



Crece en sitios con suelo de textura arena francosa, con pH de 8.45 y contenido de materia orgánica de 0.27%. Tiene estrategia S y su distribución es concentrada.

***Gnaphalium purpurascens* DC.**

Familia Asteraceae

Hierba annual o perenne, de 20 a 80 cm de alto, con uno o dos tallos principales, en ocasiones ramificados. Inflorescencia corimbosa. Flores blanco-verdosas o con el ápice purpúreo. Aquenios oblongos. Se distribuye en el bosque de pino o pino-encino, pedregales.

Crece en sitios con suelo de textura arena francosa, con pH de 8.45 y con contenido de materia orgánica de 0.27%. Presenta estrategia S-R y su distribución es variable.



***Heterosperma pinnatum* Cav.**

Familia Asteraceae

Planta anual, erecta o a veces ascendente, hasta de 90 cm de alto. Hojas pinnadas a bipinnadamente divididas en segmentos lineares. Cabezuelas con flores amarillas o anaranjadas. Fruto aquenio. Ampliamente distribuida en pastizales, matorrales, bosques de *Juniperus* y *Quercus*, preferentemente en lugares perturbados.

Crece en suelos franco arcillosos, con pH de 8.90, sin materia orgánica. Su estrategia es S-R y se distribuye de forma variable.



***Heterotheca inuloides* Cass.**

Familia Asteraceae

Planta herbácea, perenne o a veces anual, hasta de 1 a 1.5 m de alto; tallos erectos, estriados, con pubescencia piloso-hispida. Hojas inferiores pecioladas y las superiores sésiles. Cabezuelas en conjuntos corimbiformes, Fruto un aquenio.

En el área de estudio se distribuye sobre suelos con pH de 9.80, sin materia orgánica y textura franco arenosa. Su estrategia de colonización es S-R, de distribución variable.

***Parthenium bipinnatifidum* (Ortega) Rollins**

Familia Asteraceae

Hierba anual erecta, de 10 a 120 cm de alto, unicaule o profusamente ramificada; tallo cilíndrico, estriado, verde o rojizo. Hojas alternas. Cabezuelas con flores blancas. Fruto aquenio. Especie común y con frecuencia abundante en cultivos anuales, muy frecuente como ruderal.

Crece en suelos con textura franco arcillosa, con pH de 8.90, sin materia orgánica. Tiene estrategia S y su distribución es concentrada.

***Picris echioides* L.**

Familia Asteraceae

Planta anual o persistiendo por más tiempo, erecta, hasta de 1 m de alto, provista de pelos rígidos, ganchudos en el ápice. Tallos ramificados, estriados. Cabezuelas dispuestas en cimas, flores líguladas amarillas, oblongas. Aquenios castaño-rojizos. Maleza ruderal y también arvense.

Habita suelos con textura franco limosa y franco arcillosa, con pH de entre 7.92 y 8.90, sin materia orgánica. Presenta estrategia R y su distribución es concentrada.

***Pinaropappus roseus* (Less.) Less**

Familia Asteraceae

Hierba perenne, cespitosa, frecuentemente arrosetada. Con exudado lechoso blanquecino. Tallo acaule o con tallos glabros cilíndricos. Hojas en roseta o caulinares y aglomeradas, alternas. Cabezuela solitaria. Las flores de corola lila, rosa o purpúrea. Fruto un aquenio. Se distribuye como ruderal o en lugares perturbados en zonas más bien secas, en ocasiones abundante en cultivos.

En el área de estudio se encuentra sobre suelos franco arcillosos, con pH de 8.90, sin materia orgánica. Se distribuye de forma variable. Su estrategia es C-S-R.



***Piqueria trinervia* Cav.**

Familia Asteraceae

Hierba perenne, erguida, hasta de 70 cm de altura; tallo ramificado, cilíndrico, verde amarillento y frecuentemente rojizo. Hojas opuestas con borde aserrado. Capítulos dispuestos en inflorescencias cimoso-corimbosas. Fruto un aquenio con 4 costillas. Se distribuye principalmente en sitios con matorral y pastizal, aunque se extiende al bosque de pino y encino y ocasionalmente al de oyamel.

Crece en suelos con pH de 8.45, de textura areno francosa, con 0.27% de materia orgánica. Su estrategia de colonización es S-R, con distribución concentrada.



***Senecio salignus* DC.**

Familia Asteraceae

Arbusto de 1 a 2 m de alto, bastante ramificado y algo frondoso. Hojas angostamente lanceoladas u oblongo-lanceoladas. Inflorescencia paniculado-racemosa. Cabezuelas radiadas. Flores amarillas. Fruto aquenio. Se distribuye en bosques de *Abies*, *Pinus* y *Quercus*, en matorrales xerófilos y en praderas alpinas, pero preferentemente en lugares perturbados y a orillas de camino.

Se desarrolla en suelos franco arcillosos, con pH de 8.90, sin materia orgánica. De acuerdo con la ordenación triangular tiene estrategia C-S-R y distribución variable.



***Simsia aplexicaulis* (Cav.) Pers.**

Familia Asteraceae

Hierba anual, erecta, de 10 a 300 cm de alto, ramificada desde la base o por encima de ella. Tallo cilíndrico o anguloso, rojizo o verde. Hojas inferiores opuestas y las superiores alternas. Cabezuelas arregladas en una panícula subcorimbosa. Flores amarillas. Fruto aquenio. Planta común, se emplea como forraje antes de que florezca.



Se distribuye en suelos franco limosos y franco arcillo arenosos, con pH de 7.92 y 8.95, sin materia orgánica. Tiene estrategia R y distribución concentrada.

***Sonchus oleraceus* L.**

Familia Asteraceae

Hierba anual erecta, de 30 a 100 cm de alto, con exudado lechoso. Tallo cilíndrico, hueco, frecuentemente rojizo. Hojas alternas, raras veces en roseta, sésiles, espinas formadas por pliegues del borde de la hoja. Cabezuelas umbeliformes. Flores amarillas. Fruto un aquenio. Especie adventicia muy común y abundante en algunas zonas, se puede encontrar como ruderal o en sitios perturbados.



En el área de estudio se desarrolla en suelos franco limosos, con pH de 7.92 y sin materia orgánica. Se presenta con estrategia ruderal (R) y distribución variable.

***Stevia salicifolia* Cav.**

Familia Asteraceae

Arbusto hasta de 1.5 m de alto. Ramas pubérulentas a glabrescentes. Hojas opuestas, sésiles o brevemente pecioladas, lámina con gotitas de exudado lechoso, a menudo glutinosa. Cabezuelas en inflorescencias corimbosas, terminales, corolas blancas a rosadas, glabras. Aquenios hispídulos.

Crece en suelos franco limosos, con pH de 7.92, sin materia orgánica. Su estrategia es S-R, con distribución variable.



***Tagetes lunulata* Ortega**

Familia Asteraceae

Planta anual, erecta o algo extendida, hasta de 80 cm de alto, muy aromática, glabra. Tallos ramificados, a menudo rojizos o morados. Hojas pinnadas. Flores amarillas. Aquenios lineares. Ampliamente distribuido en matorrales, pastizales, bosque de *Quercus* y *Juniperus*, preferentemente en condiciones de disturbio, a veces como maleza ruderal.

Crece en suelos con pH de 8.45, con textura areno francoso y 0.27% de materia orgánica. Su distribución es variable, con estrategia S-R.



***Taraxacum officinale* Weber ex F.H. Wigg.**

Familia Asteraceae

Hierba perenne, acaule, con exudado lechoso. Tallo ausente. Hojas en roseta. Cabezuela solitaria sobre un escapo hueco, homógama. Cuando los aquenios maduran, la cabezuela se observa como una esfera blanca formada por pelos finos. Flores amarillas. Fruto un aquenio. Planta común, se encuentra también como ruderal y en lugares perturbados.



En el área de estudio se le encuentra en suelos franco limosos, con pH de 7.92 y sin materia orgánica. Tiene estrategia R y distribución concentrada.

***Tridax procumbens* L.**

Familia Asteraceae

Planta anual, herbácea, tendida sobre el suelo o un poco erecta, de 30 a 50 cm de alto, suave, un poco pilosa. Hojas opuestas. Inflorescencia una cabezuela terminal, solitaria, 3-6 flores liguladas amarillo claro, las tubulosas del centro amarillas. Fruto un aquenio con semillas negras. Común en césped, cultivos perennes y orillas de carreteras, prefiere suelos húmedos



Habita en suelos franco arcillo arenosos y arena francosos, sin materia orgánica, con pH de entre 7.92 y 8.45. Tiene estrategia C-R y distribución concentrada.

***Salsola kali* L.**

Familia Chenopodiaceae

Hierba anual o perenne, de 30 cm a más de 1 metro de alto, glabra o algo pubescente. Tallos estriados, a veces rojizos, densamente ramificados dando a la planta el aspecto de una cúpula. Hojas con el ápice puntiagudo y la base envolvente. Crece en terrenos salobres o a orilla de la carretera.

Se desarrolla en suelos con pH de 7.92 y 8.95, sin materia orgánica y de textura franco limoso o franco arcillo arenoso. Su estrategia es R, de distribución variable.



***Ipomoea leptotoma* Torr.**

Familia Convolvulaceae

Enredadera anual o perenne. Hojas amplias, pecioladas. Flores vistosas, solitarias o cimosas sobre pedúnculos axilares, corola funeliforme o campanulada, limbo entero, sépalos linear-lanceolados, atenuados. Cápsula ovoide a globosa. Crece en llanos, orillas de arroyos y laderas.

En el área de estudio se localizó en suelos franco arcillo arenosos, con pH de 8.95 y sin contenido de materia orgánica. La estrategia de colonización es C-R y su distribución es concentrada.



***Chamaesyce hirta* (L.) Millsp.**

Familia Euphorbiaceae

Planta anual, rastrera o trepadora, lechosa, pubescente, poco ramificada. Hojas opuestas, ovadas o rectangular-redondeadas. Florece en verano, flores de color rojo purpúreo, pequeñas y axilares, dispuestas en cima. Fruto una cápsula achatada o aovada. Crece en caminos, jardines y terrenos baldíos.



Ocupa sitios con suelo de textura franco limosa, sin materia orgánica y pH de 7.92. De acuerdo con la ordenación triangular tiene estrategia C-R. Se distribuye de forma concentrada.

***Acacia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Benth.**

Familia Fabaceae

Arbolillo de 3 a 6 m, con espinas fuertes y cortas. Flores olorosas de color anaranjado, dispuestas en cabezuelas. Su fruto es una legumbre de 8 a 13 cm, comprimida.



Se desarrolla en sitios con textura franco arcillo arenosa, con 8.95 de pH y sin materia orgánica. Presenta estrategia C-S-R. Su distribución es concentrada.

***Cassia* sp.**

Plantas herbáceas o leñosas, anuales o perennes, con las hojas pinadas y las flores racimosas, con las corolas amarillas. Frutos legumbres multiseminadas, dehiscentes o indehiscentes.

Habita suelos con textura franco arcillo arenosa, con pH de 8.95, sin materia orgánica. Presenta estrategia C-S-R. Se distribuye de forma concentrada.

Familia Fabaceae



***Dalea bicolor* Humb. & Bonpl. ex Willd.**

Planta arbustiva, de 40 cm a 2 m de altura. Tallo leñoso y fisurado en la parte más vieja, ramas jóvenes pilosas y prominentemente tuberculadas. Flores dispuestas en espigas largas, no muy densas. Flores sésiles, corola con el estandarte amarillento, alas y quilla de color rosa o morado. Fruto legumbre.

Habita suelos con pH de 8.45, con 0.27% de materia orgánica y textura areno francosa. Presenta estrategia de colonización C-S-R y distribución variable.

Familia Fabaceae



***Dalea brachystachya* A. Gray**

Familia Fabaceae

Planta herbácea, de 10 a 35 cm de altura. Tallo delgado, liso o ligeramente verruculoso, ramificado desde la base. Hojas de 1 a 3 cm de largo, foliolos oblanceolado o linear-oblanceolados. Flores dispuestas en espigas densas, subglobosas; corola amarillenta, teñida de rosado. Legumbre triangular ovada, pilosa.

Habita suelos con pH de 8.45, con 0.27% de materia orgánica y textura areno francosa. Presenta estrategia de colonización S-R y distribución concentrada.

***Dalea* sp.**

Familia Fabaceae

Plantas herbáceas o arbustivas, anuales o perennes, glanduloso-punteadas. Estípulas pequeñas y subaladas, hojas imparipinnadas a veces trifoliadas, foliolos pequeños. Flores dispuestas en espigas, racimos o cabezuelas terminales. Legumbre pequeña, membranos e indehiscente.

En el área de estudio crece en suelos con textura franco arenosa, con pH de 9.80, sin materia orgánica. De acuerdo a la ordenación triangular presenta estrategia S y su distribución es variable

***Medicago sativa* L.**

Familia Fabaceae

Planta perenne, erecta, hasta de 1 m de altura. Tallos algo ramificados, partiendo varios desde la base. Flores en racimos axilares, corola morada o azul. Fruto legumbre. Frecuentemente cultivada como planta forrajera y a veces escapada como maleza arvense o ruderal.

Se distribuye en sitios con suelos franco arcillosos, sin porcentaje de materia orgánica y pH de 8.90. Su estrategia de colonización es R, de distribución concentrada.



***Wigandia urens* (Ruiz & Pav.) Kunth**

Familia Hydrophyllaceae

Planta erecta, robusta, arbustiva o arborescente, hasta de 6 m de altura, pubescente, muchas veces con pelos urticantes. Hojas de 5.5 a 50 cm. Flores en cimas escorpioideas, generalmente terminales, lilas, violáceas, azules o lila-blanquecinas, anchamente campanuladas. Crece en matorrales, con frecuencia en lugares perturbados y como ruderal.

Se distribuye ampliamente, habita suelos con pH de entre 8.45 a 9.80, sin materia orgánica y con textura franco arcillosa, franco arenosa o arena francosa. Presenta estrategia C-S y distribución variable.



***Salvia aspera* M. Martens & Galeotti**

Familia Lamiaceae

Hierba anual, usualmente pubescentes. Hojas dentadas. Las hojas florales generalmente muy modificadas a brácteas, persistentes o desiduas. Inflorescencias en racimos o paniculadas, flores sésiles o pedicelo corto. Flores con corola bilabiada.

Se desarrolla en sitios bajo contenido de materia orgánica (0.27%), con pH de 8.45 y textura areno francosa. En la ordenación triangular presenta estrategia S-R y distribución concentrada.



***Salvia tiliifolia* Vahl**

Familia Lamiaceae

Hierba anual erecta de 20 a 50 cm de altura. Tallo cuadrangular, con un surco en cada cara. Hojas opuestas. Inflorescencia en racimo. Flores con corola zigomorfa bilabiada, azul. Fruto esquizocárpico. Arvense común que puede ser muy abundante localmente, sobre todo en cultivos abiertos, también se encuentra como ruderal o en lugares perturbados. Esta especie crece en sitios con suelos franco arcillosos, sin materia orgánica y pH de 8.90. Tiene estrategia S-R y distribución concentrada.



***Asphodelus fistulosus* L.**

Familia Liliaceae

Hierba perenne, hasta de 65 cm de altura, de rizomas cortos. Tallos subcilíndricos. Hojas lineares, verdes-azulosas, ligeramente glaucas. Flores anchamente campanuladas, blancas. Cápsula subglobosa color paja, a menudo con tonos rojizos. Semilla café-grisácea. Ruderal.

En el área de estudio se distribuye de manera concentrada, con estrategia S, en suelos con textura franco limosa, pH de 7.92 y sin materia orgánica.



***Dasyllirion lucidum* Rose**

Familia Liliaceae

Tronco de 1 a 2 m de alto, acaulescentes. Hojas lineales, lisas y lustrosas, de 1.5 cm o algo más de ancho, con sus orillas áspero-aserradas. Inflorescencia de 2 a 3 m de alto. Flores pequeñas, blanquizas. Fruto trialado.

En el área de estudio se localiza en sitios con suelo franco arenoso, con porcentaje de materia orgánica pobre, y pH de 9.80. Su estrategia de colonización es C-S, de distribución variable.



***Linum australe* A. Heller**

Familia Linaceae

Hierba anual de 10 a 55 cm de longitud, puberulenta cerca de la base, pero glabra en las demás partes. Hojas alternas, láminas de consistencia escariosa. Pétalos de color naranja o amarillos. Fruto en forma de cápsula ovoide, separándose en la madurez en 5 segmentos con 2 semillas cada uno.

Habita suelos franco arenosos, sin materia orgánica y con pH de 9.80. Se presenta con estrategia de colonización S-R. Se distribuye de forma concentrada.



***Eucnide lobata* (Hook.) A. Gray**

Familia Loasaceae

Hierbas o pequeños arbustos con pelos barbados y algunas veces punzantes. Hojas alternas, pecioladas. Flores en cimas terminales ramificadas. Muchas semillas diminutas. Hábitat desértico.



Esta especie crece en sitios con suelos franco arcillosos, con porcentaje de materia orgánica pobre y pH de 8.90. Su estrategia de colonización es C-S, de distribución concentrada.

***Mentzelia hispida* Willd.**

Familia Loasaceae

Planta herbácea perenne o subarborescente, hasta de 1.5 m de alto, con pelos hispídos. Tallos ramificados desde la base, dividiéndose dicotómicamente. Hojas alternas o subopuestas. Flores sésiles, dispuestas en cimas foliosas. Fruto cápsula. Ampliamente distribuida en matorrales y pastizales perturbados.



Se distribuye de forma variable, con estrategia de colonización C-R, sobre suelos franco limosos o franco arcillo arenosos, sin materia orgánica y pH de entre 7.92 y 8.95.

***Mirabilis corymbosa* Cav.**

Familia Nyctaginaceae

Herbácea perenne, tallos pocos o solitario, erectos o ascendentes, delgados, escasamente ramificados. Hojas por debajo de la mitad de la planta y frecuentemente abarrotadas en la base. Inflorescencia cimosa-paniculada, muy ramificada. Antocarpio obovoide. Semillas ovoides café-pálidas.



Ocupa sitios con suelos sin materia orgánica, con textura franco limosa o franco arcillosa y pH de entre 7.92 y 8.90. Su estrategia de colonización es R. Se distribuye de forma concentrada.

***Mirabilis oblongifolia* (A. Gray) Heimerl**

Familia Nyctaginaceae

Hierba perenne, con una raíz leñosa, delgada y larga. Tallo erecto, pocos o solitario, algunas veces decumbente, simple o esparcidamente ramificado bajo la inflorescencia. Hojas opuestas. Inflorescencia cimoso-paniculada, escasamente ramificada. Se distribuye en praderas, bosquecillos, cañones y taludes.



Se distribuye en sitios con suelos franco arcillosos, sin materia orgánica y pH de 8.90. Su estrategia de colonización es S, con distribución concentrada.

***Aristida adscensionis* L.**

Familia Poaceae

Planta anual, tallo delgado, erecto, glabro, ramificado de la base y en los nudos inferiores, de 8 a 50 cm de alto. Vaina foliar glabra, lámina plana. Panícula cerrada, erecta, glabra, uninervia, escabrosa en la quilla. Se distribuye en Matorrales xerófitos, pastizales, de preferencia en condiciones de disturbio, a menudo como ruderal o arvense.



Habita suelos franco limosos y franco arcillosos, sin materia orgánica y con un pH de entre 7.92 y 8.90. De acuerdo con la ordenación triangular presenta estrategia R y se distribuye de forma variable.

***Avena fatua* L.**

Familia Poaceae

Planta anual hasta 1 m de alto. Vainas foliares glabras o pilosas. Láminas planas. Panícula piramidal, floja, sus ramas flexuosas. Espiguillas con (2) 3 flores, glumas subiguales, papiráceas, agudas a acuminadas, glabras. Fruto cariopsis. Especie común y abundante, arvense o ruderal, difícil de controlar.

Se desarrolla en suelos franco arcillosos, con pH de 8.90, sin materia orgánica. La ordenación triangular indica que la especie tiene estrategia R y distribución concentrada.



***Bouteloua bromoides* Lag.**

Familia Poaceae

Planta herbácea, perenne, erecta o decumbente, hasta 40 a 60 cm de alto, a veces algo rizomatosa en la base. Hojas concentradas en la parte inferior de la planta. Las inflorescencias se desprenden integras en la madurez, espiguillas bifloras. Grano oblongo.

Se distribuye en pastizales y matorral xerófilo.

En el área de estudios se distribuye en sitios con suelos franco arenosos, sin materia orgánica y pH de 9.80. Su estrategia de colonización es R y su distribución variable.



***Bromus carinatus* Hook. & Arn.**

Familia Poaceae

Hierba anual o bianual de 40 a 100 cm de alto, erecta.

Hojas con vainas abiertas en "V" en su parte superior y después fusionadas hasta su base. Inflorescencia en panícula abierta, flexuosa. Fruto cariopsis. Hierba extremadamente variable en cuanto a tamaño e indumento, muy abundante, se puede encontrar como ruderal o en otros lugares abiertos.

En el área de estudio se localiza en suelos franco arcillosos, con pH de 8.90, sin materia orgánica. De acuerdo a la ordenación triangular tiene estrategia R y distribución variable.

***Chloris virgata* Sw.**

Familia Poaceae

Hierba anual erecta, de 10 a 60 cm de alto, amacollada. Hojas con vaina carenada, abierta hasta la base. Inflorescencia digitada, de color amarillento verdoso, blanquecino satinado o purpúreo. Fruto cariopsis. Se distribuye principalmente como ruderal, arvense y en lugares de disturbio.

Habita suelos con textura franco limosa, sin materia orgánica y pH de 7.92. La ordenación triangular muestra que tiene estrategia R y distribución variable.

***Eragrostis barrelieri* Daveau.**

Familia Poaceae

Planta anual. Culmos erectos o decumbentes en la base, 20 a 50 cm de alto, ramificado desde la base, vainas pilosas en el ápice. Hojas planas, cortas. Panícula erecta, abierta pero angosta. Espigas lineares, florece en verano y otoño. Ampliamente distribuida.

La especie habita sitios con suelos franco limosos, sin materia orgánica y pH de 7.92. La ordenación triangular indica que es una especie con estrategia R. Se distribuye de forma concentrada.



***Muhlenbergia implicata* (Kunth) Trin.**

Familia Poaceae

Planta anual, culmos de 12 a 50 cm de alto, delgados, erectos, ramificados en la base, color púrpura. Láminas planas o laxamente involutas. Panículas terminales. Cariopsis fusiforme, color café claro. Habita sobre laderas húmedas, planicies y caminos de grava, cuencas arenosas, laderas rocosas, bosque de pino y encino, pastizal y matorral xerófilo.

En el área de estudios se desarrolla en sitios con pH de entre 7.92 y 8.45, con textura franco limosa y arena francosa, con bajo porcentaje de materia orgánica. Presenta estrategia C-R y se distribuye de forma variable.



***Pennisetum purpureum* Schumach.**

Familia Poaceae

Planta perenne, erecta, cespitosa, rizomatosa, de 1.5 a 3.5 m de altura. Florece en lugares abrigados desde mayo hasta agosto. Originaria de África tropical. Se le encuentra en cultivos, terrenos baldíos y orillas de caminos. Posee excelentes cualidades forrajeras.

Esta especie se desarrolla en sitios con pH de 7.92 y 8.95, en suelos con textura franco limosa y franco arcillo arenosa, sin materia orgánica. Su estrategia es C-R y su distribución es concentrada.

***Rhynchelytrum repens* (Willd) C.E. Hubb.**

Familia Poaceae

Especie anual de raíz fibrosa y tallo erecto, de 50 a 100 cm de alto. Hojas lineares. Inflorescencia es una panícula plumosa y sedosa de color rosado o rojo. Fruto una cariósida. Crece a orillas de drenes y borde de carreteras. Se considera maleza de mediana a altamente nociva.

Esta especie se distribuye ampliamente en el área de estudio, en todas las condiciones de suelo y clima. La ordenación triangular indica que su estrategia es R y su distribución concentrada.

***Stipa constricta* Hitchc.**

Familia Poaceae

Planta herbácea, perenne, erguida y cespitosa. Tallo de 80 a 160 cm de alto con mas de 3 nudos. Lámina plegada o involuta. Panícula abierta, verde, café clara o púrpura. Habita en matorral xerófilo y pastizal.

Esta especie se desarrolla en suelos con textura franco arcillosa, carentes de materia orgánica y con pH de 8.90. Es de estrategia S-R y distribución concentrada.



***Loeselia coerulea* (Cav.) G. Don**

Familia Polemoniaceae

Anual o perenne de 10 a 50 cm de largo. Tallos delgados, muy ramificados, con pubescencia de pelos no glandulosos. Hojas alternas. Flores solitarias de color azul. Cápsula ovoide. Ampliamente distribuido en matorral xerófilo y pastizales, a menudo con preferencia en lugares perturbados, incluso en áreas erosionadas.

Esta especie habita sitios con suelos de textura franco arcillosa, carentes de materia orgánica y con pH de 8.90. Es de estrategia S-R y distribución concentrada.



***Loeselia glandulosa* (Cav.) G. Don**

Familia Polemoniaceae

Planta anual o perenne, herbácea o algo leñosa, de 40 a 80 cm de alto. Tallos ramificados desde la base, pubescentes. Hojas alternas, subsésiles. Flores agrupadas en glomérulos, de color azul a morado. Cápsula elipsoide. Distribuida en matorrales xerófilos, bosques de encinos o pinos y bosque mesófilo, a veces con frecuencia en terrenos perturbados.

Esta especie crece en suelos con pH de 9.80, sin materia orgánica y textura franco arenosa. Tiene estrategia C-R y su distribución es concentrada.



***Notholaena aurea* (Poir) Desv.**

Familia Pteridaceae

Helechos xerófilos con rizomas cortos, ascendentes o alongados y frondas con glándulas cerosas, tomentosas o escamosas. Las frondas con pelos no cerosos, indumento sobre una lamina de pelos, estos usualmente disfrazando al tejido subyacente. Crece en laderas sombreadas y hondonadas rocosas.

Esta especie habita suelos con pH de 8.45, con bajo porcentaje de materia orgánica (0.27) y textura arena francosa. De acuerdo a la ordenación triangular, la especie tiene estrategia S-R. Su distribución es concentrada.



***Reseda luteola* L.**

Familia Resedaceae

Hierba anual, erecta, de 30 a 150 cm de alto.

Tallo cilíndrico, estriado, amarillento verdoso, glabro. Hojas en roseta basal cuando la planta es joven. Hojas subsésiles (las de la roseta) a sésiles (las caulinares superiores).

Inflorescencia en racimos espiciformes. Fruto una cápsula subglobosa. Hierba muy

abundante, ruderal y arvense, se comporta como anual de invierno.

Esta especie se desarrolla en suelos franco limosos, con pH de 7.92 y sin contenido de materia orgánica. Se presenta con estrategia C-S-R y distribución variable.



***Crusea diversifolia* (Kunth) W. R. Anderson**

Familia Rubiaceae

Anual, más bien erecta, hasta de 30 cm de alto. Tallos cuadrangulares con costillas o alas angostas. Hoja sésil.

Cabezuelas terminales, flores blancas. Carpóforo bífido.

Crece en una gran variedad de hábitats, frecuentemente en laderas con pastizal o matorral xerófilo y en bosquetes abiertos, principalmente de encino.

En el área de estudio, esta especie se desarrolla en suelos franco arcillosos, con pH de 8.90, sin contenido de materia orgánica. Tiene estrategia S y distribución variable.



***Dodonaea viscosa* Jacq.**

Familia Sapindaceae

Arbusto de 1 a 3 m de alto, perennifolio. Hojas con láminas simples. Flores unisexuales, amarillentas, Cápsula samaróide trivalva. Se asocia a las comunidades secundarias, etapas sucesionales de bosques perturbados (encinares) y tipo de vegetación mesófila, bordes de arroyos, barrancos y taludes, claros de bosques, lugares expuestos, pastizales deteriorados, terrenos erosionados y matorrales.

En el área de estudio se desarrolla en suelos con textura franco arenosa, pH de 9.80, sin contenido de materia orgánica. La ordenación triangular indica que se trata de una especie con estrategia C-R. Su distribución es variable.



***Nicotiana glauca* Graham**

Familia Solanacea

Arbusto o árbol pequeño de crecimiento rápido, de 2 a 6 m de alto. Madera blanda, tallos jóvenes verdes o púrpuras, glabros, glaucos. Hojas con lámina cordado-ovada, elíptica a laceolada. Las hojas en plantas jóvenes mas grandes que en las ramas con flores. Inflorescencias paniculadas. Fruto una cápsula parda. Semillas angulares pardas. Se distribuye extensamente en las áreas secas y perturbadas. Ruderal.

Habita en diversos tipos de suelos, con pH de entre 7.92 a 9.80 y sin presencia de materia orgánica. Tiene estrategia C-S-R y distribución variable.



7. DISCUSIÓN

A orillas de la Carretera Federal 135, como en la mayoría de las carreteras de México, existen taludes inestables, en los que continuamente ocurren deslaves de suelo y roca, que provocan serios accidentes, grandes pérdidas humanas y económicas, y afectan la calidad visual del paisaje.

Los taludes bajo estudio se formaron a partir de cortes hechos a los cerros. En general, estos taludes se caracterizan por tener afloramientos de material rocoso con poco suelo, pobre en contenido de nutrimentos y materia orgánica, y con baja o nula cobertura vegetal, además de pendientes que sobrepasan el 100%.

De acuerdo con Odum (Cano y Meave, 1996), estos sitios son considerados ambientes terrestres de reciente formación, donde las etapas tempranas de sucesión vegetal son evidentes. Forman *et al.*, (2003), mencionan que la construcción de carreteras crea una amplia superficie de suelo desnudo en donde la sucesión vegetal ocurre desde sus primeras etapas (sucesión primaria).

Las etapas tempranas de la sucesión primaria se caracterizan por la sencillez en su estructura trófica, la pequeña cantidad de materia orgánica y de suelo, la poca diversidad de especies y la gran disponibilidad de luz a nivel del piso (Odum, citado por Cano y Meave, 1996). Por lo que, las especies de la vegetación aledaña clímax, no puede colonizar estos ambientes vacíos.

Forman *et al.*, (2003), explican que la colonización con la vegetación clímax no puede iniciarse, porque las condiciones propias de estos sitios inhiben su crecimiento. Es decir que, estas especies no cuentan con las estrategias adecuadas para colonizar sitios inhóspitos, puesto que pertenecen a una etapa sucesional “final”, que requiere condiciones ambientales más estables, predecibles y seguras.

De las 56 especies colectadas en los taludes estudiados, el 55% fueron herbáceas anuales, el 25% herbáceas perennes, el 17% arbustos y el 3% árboles. Forman *et al.*, (2003), mencionan que la forma de vida de las plantas que colonizan las orillas de carreteras es herbácea. La mayoría de las especies de plantas analizadas en este estudio fueron herbáceas anuales, que se caracterizan por colonizar ambientes perturbados y son comúnmente llamadas ruderales o arvenses.

Las hierbas constituyen un grupo numeroso de especies fugitivas, se trata de plantas que crecen siempre o por lo general en áreas alteradas y producen grandes cantidades de semillas adaptadas para la dispersión a grandes distancias, por parte del viento o los animales, un ejemplo de ellos es el diente de león (*Taraxacum officinale*). Estas especies dedican toda su vida a la dispersión, colonizan en forma temporal los habitats, se reproducen y salen de ellos rápidamente, antes de que desaparezcan tales habitat o que la competencia con otros organismos las aniquilen (Krebs, 1985).

Estas especies, también denominadas pioneras o invasoras, son poco exigentes en cuanto a condiciones del medio y más adaptadas a la colonización rápida de suelos degradados e inestables (González y García, 1998). De acuerdo con Forman *et al.*, (2003) estas especies tienen una amplia tolerancia genética a condiciones ambientales, la mayoría son demandantes de luz y comúnmente tolerantes a los disturbios.

Es importante destacar la dominancia de la familia Asteraceae en el área estudiada. Esta familia está integrada principalmente por plantas herbáceas rizomatosas, perennes o anuales, que se caracterizan por ser buenas invasoras de lugares perturbados, como *Taraxacum officinalis* y *Sonchus oleraceus* (Azcárraga y Rabiza, 2001). La mayoría de las especies de Asteraceae presentaron forma de vida Terófito.

Poaceae presentó el mayor número de individuos. Se trata de una familia muy diversa de hierbas anuales y perennes, rizomatosas o estoloníferas, anemófilas, con polen libre y de distribución cosmopolita; crecen no sólo en praderas y pastizales, sino también en zonas de escombros, sobre suelos cultivados y abandonados, a lo largo de las orillas de los caminos y de canales, es decir casi en todas partes desde el nivel del mar hasta las zonas montañosas (Valdés *et al.*, 1987). En el área de estudio la forma de vida predominante fue la Hemicriptófito (90% de las especies de Poaceae).

Rhynchelytrum repens (familia Poaceae), fue la única especie presente en todos los sitios de muestreo y la que registró el mayor número de individuos. Esta especie tiene raíz fibrosa y tallo erecto de hasta 1 m de alto, se distribuye como ruderal a orillas de drenes y bordes de carretera, se propaga con facilidad y forma coberturas densas (Morales, 1987).

Otra de las familias bien representada por su número de especies fue Fabaceae. Las leguminosas son una familia numerosa, compuesta por árboles, arbustos y hierbas. La importancia de esta familia radica en los nódulos presentes en las raíces, formados por la asociación con bacterias del género *Rhizobium*, capaces de fijar nitrógeno atmosférico y convertirlo en otros compuestos nitrogenados disponibles para la planta (Valdés *et al.*, 1987).

De acuerdo con el análisis de agrupamiento, existen tres diferentes tipos de asociaciones vegetales en los taludes estudiados. El primer tipo estuvo representado principalmente por las siguientes especies: *Dyssodia papposa*, *Picris echioides*, *Simsia amplexicaulis*, *Mirabilis corymbosa*, *Aristida adscensionis*, *Rhynchelytrum repens* y *Nicotiana glauca*. En el segundo tipo destacaron las especies: *Wigandia ureas*, *Bouteloua bromoides*, *Linum australe* y *Rhynchelytrum repens*. El tercer tipo estuvo conformado principalmente por: *Bidens odorata*, *Tridax procumbens*, *Dalea brachystachya*, *Muhlenbergia implicata* y *Rhynchelytrum repens*.

Las diferencias en la composición de especies pueden estar relacionadas con diversos factores, entre los que destaca la capacidad de dispersión de las especies y su establecimiento, estrechamente relacionado con las condiciones ambientales del lugar.

Granados (2002), menciona que la colonización de estos hábitats vacíos, depende básicamente de la amplitud de distribución de los propágulos de cada especie (dispersión), y de la disponibilidad de sitios favorables para su establecimiento exitoso.

Harper *et al.*, (1961), proponen el concepto de “sitio seguro”; para referirse a las condiciones particulares en la superficie del suelo que determinan la germinación y el establecimiento de las plántulas, dando énfasis a los factores microambientales como: microtopografía, disponibilidad de agua, profundidad del mantillo y protección contra la desecación, entre otros. Esto sugiere que las semillas poseen requerimientos específicos para germinar, y que el número y proporción de las especies que se establecen es función directa del número de “sitios apropiados” disponibles en la superficie del suelo.

Whittaker (1978), menciona que las diversas poblaciones no forman una unidad concreta de vegetación, sino que varían y cambian en forma continua a través de gradientes ambientales. Esto es, la presencia de una especie en un sitio no es producto del azar, sino que atiende a gradientes ambientales que determinan su establecimiento.

Begon *et al.*, (1988), mencionan que cuando un factor ambiental clave varía a lo largo de un gradiente, es probable que existan puntos en los que los status competitivos relativos de las especies cambian, de modo que una especie dominante es sustituida por otra.

La ordenación directa, además de corroborar la semejanza entre las comunidades vegetales de los sitios muestreados y determinar que la distribución de las especies se debe a gradientes ambientales; permitió conocer los factores ambientales que están estrechamente relacionados con la composición de especies de las comunidades. En orden de importancia, estos factores ambientales fueron: pendiente, % arena, pH, límite líquido, porosidad, humedad aprovechable, materia orgánica, porcentaje de saturación de bases, nitrógeno total y precipitación pluvial.

La topografía está relacionada principalmente con la estabilidad de los suelos, y regula la infiltración y escurrimiento del agua y la disponibilidad de sitios seguros para la germinación de las semillas. Una pendiente alta provoca un mayor movimiento de tierras (por la propia gravedad o por el escurrimiento del agua de lluvia), sobre todo cuando los suelos están muy sueltos, lo que implica que el suelo formado se pierda junto con las plantas, la materia orgánica, los elementos nutricionales y el banco de semillas que pueda contener. Pese a ello, hay especies que crecen en pendientes pronunciadas, como *Nicotiana glauca* que cuenta con una raíz pivotante y dura que se arraiga profunda y fuertemente al suelo.

El análisis estadístico realizado con los datos de los sitios localizados en las partes planas (testigos) y en los taludes, mostró diferencias significativas en el número de individuos presentes en ambos sitios ($P < 0.0001$). La prueba de comparación de medias Tukey, indicó que las partes planas tienen en promedio 73.6 individuos en 1 m^2 , valor que difiere significativamente con respecto a los taludes, donde la densidad máxima fue la del sitio 1, con 13.8 individuos en 1 m^2 y la mínima en el sitio 2, con 6.1 individuos/ m^2 .

En general, las necesidades nutrimentales y las condiciones ambientales óptimas para el establecimiento y desarrollo de las plantas difieren para cada especie, por lo tanto, su distribución esta dada conforme a sus características genéticas, fisiológicas y poblacionales y a su manera de relacionarse con los factores ambientales, incluyendo en ellos a las otras especies, hipótesis propuesta por Ramensky y Gleason en 1926 (Matteuci y Colma, 1982).

Begon *et al.*, (1988), mencionan que una localidad determinada, en virtud sobre todo de sus características físicas, posee una asociación de especies razonablemente predecible, aunque es probable que una especie que se presente en una asociación predecible ocurra también con otro grupo de especies bajo las condiciones diferentes de otro lugar.

El sitio 3 fue el que mostró mayor diversidad de especies. Esto esta relacionado con las características del suelo en el sitio, puesto que es el que brinda las mejores condiciones para el establecimiento de la vegetación, ya que es suelo

con mayor contenido de arcilla (clase textural franco arcilloso), sodio, calcio, Magnesio y potasio, y por lo tanto, con alta capacidad de intercambio catiónico. Presenta una porosidad alta, por lo que es un suelo poco compacto, con un buen porcentaje de humedad aprovechable.

Las especies han desarrollado una serie de estrategias adaptativas y evolutivas para colonizar sitios inhóspitos, que son un reflejo de su potencial genético.

Las formas de vida de Raunkiaer, son un tipo de estrategia que esta relacionado con el comportamiento de las especies durante la estación desfavorable, que asegura su supervivencia año con año (Granados y Tapia, 1990).

En el área de estudio predominan las hemicriptófitas, plantas cuya yema de renuevo se encuentra al ras del suelo, su aparato aéreo es herbáceo y desaparece en gran parte al inicio de la estación desfavorable. Un ejemplo de ello son los pastos, de los que destaca *Rhynchelytrum repens*, especie que se encontró en todos los sitios de muestreo y en general, en todo el transecto carretero. Esta especie forma una cobertura densa en las partes planas donde llega a presentarse.

El segundo grupo mejor representado corresponde a las terófitas, las cuales se caracterizan por ser plantas anuales que sólo viven en la época más favorable, en la cual florecen, fructifican y después mueren, dejando como subsistencia

durante la época desfavorable semillas que germinarán el siguiente año. *Bidens odorata* es ejemplo claro de una terófitas, presenta una alta densidad en los sitios donde ocurre.

Los espectros biológicos, que representan la distribución de las especies en formas de vida, dan una imagen de las diferencias ecológicas de los sitios ocupados por las distintas comunidades y del comportamiento fisioecológico de las especies que caracterizan a cada lugar (Matteuci y Colma, 1982).

Los climógramas muestran que las especies que crecen en estos ambientes deben de soportar el estrés provocado por sequía, alta radiación, oscilaciones drásticas de temperatura y heladas que se agudizan sobre todo en la época desfavorable y deben invertir toda su energía para establecerse, crecer y reproducirse en la temporada de lluvias, sin olvidar que también están sujetas a un problema de déficit nutrimental permanente.

El modelo triangular de Grime (1982), refleja también el comportamiento fisiológico y estructural de las plantas como respuesta al medio. Este modelo supone que las plantas pueden agruparse diferencialmente de acuerdo con su respuesta a las perturbaciones, a las restricciones del medio (estrés) y a la competencia. De tal forma que las especies pueden ser resistentes al estrés (S), Ruderales (R) y competitivas (C) (Orellana *et al.*, 1999).

De acuerdo con la ordenación triangular, la mayoría de las especies tienen estrategia R o ruderal. Las especies con esta estrategia presentan una máxima producción de semilla, un ciclo de vida corto y capacidad para colonizar hábitat que permitan su rápido crecimiento (Granados y López, 2000).

De esta estrategia destacan las especies: *Rhynchelytrum repens*, *Sonchus oleraceus* y *Taraxacum officinale*.

La siguiente estrategia más representada fue la S-R o ruderales tolerantes al estrés, estas especies están adaptadas a hábitat improductivos, ligeramente alterados. Destacan las especies: *Bidens odorata* y *Tagetes lunulata*.

Las especies con estrategia R y S-R, en su conjunto, representan el 60% del total de especies en los taludes de carreteras analizados.

En menor proporción se encuentran las de estrategia C-S-R. Estas especies son más generalistas y cuentan con una amplia capacidad adaptativa, dado que tienen aproximadamente un 33% de cada estrategia (Orella *et al.*, 1999). Entre estas destaca *Nicotiana glauca*.

Otras especies importantes por su densidad en los taludes de carretera, que presentaron estrategia C-R (ruderales competitivas), fueron: *Chamaesyce hirta*, *Tridax procumbens* y *Wigandia urens*.

8. CONCLUSIONES

Los taludes a orillas de la carretera Tehuacan-Oaxaca, son sitios inhóspitos para la vegetación, puesto que carecen de suelo, humedad, contenido de materia orgánica y nutrimentos. Además, la pendiente es un factor muy importante, que limita el establecimiento de las plantas, dado que se relaciona con la inestabilidad del talud, el movimiento de tierra y la capacidad de retención de agua.

La clasificación permitió reconocer las diferencias en la composición de especies que colonizan los taludes de los sitios analizados, determinándose, en general, tres tipos de asociaciones vegetales.

La ordenación muestra que la distribución de las especies esta asociada a determinados factores ambientales, entre los que destacan: pendiente, contenido de arena, pH, límite líquido, porosidad, todos ellos relacionados con la humedad.

La forma de vida hemicriptofita, que presentó la mayoría de las especies, al igual que la Terófito y caméfito, que predominaron en menor proporción, están relacionadas con el régimen de lluvias y las fluctuaciones en la temperatura, que se presentan durante el año en el área de estudio, puesto que estos

factores ambientales generan un periodo favorable y otro desfavorable para el crecimiento de las plantas.

La estrategia de colonización más representativa fue ruderal. Esta estrategia es muy importante para iniciar la restauración de taludes de orillas de carretera, puesto que estas especies se caracterizan por producir gran cantidad de semillas, contar con un ciclo de vida corto y tener capacidad de colonización de lugares perturbados. Por lo que se acepta la hipótesis planteada en esta investigación.

El uso de una cubierta vegetal con especies pioneras, puede favorecer la restauración de taludes, porque, además de retener suelo, evitar erosión y mejorar la calidad visual del paisaje; tiende a crear estructuras más complejas, autosustentables (partiendo del concepto de sucesión ecológica), que permiten conservar la biodiversidad.

9. LITERATURA CITADA

- Aguilera C., M. y R. Martínez E. 1996. *Relación agua suelo planta atmósfera*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 256 pp.
- Ambríz R., E. 2001 *Estabilización de Terracerías*. Boletín informativo. In: http://www.amivtac.org/Library/bol_Estabilizacion.htm 12/04/2004
- AMC. 1995. *XX Congreso mundial de la carretera*. Asociación Mundial de Carreteras. Montreal, Canadá.
- Austin, M. P. y T. M. Smith. 1989. *A new model for the continuum concept*. Vegetation. 83: 35-47.
- Azcárraga R., R. y S. I. Arbiza A. 2001. *El mundo de las plantas III*. In: <http://www.correodelmaestro.com/anteriores/2001/mayo/mundoplanpoptop.htm> 04/08/2005
- Barbour, M. G., J. H. Burk, W. D. Pitts, F. S. Gilliam y M. W. Schwartz. 1998. *Terrestrial plant ecology*. Third edition. Benjamín/Cummings. Menlo Park, California. 649 pp.
- Begon, M.; J. L. Harper y C. R. Townsend. 1988. *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 886 pp.
- Cairne, J. J. 1995. *Rehabilitating damaged ecosystems*. Lewis Publishers. 2nd edition. USA. 425 pp.
- Carranza Q., J. A. 1997. *La diversidad biológica de Colombia*. In: <http://www.monografias.com/trabajos12/ladivbio/ladivbio.shtml> 17/02/2005
- Chávez L., G. 1996. *Principios, conceptos y consideraciones de restauración ecológica*. Revista Ciencias Forestal en México. 21(80): 3-24.
- Cano-Santana, Z. y J. Meave. 1996. *Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso Xitle*. Ciencias. 41: 58-68.
- CNA. 2000. *Normales climatológicas estándar y provisionales 1961-1990*. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. In: <http://smn.cna.gob.mx/> 2/9/2004
- Colwell, R. K. 2004. *EstimateS. Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Versión 7. In: <http://purl.oclc.org/estimates>.

- DOF. 2000. *Norma Oficial Mexicana 021 Recursos Naturales, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación. 31 de diciembre de 2002. 75 pp.
- Escobar P., C. E. 2002. *Las coberturas vegetales en el control de la erosión*. Colombia. In: http://www.geocities.com/carlose_escobar.htm 08/05/2004
- Ewell, J. J. 1990. *Restoration is the ultimate test of ecological theory*, en W.R. Jordan III, E. Gilpin y D. Aber (eds.). *Restoration Ecology: A synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Florez, C., M. M. Guerrero, M. J. Hidrovo y A. López. 2002 *Estabilización de taludes*. Pontificia Universidad Javeriana. In: <http://escher.puj.edu.co/~civil/Clases/Mec%E1nica%20aplicada/Exposiciones/ESTABILIZACION%20DE%20TALUDES.doc> 12/04/2004
- Forman, R. T. .T.; D. Sperling, J. A. Bissonette; A. P. Clevenger; C. D. Cutshall, V. H. Dale; L. Fahrig; R. France; C. R. Golman; K. Heanue, J. A. Jones; F. J. Swanson, T. Turrentine y T. C. Winter. 2003. *Road Ecology. Science and solutions*. Island Press. Washington, DC. 481 pp.
- García, E. 1981. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 4ª edición. México, D.F. 252 pp.
- Gauch, H. G. 1982. *Noise reduction by eigenvector ordinations*. Ecology 63(6):1643-1649 pp.
- Gómez-Pompa, A. 1976. *Antología ecológica*. Literaturas Universitarias No. 26. Dirección General de Publicaciones UNAM. México D. F. 312 pp.
- González del T., M. y D. García de J. 1998. *Restauración de ríos y riveras*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 319 pp.
- Granados S., D. 2002. *Ecología y dispersión de las plantas*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 115 pp.
- Granados S., D. y G. López, R. 2000. *Sucesión ecológica*. Dinámica del ecosistema. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 197 pp.
- Granados S., D. y R. Tapia V. 2002. *Comunidades vegetales*. Colección de Cuadernos Universitarios. Serie de Agronomía No. 19. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 235 pp.

- Grime, J. P. 1982. *Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación*. Limusa.- México D. F. 291 pp.
- Harper, J. L.; J. N. Clatworthy y I. H. MacNaughton. 1961. *The evolution and ecology of closely related especies living in the same area*. Evolution, Lancaster, Pa. 15: 209-227
- Hunt, R. E. 1984. *Geotechnical engineering investigation manual*. McGraw-Hill.
- INEGI. 1984. *Carta topográfica de Oaxaca*. Clave E14-9. Escala 1:250 000. Segunda edición.
- INEGI. 1999. *Carta edafológica de Orizaba*. Clave E14-6. Escala 1:250 000. Primera edición, segunda impresión.
- INEGI. 2000. *Carta de uso de suelo y vegetación de Oaxaca*. Clave E14-9. Escala 1:250 000. Primera edición, segunda impresión.
- Jardel P., E. y L. R. Sánchez V. 1989. *La sucesión forestal: fundamento ecológico de la silvicultura*. Ciencia y Desarrollo. 14(84): 33-43.
- Kent, M. y P. Coker. 1992. *Vegetation description and analysis: a practical approach*. Belhaven Press. Londres, Inglaterra.
- Krebs J., C. 1985. *Ecología. Estudio de la distribución y abundancia*. Segunda edición. HARLA. México. 753 pp.
- Lambe T., W. y V. Whitman R. 1991. *Mecánica de suelos*. Editorial Noriega-Limusa. México D. F. 582 pp.
- Łaska, G. 2001. *The disturbance and vegetation dynamics: a review and an alternative framework*. Plant Ecology 157: 77-99.
- Martínez R., E. 1996. *La restauración ecológica*. Ciencias. 43: 56-61.
- Martínez S., A. y S. A. Damián H. 1999. *Catalogo de impactos ambientales generados por las carreteras y sus medidas de mitigación*. Publicación Técnica No. 133. Instituto Mexicano de Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Sanfandila, Qro. 85 pp.
- Matteucci, S. D. y A. Colma. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D. C. 168 pp.

- McCune, B. y J. B. Grace. 2002. *Analysis of ecological communities*. MjM Software Design, Gleneden Beach. Oregon, USA. 300 pp.
- McCune, B. y J. Mefford, M. 1999. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data*. Versión 4.0. MjM Software design. Oregon, USA.
- Morales M., M. D. 1987. *Manual de malezas*. IMPA. Córdoba, Ver. 51p.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. 1 ed. Wiley Editors. USA. pp: 110-114.
- OPS. 1997. Estudio de caso: *Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a deslizamientos*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú. 106 pp.
- Orellana, R.; A. Escamilla y A. Larqué-Saavedra. 1999. *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida Yucatán. 222 pp.
- Ovalle F., H. S. 1997. *Las carreteras del siglo XXI*. Cuadernos FICA, Número 25. Fundación ICA. México, D. F. 26 pp.
- Palmer, M. W. 1993 *Putting things in even better order. The advantages of canonical correspondence analysis*. Ecology 74: 2215-2230.
- Perrow, M. R. y A. J. Davy. 2002. *Handbook of ecological restoration*. Vol. 1. Cambridge University Press. Cambridge. 9 pp.
- Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Oaxaca. 1988. *Los municipios de Oaxaca*. Colección Enciclopedia de los Municipios de México. Centro Nacional de Estudios Municipales. México D. F. 282 pp.
- Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Puebla. 1988. *Los municipios de Puebla*. Colección Enciclopedia de los Municipios de México. Centro Nacional de Estudios Municipales. México D. F. 1178 pp.
- Rico R., A. y H. Del Castillo. 1990. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. Editorial LIMUSA. México. 459 pp.
- Robles C., M. A. 2003. *Clasificación y ordenación de la Selva Baja Caducifolia en el ejido Tachinolpa, Culiacán, Sinaloa*. Tesis de Maestría. Division de ciencias forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 112 pp.

- Roos, M. S. 1997. *Restauración ecológica*. Juan Guzmán Carrillo. Universidad de Bristol. 12 pp.
- Sánchez G., A. 1998. *Clasificación y ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí*. Tesis Maestría. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. Estado de México. 191 pp.
- Sánchez G., A. y D. Granados S. 2003. *Ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de gradientes ambientales*. Terra 21:311-319.
- Schiechtl, H. M. 1986. *Manual de ordenación de cuencas hidrográficas. Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y vegetación*. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 65 pp.
- Smith, R. L. y M. Smith T. 2000. *Ecología*. Cuarta edición. Addison Wesley. Madrid.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. *The SER international primer on ecological restoration*. In: www.ser.org 22/02/2005
- Ter Braak, C.J.F. y P. Šmilauer, 1998. *CANOCO. Referente Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (Version 4)*. Microcomputer Power. NewYork. NewYork. 351 pp.
- Univalle. 2000. *Impacto ambiental en la construcción de carreteras*. Universidad del Valle. Cali Colombia. In: <http://www.univalle.edu.co/~fhernand/ambiente/Capitulo13.htm> 08/05/2004
- Valdés et al. 1987. *Flora vascular de Andalucía Occidental*. Ed. Keltres. In: <http://www.uco.es/investiga/grupos/rea/temporada/graminea.htm>
- Whittaker, R. H. 1970. *Communities and ecosystems*. Macmillan. New York. 385 pp.
- Whittaker, R. H. 1978. *Ordination and classification of communities*. Part V. Handbook of Vegetation Science. La Haya. pp. 7-31
- Zavala H., J. A. 1986. *Introducción al enfoque multivariado en estudios de vegetación*. Cuadernos de Divulgación 26. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Jalapa, Veracruz. 58 pp.

10. ANEXO

ÁLBUM FOTOGRÁFICO DE LOS TALUDES ESTUDIADOS

SITIO 1



Condición general del talud en el sitios 1



Cobertura de malla y cemento



Sitios seguros de germinación

SITIO 2



Condición general del talud en el sitios 2

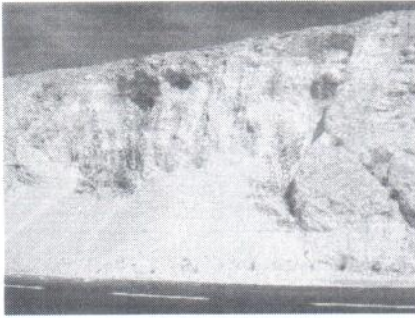


Cobertura de malla



Vegetación natural del talud

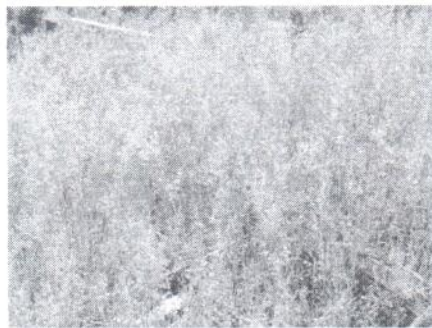
SITIO 3



Acumulación de material
en la base del talud



Colonización del talud
con *Wigandia urens*



Rhynchelytrum repens en las áreas
planas aledañas al talud

SITIO 4



Vista panorámica
del talud en el sitio 4



Fuertes pendientes y
deslave de tierras



Cobertura vegetal
del talud

SITIO 5



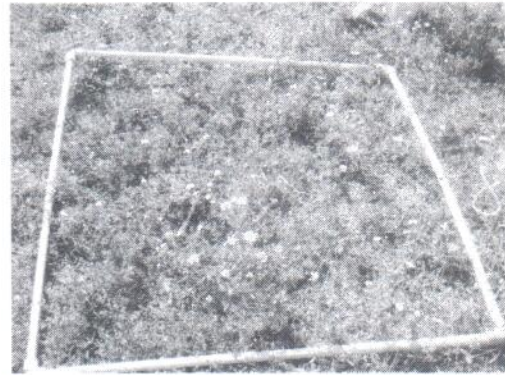
Vista general del talud
en el sitio 5



Afloramiento rocoso y
establecimiento de la vegetación



Erosión en las partes altas del talud



Cobertura vegetal del 100% de la superficie
de muestreo en las partes planas