



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LAS UNIDADES  
NATURALES DE LA ESTACIÓN DE RESTAURACIÓN  
ECOLÓGICA “BARRANCAS DEL RÍO TEMBEMBE”,  
CON FINES DE RESTAURACIÓN.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)  
P R E S E N T A**

**JUANA GARCÍA FLORES**

**DIRECTOR DE TESIS: Dr. JORGE LÓPEZ BLANCO**

**MÉXICO D. F.**

**JUNIO 2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## ***Agradecimientos***

***Al Posgrado en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental con orientación en Restauración Ecológica) Universidad Nacional Autónoma de México.***

***A la Fundación Packard, por el apoyo económico para la realización del trabajo de campo.***

***Al apoyo económico recibido por CONACYT.***

***Al apoyo económico recibido por el proyecto: Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano. Las Cuencas del Apatlaco y Tembembe. (SDEI-PTID-02).***

***Al Dr. Jorge López Blanco por su apoyo en la realización de esta investigación, así como por su amistad.***

***A los miembros de mi jurado Dra. Irma Trejo Vázquez, Dra. Consuelo Bonfil Sanders, Dr. Gilberto Vela Correa y Dr. Raúl García Barrios por su apoyo y sugerencias para el óptimo desarrollo de esta tesis.***

## ***Agradecimientos Personales:***

*Al Mexu por su apoyo en la identificación de especies.*

*A Héctor Hernández por su asesoría estadística.*

*A Edgar Durán, Félix Ayala, Salvador Damián, Carolina Martín, Ernesto (Chore) y Sergio Salinas por su gran ayuda en el trabajo de campo.*

*A la familia de don Agapito en Cuentepec, por abrirme las puertas de su casa.*

*A mi familia por su cariño y apoyo en mi volar.*

*A Edgar Durán por su enorme apoyo durante este camino y por impulsarme a expandir las alas.*

*A mis bellos amigos de la maestría Sara Bonilla, Gumercinda Corona y Félix Ayala por todos esos maravillosos momentos vividos.*

*A Mago, Itzel, Bety y David, Gracias Amigos...*

*A todos aquellas personas que me han impulsado y motivado a continuar...*

*Dedicatoria*

*A mis padres Manuel García Muñoz y Victoria Flores Hernández  
por su amor.*

*A mis hermanas y hermano por su apoyo en estos caminos.*

*A Edgar Durán por su amor y entrega.*

	<b>Índice</b>	<b>Págs.</b>
<b>Resumen</b>		I-III
<b>Abstract</b>		III-IV
	<b>Capítulo 1</b>	1
<b>1.1</b>	<b>Introducción</b>	1
<b>1.2</b>	<b>Justificación</b>	2
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b>	2
<b>1.4</b>	<b>Características fisiográficas del área de estudio</b>	3
1.4.1	<i>Localización geográfica</i>	3
1.4.2	<i>Geología y edafología</i>	3
1.4.3	<i>Hidrología</i>	5
1.4.4	<i>Clima</i>	6
1.4.5	<i>Vegetación</i>	6
	<b>Capítulo 2. Antecedentes</b>	7
2.1	<i>Establecimiento de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe</i>	7
2.2	<i>Trabajos de referencia</i>	8
2.3	<i>Regionalización ambiental</i>	11
2.4	<i>El empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)</i>	13
2.5	<i>La restauración ecológica</i>	15
2.5.1	<i>Aspectos a considerar en los proyectos de restauración ecológica</i>	17
2.5.2	<i>La restauración ecológica en los sistemas tropicales</i>	18
	<b>Capítulo 3. Métodos</b>	20
<b>3.1</b>	<i>Diseño para la toma de datos en campo</i>	20
<b>3.2</b>	<i>Muestreo de la vegetación</i>	22
<b>3.3</b>	<i>Muestreo de suelo y toma de datos de procesos geomorfológicos</i>	23
<b>3.4</b>	<i>Determinación de ejemplares botánicos y parámetros estructurales empleados en el análisis de la cobertura vegetal.</i>	24
<b>3.5</b>	<i>Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo</i>	25
<b>3.6</b>	<i>Determinación y delimitación de unidades geomorfológicas y de vegetación</i>	26
<b>3.7</b>	<i>Generación de los mapas de unidades geomorfológicas y de unidades de vegetación en el SIG.</i>	27
<b>3.8</b>	<i>Generación del mapa de pendientes, altitud y orientación</i>	28
<b>3.9</b>	<i>Generación de mapas de variables edafológicas</i>	29
<b>3.10</b>	<i>Análisis estadístico</i>	30
<b>3.11</b>	<i>Integración de Datos</i>	32
	<b>Capítulo 4. Resultados</b>	33
<b>4.1</b>	<b><i>Caracterización geomorfológica de la EREBRT</i></b>	33
4.1.1	<i>Mapas de altitud, pendiente y orientación</i>	37
4.1.1.1	<i>Mapa de altitud</i>	37
4.1.1.2	<i>Mapa de pendientes</i>	39
4.1.1.3	<i>Mapa de orientación</i>	41
<b>4.2</b>	<b><i>Caracterización edáfica de la EREBRT</i></b>	43
4.2.1	<i>Propiedades físicas del suelo</i>	43
4.2.1.1	<i>Color</i>	43
4.2.1.2	<i>Textura</i>	44
4.2.1.3	<i>Densidad aparente (Da)</i>	44

4.2.1.4	Densidad real (Dr)	45
4.2.1.5	Porosidad	46
4.2.1.6	Profundidad del suelo	46
4.2.1.7	Compactación	47
4.2.2	<i>Propiedades químicas del suelo</i>	48
4.2.2.1	pH	48
4.2.2.2	Materia orgánica (MO)	49
4.2.2.3	<i>Capacidad de intercambio catiónico (CIC)</i>	49
<b>4.3</b>	<b>Caracterización de la Vegetación de la EREBRT</b>	50
4.3.1	Composición florística de la EREBRT	53
4.3.2	Estructura	55
4.3.2.1	Altura	55
4.3.2.2	Densidad	56
4.3.2.3	Frecuencia	57
4.3.2.4	Área basal (Dominancia)	59
4.3.2.5	Valor de importancia relativa	60
<b>4.4</b>	<b><i>Relación de los factores ambientales: geomorfológicos, edafológicos y de vegetación de las Unidades Naturales.</i></b>	61
4.4.1.	<i>Análisis de cluster</i>	61
4.4.2	<i>Análisis de Componentes Principales</i>	63
<b>4.5</b>	<b><i>Diagnóstico ambiental de las unidades naturales de la EREBRT.</i></b>	67
<b>Capítulo 5. Discusión</b>		80
<b>5.1</b>	<b><i>Geomorfología</i></b>	80
<b>5.2</b>	<b><i>Suelos</i></b>	82
<b>5.3</b>	<b><i>Vegetación</i></b>	84
<b>5.4</b>	<b><i>Análisis estadístico</i></b>	87
<b>Capítulo 6. <i>Propuestas encaminadas hacia la restauración ecológica y conservación de las Unidades Naturales de la EREBRT.</i></b>		88
6.1	<i>Superficie cumbre de abanico volcánico y hombro de ladera de barranco.</i>	89
6.2	<i>Dorso de ladera de barranco superior, medio, medio inferior y no diferenciado.</i>	91
6.3.	<i>Dorso de ladera de barranco inferior y el piedeladera de barranco</i>	95
6.4	<i>Pared de talweg</i>	96
<b>Capítulo 7. Conclusiones</b>		99
<b>Bibliografía</b>		102
<b>Anexo A</b>		113
<b>Anexo B</b>		122
<b>Anexo C</b>		125

## Índice de Figuras

		Págs.
1.1	Localización de la Estación de Restauración Barrancas del Río Tembembe (Tomado de Bonfil <i>et al.</i> , 2004).	4
1.2	Representación de las unidades de suelos en los distintos componentes de las laderas de la EREBRT.	5
3.3	Procedimiento para el Diagnóstico ambiental de la EREBRT con la finalidad de realizar propuestas de restauración ecológica y conservación	21
3.4	Límite de la EREBRT, así como la ubicación de los transectos empleados en la caracterización biofísica, además del esquema para muestreos edáficos, de vegetación y parámetros del relieve.	22
4.5	Componentes geomorfológicos de la ladera y clases. Clasificación basada y modificada del Modelo de ladera de Ruhe (1960).	34
4.6	Mapa de unidades geomorfológicas. Clases de los componentes geomorfológicos de acuerdo a su posición topográfica y la geometría del relieve.	36
4.7	Mapa altitudinal de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe, mostrada en intervalos para representar un mayor detalle en el área de estudio.	38
4.8	Mapa de pendientes (en grados) de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe.	40
4.9	Mapa de orientación de las laderas de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe.	42
4.10	Distribución de la Clase Textural (proporción granulométrica de arenas limos y arcillas) en los diferentes componentes geomorfológicos de las laderas de la EREBRT	44
4.11	Distribución de la Densidad aparente en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT.	45
4.12	Distribución de la Densidad real de los diferentes componentes geomorfológicos de las laderas de la EREBRT.	45
4.13	Distribución de la porosidad en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT	46
4.14	Distribución de la profundidad en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT	47
4.15	Distribución de la compactación en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT	48
4.16	Distribución del pH en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT.	48
4.17	Distribución espacial de la MO en los diferentes componentes de la ladera de la EREBRT.	49
4.18	Distribución espacial de la CIC en los diferentes componentes de la ladera en la EREBRT.	50
4.19	Representación del mapa de Cobertura Vegetal de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe, Morelos, México.	52
4.20	Representación gráfica de los diferentes tipos y asociaciones de vegetación distribuidas espacialmente en los diferentes componentes y clases de las laderas	53
4.21	Frecuencia de las familias botánicas presentes en la EREBRT.	55
4.23	Representación gráfica del análisis de <i>cluster</i> de las 84 unidades naturales presentes en la EREBRT. La agrupación se observa que está en función de su posición topográfica.	62
4.24	Gráfica scree, de los eigenvalores encontrados en los componenetes principales, se observa que el número de factores más importantes a considerar es cinco.	64
4.25	Gráfico de los dos principales factores, se muestran las variables de mayor peso estadístico.	66
4.26	Se muestra la actividad antrópica y de ganadería local presentes en las unidades que comprenden a la Superficie cumbral de abanico volcánico y Hombro de ladera de barranco.	68
4.27	Unidades naturales que presentan condiciones de pendiente fuerte, que en conjunto con la forma geométrica convexa y falta de cobertura vegetal incrementan la erosión del suelo.	69
4.28	Unidad natural de hombro de ladera de barranco, se observa pérdida de suelo, escasez de vegetación y rocas en afloramiento, por ello es prioritaria para la restauración ecológica.	71
4.29	Representación de diversa unidades. Las unidades dentro de este grupo presentan características heterogéneas por su posición topográfica	72
4.30	Representación de algunas unidades del grupo cuatro, donde se observa las diferencias en la vegetación	73

4.31	Panorama de las condiciones ambientales presentes en las unidades naturales presentes en el Dlbj y el Plb.	75
4.32	Las unidades naturales ubicadas en la Pared de <i>talweg</i> , por sus condiciones ambientales se consideran aptas para la conservación	76
4.33	Mapa del agrupamiento de las UN de la EREBRT, resultante del análisis de integración de datos.	78
6.34	Representación del surcado natural en las curvas de nivel del área y especies vegetales propias del sitio ayudando en la formación de suelo.	93
6.35	Representación de la técnica <i>Gradioni</i>	91
6.36	Mapa de unidades naturales, en las cuales se propone un manejo con base en el diagnóstico ambiental	96

### Índice de Cuadros

	Pág	
2.1	Estructura de la regionalización ecológica para el ordenamiento ecológico (SEDUE, 1988).	12
4.2	Clasificación de las unidades geomorfológicas en la EREBRT.	34
4.3	Intervalos altitudinales de las clases geomorfológicas de la EREBRT.	37
4.4	Intervalos de pendiente presentes en las clases geomorfológicos de la EREBRT.	39
4.5	Clases azimutales del mapa de orientación.	41
4.6	Orientación de las clases geomorfológicos de la EREBRT.	41
4.7	Porcentaje del número de sitios de muestreo presentes en las diferentes clases geomorfológicos.	43
4.8.	Clasificación de unidades de vegetación y su extensión en la EREBRT.	51
4.9	Número de especies por familia y su proporción respecto del total.	54
4.10	Número y proporción de individuos de árboles, arbustos, lianas y renuevos de árboles en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT.	56
4.11.	Especies con mayor densidad relativa en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT.	57
4.12	Frecuencia relativa de las especies de las distintas coberturas de vegetación de la EREBRT	58
4.13	Dominancia relativa de las especies presentes en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT.	59
4.14	Especies con la mayor importancia relativa en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT.	60
4.15	Eigenvalores significativos de las variables analizadas de los factores ambientales.	63
4.16	Componentes principales de los tres factores ambientales (relieve, suelo y vegetación).	65
4.17	Generalización de los grupos de unidades en base a sus variables geomorfológicos, edáficas y de vegetación.	77
4.18	Manejo propuesto para las unidades naturales de la EREBRT.	79

### Anexo A 103

A.1	Primer Grupo de catorce Unidades Naturales, se muestra para cada una de las UN su variable geomorfológica, edáfica y de vegetación.	114
A.2	Segundo Grupo de siete unidades naturales de la EREBRT, con sus respectivas variables geomorfológica, edáficas y de vegetación	115
A.3	Tercer Grupo de veintisiete UN de la EREBRT, con cada una de las variables analizadas para el factor geomorfológico, edáfico y de vegetación.	116
A.4	Cuarto Grupo de ocho UN de la EREBRT ubicadas en el Superficie de abanico volcánico y el Pie de ladera de barranco, se muestra cada variable manejada para los tres factores ambientales.	118
A.5	Quinto Grupo de veinticinco UN de la ERBRT ubicadas en el Dorso de ladera de barranco inferior y el Pie de ladera de barranco y sus características ambientales.	119
A.6	Sexto Grupo, compuesto de tres UN ubicadas en el Dorso de ladera inferior y la Pared de <i>talweg</i> , se muestran las variables de los tres factores ambientales.	121

Anexo B		122
B.1	Mapa de la distribución espacial de las arenas en la EREBRT.	123
B.2	Mapa de la distribución espacial de los limos en la EREBRT.	123
B.3	Mapa de la distribución espacial de las arcillas en la EREBRT.	123
B.4	Mapa de la distribución espacial de la densidad aparente en la EREBRT.	123
B.5	Mapa de la distribución espacial de la densidad real en la EREBRT.	123
B.6	Mapa de la distribución espacial de la porosidad en la EREBRT.	123
B.7	Mapa de la distribución espacial de la compactación en la EREBRT.	124
B.8	Mapa de la distribución espacial de la profundidad en la EREBRT.	124
B.9	Mapa de la distribución espacial del pH en la EREBRT.	124
B.10	Mapa de la distribución espacial de la MO en la EREBRT.	124
B.11	Mapa de la distribución espacial de la CIC en la EREBRT.	124
Anexo C		125
C.1	Listado de especies arbóreas, arbustivas, lianas y herbáceas presentes en los distintos tipos de cobertura vegetal de la EREBRT.	126

## Resumen

La Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe, se encuentra inmersa dentro del piedemonte volcánico Glacís de Buenavista, Morelos, cuenta con 97 ha que corren a lo largo de las márgenes del río Tembembe. Presenta pastizales, en la mayor parte del área y sólo quedan algunos remanentes de vegetación relativamente conservadas de asociaciones de selva baja caducifolia con encinares y *Juniperus*, así como vegetación ribereña a lo largo del cauce. Históricamente ha registrado una alta tasa de cambio en el uso del suelo, así como la degradación de muchas áreas con vegetación, por ello se pretende incidir en el área a través de investigaciones enfocadas a la restauración ecológica. Considerando lo anterior, se planteó llevar a cabo el diagnóstico ambiental de las unidades naturales de la Estación de Restauración Ecológica “Barrancas del Río Tembembe” (EREBRT), tomando en cuenta tres factores ambientales fundamentales: el relieve, el suelo y la vegetación. Se llevó a cabo la caracterización geomorfológica mediante el análisis por fotointerpretación y el empleo del SIG. La caracterización de la vegetación generada a partir de la fotointerpretación, así como del muestreo en campo que permitió el conocimiento de la composición florística y los componentes estructurales básicos y la caracterización edáfica que resultó del análisis en laboratorio de variables físicas y químicas del suelo, las cuales fueron interpoladas a toda el área mediante el empleo de técnicas de interpolación y el SIG. A partir de estas caracterizaciones se realizaron una serie de cruzamientos de información usando el mapa de unidades geomorfológicas como base para la obtención de las unidades naturales, las cuales se analizaron por medio de estadística multivariada mediante el análisis de *cluster* y el análisis de componentes principales. Los resultados generaron 84 unidades geomorfológicas agrupadas en nueve clases: Superficie cumbral de abanico volcánico (Scav); Hombro de ladera de barranco (Hlb); Dorso de ladera de barranco: superior (Dlbs), medio (Dlbm), medio-inferior (Dlbmi), inferior (Dlbi) y no diferenciado (Dlbnd); Piedeladera de barranco (Plb) y Pared de *talweg* (Pt). En los cuales la pendiente predominante es de 16° a 32° en el 80% del área. La caracterización de la vegetación generó 84 unidades que se distribuyen en las clases geomorfológicas de la siguiente manera: En la (Scav) al (Dlbs) el tipo de vegetación dominante es el pastizal inducido (Pi) con el 40% de dominancia y el 50% en el (Dlbm) al (Dlbmi). En (Dlbi) se nota una clara presencia de la selva baja caducifolia densa (Sbc(d))

ya que abarca el 32% del área. En el (Plb) y la (Pt) domina la selva baja caducifolia densa (Sbc(d)) y poco densa (Sbc(pd)) en un 30% en ambos casos. La composición florística está representada por 42 familias, 98 géneros y 153 especies, siendo Leguminosae la familia representativa con 25.5% de las especies, seguida de Asteraceae con el 15 %. Las especies con mayor valor de importancia son: *Chiococca alba*, *Ateleia*, *pterocarpa*, *Bursera fagaroides*, *Euphorbia schlechtendalii*, *Lantana hispida*, *Quercus glaucoides*, *Salvia sessei* y *Acacia farnesiana* por lo tanto la estructura de la vegetación esta representada por un número bajo de especies. La caracterización edáfica esta en estrecha relación con las condiciones mismas del relieve y la cobertura vegetal. Se presentan suelos con compactación fuerte en las unidades naturales de la Scav, el Hlb, el Dlbs, el Dlbn y el Dlni, (sitios de fácil acceso al ganado), sin embargo los datos resultantes de la estructura y densidad aparente y real indican que el impacto de este factor es mitigado, se infiere, por la cobertura vegetal de pastos. Los tipos de pendientes contribuyen a que la profundidad sea somera y a su pérdida por medio de la erosión hídrica y de procesos de remoción. Los suelos localizados a partir del dorso de ladera de barranco inferior a la pared de *talweg*, tienen una mejor calidad, debido a que en estas áreas se alberga la vegetación más conservada, contrariamente a las unidades localizadas en las partes medias y altas de la ladera. La integración de los factores ambientales por medio del análisis de *cluster* está representado por seis agrupaciones, cuya asociación se observó fue por su posición en la ladera, así como por su forma de relieve, y las variables químicas-físicas del suelo. Se clasificaron 84 unidades naturales, a partir del mapa de unidades geomorfológicas. De estas por sus condiciones, cincuenta y uno se proponen para una restauración y treinta y tres para conservación con base en sus características de relieve, suelo y vegetación. La restauración de las unidades naturales, se sugiere esté encaminada hacia la revegetación con especies nativas. En aquéllas con pendientes fuertes se puede llevar a cabo la introducción de especies de *Agave* y *Opuntia* nativas, ya que son recomendables por atenuar la erosión del suelo; para las unidades que se encuentran en las áreas bajas de las laderas, por las condiciones favorables que mantienen, como la profundidad en el suelo, la textura franco arcillo-arenosa a franca, mayor humedad, pH moderadamente ácidos y MO medias, se sugiere el establecimiento de especies de selva baja, entre ellas se recomiendan a las Leguminosas. La propuesta de manejo de las unidades naturales hacia la conservación es

debido a que estas mantienen una buena calidad en las propiedades del suelo y además de que en ellas se encuentran los remanentes de vegetación más conservadas.

### **Abstract**

The Ecological Restoration Station of the Ravine of The Tembembe River (ERSRTR) is located within the volcanic piedmont of The Glacís of Buenavista, Morelos. It extends 97 ha along the barranco walls of the Tembembe River. The greatest extension of the area is grasslands and there are only remnants of relatively conserved seasonally dry forest vegetation with oaks and junipers as well as riverside vegetation. In the ERSRTR historically there has been a high rate of land use change as well as much degradation; thus, a focus has been placed on the area with goals of ecological restoration research. Taking this into consideration, it was proposed to carry out an environmental diagnostic of the natural units of the ERSRTR, taking into account the three fundamental environmental factors: relief, soil, and vegetation. A geomorphological characterization was carried out using photo-interpretation and GIS. The vegetation characterization was generated from photo-interpretation as well as field samples that allow us to know floristic composition and basic structural components, as well the edaphic characterization that resulted from lab analyses of physical and chemical soil properties. They were interpolated for the entire area by means of using interpolation techniques within a GIS environment. Using those characterizations, a different layer overlay procedures were applied using the geomorphological units map as a framework to obtain natural units (environmental biophysical units), which were analyzed using multivariate statistics: cluster analyses and principal component analyses. Results generated 84 geomorphological units grouped in 9 classes: Summit of volcanic fan (Scav); shoulder of slope of barranco wall (Hlb); backslope of barranco wall Upper (Dlbs), Medium (Dlbn), Medium-Lower (Dlbmi), Lower (Dlbi) and Non-Differentiated (Dlbnd); Toeslope of barranco wall (Plb) and Talweg wall (Pt). The predominant slopes goes from 16° to 32° in 80% of the study area. The vegetation characterization generated 84 units that are distributed in the same geomorphological classes as the following way: In the Scav and Dlbs predominates induced the grassland vegetation type with 40% of dominance and 50% of dominance in the Dlbn and Dlbmi. In the Dlbi, a clear presence of dense seasonal dry forest Sbc(d) is noted and covers 32% of the area. In

Plb and Pt, dense and slightly dense seasonal dry forest dominates with 30% in both cases. The floristic composition is represented by 42 families, 98 genus and 153 species. Leguminosae is the representative family with 25.5% of the species, followed by de Asteraceae con el 15 %. The species with the highest values of importance are: *Chiococca alba*, *Ateleia pterocarpa*, *Bursera fagaroides*, *Euphorbia schlechtendalii*, *Lantana hispida*, *Quercus glaucoides*, *Salvia sessei* y *Acacia farnesiana* and, therefore, the vegetation structure is represented by a lower number of species. The edaphic characterization allowed us to find a close relationship between relief and vegetation cover. Very compacted soils were found in natural units of Scav, Hlb, Dlbs, Dlbn and Dlni (sites with easy access to livestock), however, structure and bulk and real density indicate that the impact of those factors is mitigated by the grassland cover. The abrupt slope inclination contributes to the existence of a shallow soil depth and its soil loss by runoff erosion and mass movement processes. Soils located from the lower backslope of barranco wall to the *talweg* wall have a better level of quality due to the fact that in these areas, the most conserved vegetation is found, on the contrary way resulted the units located on upper and medium backslope of barranco wall. Relationships of environmental factors per natural unit within the cluster analysis resulted in six groups, whose association was due to slope position, relief, and chemical-and physical soil properties. 84 natural units were classified using the geomorphological unit map. Fifty-one of such units require restoration actions and thirty-three units, require to be in a conservation status, based on relief, soil, and vegetation characteristics. It is suggested that restoration practices must be focused on re-vegetation techniques with native species. On such steep slopes it is possible to introduce native *Agave* and *Opuntia* species, due they are recommended to diminish soil erosion. For the units located on the lower slope parts, due its own favorable conditions that are maintained there, such as soil depth, textures from loamy clayed-sandy to loamy, greater humidity content, moderately acid pH and a medium amount of organic matter, the establishment of the seasonal dry forest species is suggested, among them, Leguminosae. The management proposal for the natural units toward conservation is based on maintaining good soil properties quality and considering that such units have the remnants of the more conserved vegetation.

# Capítulo 1

## 1.1. Introducción

A pesar de que el estado de Morelos es una de las entidades más pequeñas de la República Mexicana, presenta una gran variedad de ambientes ecológicos, debido a que se pueden encontrar dentro de su territorio distintos tipos de rocas y de suelos, relieves y climas (Aguilar, 1999). Esta heterogeneidad ambiental ha propiciado la presencia de una gran diversidad de especies de flora y fauna. Sin embargo, históricamente también se ha registrado una alta tasa de cambio en el uso del suelo, así como la degradación de muchas áreas con vegetación (Trejo y Dirzo, 2000).

Tal situación se presenta en la Estación de Restauración Ecológica “Barrancas del Río Tembembe”, localizada al norte del poblado de Cuentepec, en el Estado de Morelos, en donde gran parte de la vegetación original ha sido sustituida por pastizales, quedando sólo algunos remanentes de vegetación relativamente poco alterados de asociaciones de selva baja caducifolia con encinares, así como vegetación ribereña a lo largo del cauce (Trejo, 1998; Bonfil *et al.*, 2004). Incidir en la restauración ecológica de este sitio debe partir de reconocer el estado ambiental del sistema, para la planeación y aplicación adecuada de herramientas que posibiliten estas acciones.

Es por ello que para diseñar y llevar a cabo medidas que permitan influir de manera directa en áreas con distintos grados de degradación y en aquéllas que aún se conserven, es necesario contar con una caracterización biofísica a nivel local que lleve a generar un diagnóstico ambiental sólido. Los modelos espaciales son una herramienta útil en la planeación de las acciones encaminadas a contrarrestar los procesos degradativos de un área, así como para mantener aquéllas que se encuentren en mejor estado de conservación, pues permiten identificar unidades ambientales naturales (López-Blanco y Villers-Ruiz, 1998), en las cuales se puede aplicar un manejo determinado de acuerdo con sus características específicas.

Considerando lo anterior, en este trabajo se planteó llevar a cabo el diagnóstico ambiental de las unidades naturales de la Estación de Restauración Ecológica “Barrancas del Río Tembembe” (EREBRT), tomando en cuenta tres factores ambientales fundamentales: el relieve, el suelo y la vegetación. La integración de la información de dichos factores permitirá comprender las relaciones de los procesos biofísicos del sitio y a la vez proporcionará información detallada de

las condiciones de las unidades naturales, con la finalidad de que en un futuro inmediato se diseñen acciones específicas para el manejo, la conservación y la restauración del área.

## **1.2. Justificación**

Esta investigación forma parte del “Programa de Rescate, Restauración y Conservación de las Barrancas del Río Tembembe” coordinado por el CRIM-UNAM (Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias – Universidad Nacional Autónoma de México). Con este trabajo se pretende identificar, mediante la caracterización por grupos semejantes de unidades naturales, los principales problemas ambientales presentes y finalmente constituir bases conceptuales que contribuyan a su mitigación, así como brindar un marco de referencia para futuras investigaciones en la zona.

El sobrepastoreo y la pérdida de la vegetación natural en el noroeste de Morelos (Aguilar, 1999; UNICEDES, 1999) han contribuido a incrementar los procesos de erosión del suelo, lo cual ha repercutido en la infiltración del agua de lluvia, provocando un impacto negativo en la recarga del acuífero “Cuernavaca”, una mayor transportación y depositación de sedimentos en ríos y otros cuerpos de agua cuenca abajo (Salgado, 1989), la reducción de la productividad de la tierra y de la diversidad de plantas y animales (Myers, 1989 citado en Pimentel y Kounang, 1998). Por lo anterior es de suma importancia llevar a cabo investigaciones que contribuyan al conocimiento detallado de las características del medio físico y biológico de la EREBRT, con el fin de implementar estrategias específicas de manejo para cada unidad ambiental.

## **1.3. Objetivos**

1. Determinar, a partir de criterios geomorfológicos y la integración de los componentes biofísicos del ambiente, las unidades naturales en el área de la Estación de Restauración Ecológica “Barrancas del Río Tembembe” (EREBRT).

a) Delimitar por fotointerpretación las unidades geomorfológicas y de vegetación de la EREBRT.

b) Caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo de las unidades naturales de la EREBRT.

c) Identificar las diferencias en composición y estructura de la vegetación relacionados con las características de las unidades geomorfológicas.

d) Representar espacialmente las unidades geomorfológicas y de vegetación, así como la distribución de las variables físicas y químicas del suelo de la EREBRT.

e) Integrar los componentes biofísicos de la EREBRT, a través de un análisis multivariado.

2. Realizar un diagnóstico ambiental de las unidades naturales, como base para una propuesta de restauración ecológica y/o conservación de la EREBRT.

#### **1.4. Características fisiográficas del área de estudio.**

##### *1.4.1 Localización geográfica*

La Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe (EREBRT) está constituida de dos laderas principales (con orientación este y oeste) y cuenta con una superficie de 97 ha de propiedad comunal y ejidal, que corren a lo largo de las márgenes del río Tembembe. Su gradiente altitudinal va de los 1,500 a los 1,700 m s.n.m. Se encuentra inmersa dentro del piedemonte volcánico Glacís de Buenavista, que corresponde a la porción noroccidental del estado de Morelos y sureste del estado de México (Ortiz, 1978). La EREBRT se localiza en el Municipio de Temixco (Morelos), entre los poblados de Cuentepec, al sur y Ahuatenco, al norte, perteneciente este último al municipio de Ocuilán de Arteaga, estado de México; las coordenadas geográficas en las que se ubica son: 99°20'03'', 99°20'45'' longitud oeste y 18°53'21'', 18°55'16'' latitud norte (INEGI, 1998) (Fig.1.1).

##### *1.4.2 Geología y edafología*

El área de estudio pertenece a la formación Cuernavaca, que consiste en afloramientos de rocas ígneas intrusivas y extrusivas (Fries, 1960), cuya edad abarca del Plioceno superior al Cuaternario (Ortiz, 1978). El tipo de rocas predominantes en las laderas de la EREBRT, es de

depósitos piroclásticos de flujo y de caída ó tobas, asociados con depósitos de flujos de derrubios y lahares.

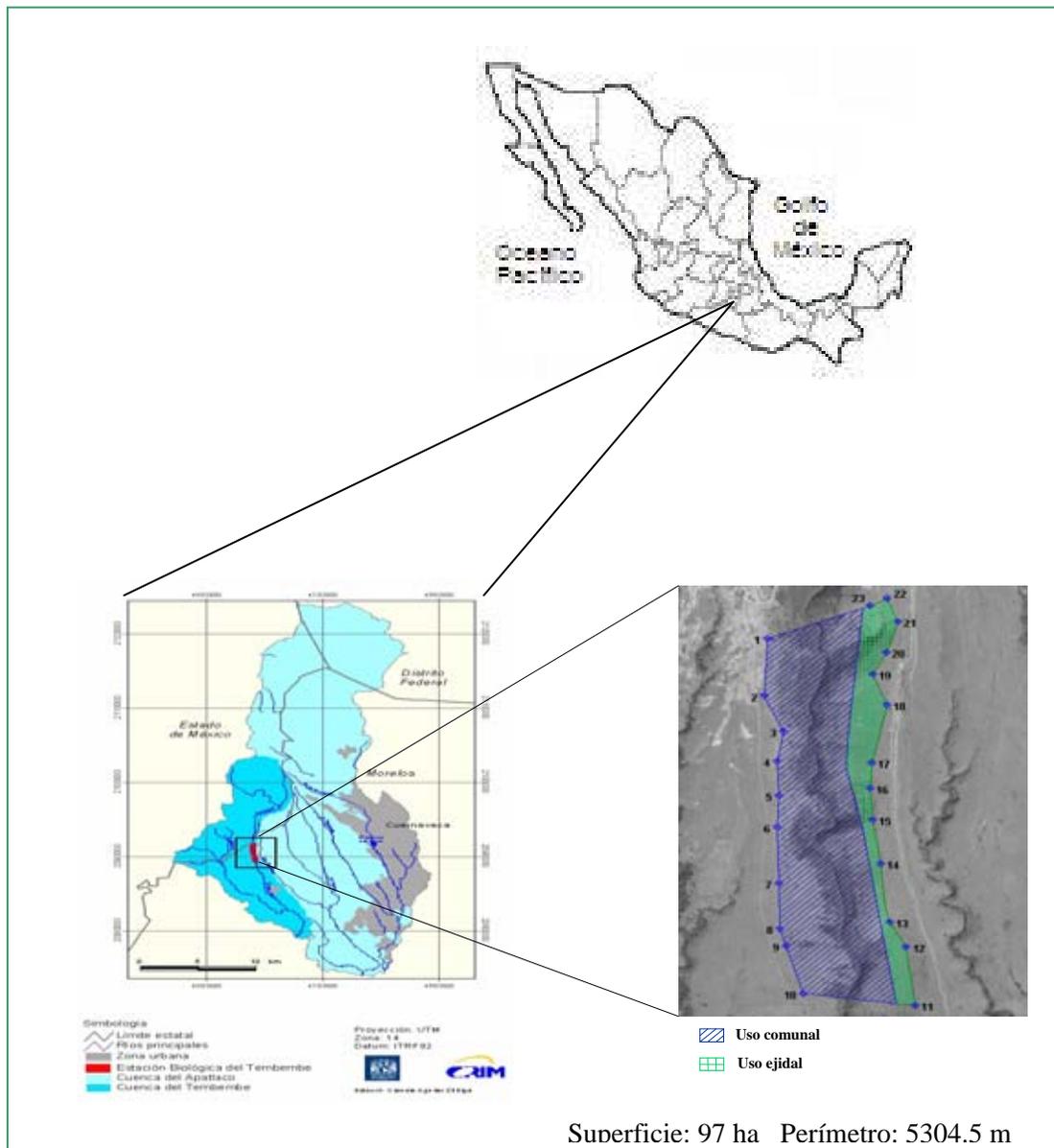


Fig.1.1 Localización de la Estación de Restauración Barrancas del Río Tembembe (Tomado de Bonfil *et al.*, 2004).

De acuerdo con el sistema de clasificación de la FAO/UNESCO (1970), modificado por Cetenal (1976a), la EREBRT presenta como unidad de suelo dominante al Phaeozem háplico, la ladera *oeste* de la estación presenta lecho rocoso entre los 10 y 50 cm de profundidad. En la cima, hombro y dorso de las laderas (Fig. 1.2), se reconoció a la unidad de suelo Leptosol (Vela-

Correa, 2007, comun. personal); estos suelos se caracterizan por tener una profundidad menor a 25 cm seguida de una capa continua cementada, de tipo *duripán*, un alto contenido de fragmentos gruesos y poca humedad disponible (WRB, 1999). En las partes bajas de la ladera como es el piedeladera y la pared de *talweg* (Fig.1.2), (ésta última es el área de la cabecera de la ladera antes de hacer contacto con el cauce), se reconoció al Phaeozem (Vela-Correa, 2007, comun. personal) suelo con una capa superficial blanda de color oscuro, rica en materia orgánica y nutrimentos (Aguilera, 1989). Así el suelo de la cima, hombro y el dorso de la ladera difieren del que se encuentra en el piedeladera y pared de *talweg*, aunque estos tipos de suelo descansan sobre la misma roca basal.

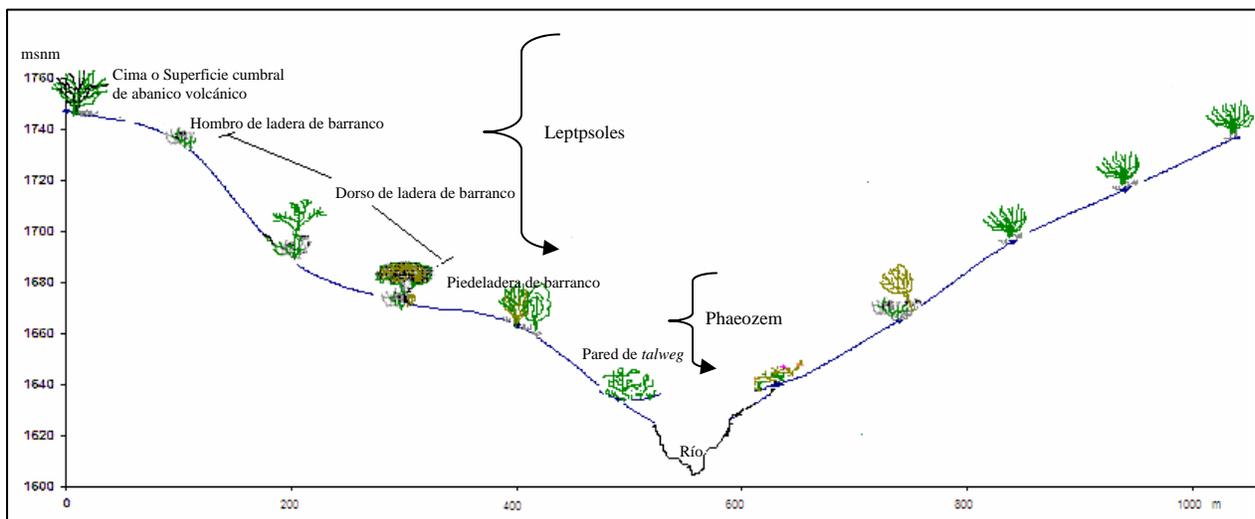


Fig. 1.2. Representación de las unidades de suelos en los distintos componentes de las laderas de la EREBRT (Elaboración propia).

### 1.4.3 Hidrología

La EREBRT pertenece a la cuenca del Río Tembembe, la cual se localiza al noroeste del estado de Morelos y al sureste del estado de México, cuenta con una superficie de 32,535 ha, y una longitud de 45.17 km con un ancho promedio de 16.03 km. La cuenca es de tipo exorreica y pertenece a la Región Hidrológica No. 18 Río Balsas, en la cuenca río grande de Amacuzac 18FF (subcuenca intermedia, Río Alto Amacuzac); la corriente principal es afluente derecho del Río Balsas y se origina en el Nevado de Toluca a una altitud de 2,600 ms.n.m. (Gómez, 2003). El río Mexicapa desciende de la Sierra de Ocuilán, nombre que recibe el río Tembembe en la parte que corresponde al Estado de México, cambiando a Tembembe en el contacto litológico de las formaciones de Tepoztlán y Cuernavaca; este río es el que separa a las laderas de la EREBRT. En

la parte occidental del glacís de Buenavista, se une al río Chalma después de cruzar Mazatepec, para posteriormente internarse en la cuenca del Alto Amacuzac (Aguilar, 1990).

#### 1.4.4 *Clima*

Camacho *et al.* (2006), reportan datos provenientes de las estaciones meteorológicas de los poblados de Ahuatenco al norte y Cuentepec al sur, de la EREBRT. En la estación meteorológica de Ahuatenco se registra una temperatura media anual de 17.5°C y una precipitación anual de 1,166 mm, cuyo clima es el templado subhúmedo (el más húmedo de los subhúmedos) Cb(w<sub>2</sub>)(w)(i)g, mientras que los datos de la estación meteorológica de Cuentepec presentan un clima semicálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos A(C)wo(w)w''(i')g con una precipitación anual de 961 mm y una temperatura media anual de 21.6°C. En ambos sitios se presenta una estacionalidad de lluvias marcadas con una época de secas de noviembre a mayo. Estos poblados se encuentran en la porción media del glacís de Buenavista, en cuya área Ortiz (1978), reporta un clima semicálido el más cálido de los climas templados con temperatura media anual de 18°C con sequía intraestival, o sea una disminución de la lluvia durante el verano.

#### 1.4.5 *Vegetación*

La zona del glacís de Buenavista está surcada por numerosas barrancas, que descienden en paralelo desde la sierra de Zempoala hasta la sierra de Xochicalco; en la parte norte de este espacio se encuentran bosques templados y en su parte sur Selva Baja Caducifolia. Camacho *et al.* (2006), reportan que la estructura y composición para la subcuenca media alta del río Tembembe está compuesta de tres comunidades vegetales: Bosque de Coníferas, *Quercus* y remanentes de Selva Baja Caducifolia. En las laderas de las cañadas se conserva mejor esta última asociación vegetal y en los fondos se conservan frondosos bosques ribereños (Aguilar, 1999). Fuera de las cañadas, la mayor parte de los bosques fueron arrasados por los ingenios azucareros a finales del siglo pasado y en la actualidad son terrenos de muy baja productividad. De acuerdo con CETENAL (1976b), los tipos de vegetación que comprende a las laderas de la EREBRT es la Selva Baja Caducifolia, el Bosque de *Quercus* y el Pastizal inducido. A lo largo del río Tembembe la vegetación ribereña es una comunidad florística y ecológicamente importante.

## **Capítulo 2. Antecedentes**

### ***2.1 Establecimiento de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe***

La población de Cuentepec, se ubica en el municipio de Temixco en el estado de Morelos. Es una comunidad indígena descendiente de los tlahuicas, ellos son los únicos en el estado que preservan y reproducen cotidianamente la lengua náhuatl y otras múltiples tradiciones indígenas. La tenencia de la tierra es ejidal y comunal y el principal uso del suelo es la agricultura de temporal; también es aprovechada la humedad de las orillas del río Tembembe por algunos ejidatarios para una segunda siembra al año. En las tierras de uso común todos los comuneros pueden hacer uso de los pastos, los agostaderos, los cerros y las zonas forestales. En los agostaderos al N de Cuentepec pasta ganado bovino, tanto de ganaderos de la comunidad de Cuentepec como de Ahuatenco (comunidad que pertenece al estado de México). Estas dos comunidades establecieron en el pasado un convenio (de índole injusta piensan algunos ganaderos de Cuentepec) por el que se permite el pastoreo del ganado de la comunidad de Ahuatenco en tierras de Cuentepec a cambio de que la comunidad de Ahuatenco, que se localiza cuenca arriba, permita el paso del agua del manantial que abastece al pueblo de Cuentepec (Landazuri, 1997)

En la actualidad la comunidad de Cuentepec se encuentra sujeta a importantes procesos de cambio, ya que parte considerable de su población realiza trabajos (principalmente de construcción y servicio doméstico) en la ciudad de Cuernavaca; también se ha incrementado el flujo migratorio hacia los Estados Unidos, por lo que el trabajo agrícola ha disminuido y con ello el abandono de áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería (Landazuri, 1997), además de presentarse un panorama preocupante de áreas extensas con un alto índice de erosión, debido a la deforestación asociada al establecimiento de pastizales que frecuentemente registran sobrepastoreo (IMTA, 1999). La CONABIO, 2006, reporta que el deterioro ecológico como lo es la erosión del suelo y la pérdida de la fertilidad repercute directamente en la disminución de la calidad de vida de una población y la capacidad de resiliencia del ecosistema.

Los actores externos han jugado un papel importante en Cuentepec. Con la idea de aliviar la pobreza extrema, las acciones gubernamentales han girado en torno a cubrir algunas carencias individuales y colectivas, sin éxito en la resolución de los múltiples problemas del pueblo, debido al corto tiempo de aplicación de los programas sectoriales; sin embargo la administración de los

propios comuneros de sus recursos naturales se ha manifestado en una mejor opción (Landazuri, 1997).

Después de un amplio proceso de diálogo, la comunidad y el ejido de Cuentepec otorgaron en comodato a la UNAM por treinta años, parte de sus tierras (97 ha) de uso común, ubicadas en los taludes del río Tembembe, para el establecimiento de la Estación de Restauración Ecológica “Barrancas del Río Tembembe” (EREBRT), el 7 junio de 2003 (Bonfil *et al.*, 2004). Por las condiciones ambientales de deterioro presentes en la EREBRT, la UNAM a través del CRIM (Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias), planteó como objetivos a cumplir, llevar a cabo investigaciones que permitan la recuperación de los servicios ambientales y productivos que se han perdido; implementar programas multidisciplinarios que impulsen y generen condiciones de educación ambiental y calidad de vida, que permitan a la población, al cabo de 30 años, aprovechar y manejar en forma sustentable los recursos terrestres y acuáticos de las barrancas y a largo plazo establecer en la EREBRT un área natural protegida comunitaria (CRIM, 2003).

Para cumplir con los objetivos, se están realizando proyectos integrales y multidisciplinarios sobre planeación estratégica de restauración y conservación de la biodiversidad, hidrología y dinámica de las comunidades vegetales, economía ambiental y formación de valores ciudadanos, en las cuales participan diversos investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Fijación de Nitrógeno, Instituto de Biotecnología, Centro de Investigaciones en Energía, Facultad de Ciencias, Instituto de Biología, Instituto de Geografía e Instituto de Ecología. Para la Maestría en Biología Ambiental orientada a Restauración Ecológica desarrollada por el Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM es de interés inmediato contar con espacios permanentes, como lo es la EREBRT, para la enseñanza e investigación bajo la cobertura de proyectos de restauración ecológica continuos y de largo plazo (Bonfil *et al.*, 2004).

## ***2.2 Trabajos de referencia***

Los estudios de diagnóstico ambiental son esenciales en proyectos que pretenden incidir en el conocimiento y manejo de los recursos naturales, ya que aportan información acerca del impacto

que han tenido las actividades humanas en la fragmentación de los ecosistemas y la biota en general (López-Galindo *et al.*, 2003). Hasta la fecha no se habían llevado a cabo en el área estudios de integridad biofísicos (estudios que relacionan factores físicos y biológicos de un ecosistema), debido al reciente establecimiento de la Estación de Restauración Ecológica. Sin embargo, entre los trabajos que describen la geomorfología, la edafología así como la estructura de la vegetación del área del Glacís de Buenavista, lugar de piedemonte volcánico donde el área de interés se encuentra inmersa se tienen los siguientes:

Escamilla *et al.* (2002), estudiaron los tepetates del Glacís de Buenavista, los cuales consideran productos no solo de procesos de erosión y sedimentación, sino también de pedogénesis, llegando a la conclusión de que son paleosuelos con diferente grado de desarrollo. Solleiro-Rebolledo *et al.* (2002) se enfocaron en la distribución espacial y propiedades de los tepetates -asociando suelos y paleosuelos- para entender las condiciones paleoambientales y procesos de formación que determinan el funcionamiento del sistema, encontraron estabilidad de suelos en los sitios con vegetación densa, mientras que en zonas de cultivos observaron erosión acelerada, que se manifiesta en la destrucción rápida de la parte superior del perfil del suelo, dando lugar a la exposición de tepetates que conlleva a la degradación de la tierra.

Martínez y López-Blanco (2005), delimitaron y caracterizaron unidades ambientales biofísicas en el Glacís de Buenavista, aplicando criterios geomorfológicos analíticos y sintéticos, para entender en un sentido integral las interacciones y causas que determinan las condiciones ambientales actuales. Ortiz (1978) estudió los principales rasgos geomorfológicos del Glacís de Buenavista, haciendo una relación del desarrollo evolutivo con los cambios climáticos que se suscitaron en el Cuaternario; su estudio permite enfatizar también que la historia geomorfológica del glacís muestra la presencia antrópica en el medio, dirigiendo sus acciones al desequilibrio tanto del sistema morfoclimático como del ecosistema, al deforestar las áreas boscosas reemplazándolas por cultivos de temporal y pastoreo intenso en algunos sitios, lo cual provocó la degradación de los suelos.

En cuanto a investigaciones sobre la estructura y composición de la vegetación ribereña en el área, destacan el de Camacho *et al.* (2006), quienes caracterizaron la vegetación ribereña del fondo de la barranca del río Tembembe, encontrando que el gradiente biológico está

estrechamente relacionado con el gradiente altitudinal, ya que se registró una comunidad en la parte alta muy distinta florística y estructuralmente de la comunidad de la parte baja y una comunidad intermedia que presenta elementos florísticos y condiciones ambientales de las dos comunidades.

Una descripción detallada de la estructura y composición de la vegetación de selva baja caducifolia de la región en diferentes estados de conservación se encuentra en Piña (2005). Sotelo (2006) hizo un listado de la flora arborea del municipio de Temixco.

Por otro lado entre los estudios referentes a la delimitación de unidades naturales con base en aspectos geomorfológicos se pueden mencionar los de López-Blanco y Villers-Ruiz (1998) y Villers-Ruiz *et al.* (2003), quienes realizaron la delimitación de unidades ambientales biofísicas mediante la aplicación de un enfoque geomorfológico y la utilización de un SIG, para el ordenamiento territorial de los Cabos, Baja California Sur. El análisis con estadística multivariada les permitió establecer que la variable de mayor influencia en la separación por grupos de unidades es la pendiente del terreno; además argumentan que estudios de paisaje analizan como principales factores las formas del relieve y la vegetación, por reflejar importantes aspectos ambientales como el suelo y el clima. Otra investigación relevante por su aproximación a la definición de Unidad Natural es la de Arellano (2001), quien delimitó unidades ambientales por medio de la regionalización geomorfológica, completando la información del relieve con la geología, la edafología, el clima y la vegetación de una zona de Oaxaca. Por otra parte Bocco *et al.* (1999), Bocco *et al.* (2005) y Fuentes y Bocco (2006) se han enfocado en la evaluación de atributos y limitaciones ambientales de unidades de paisaje mediante la regionalización geomorfológica, como base para la regionalización ecológica, ya que el conocimiento del medio físico se vuelve esencial para el desarrollo de comunidades y pueblos que desean llevar a cabo un manejo adecuado de sus recursos. La caracterización geomorfológica de barrancos ha sido abordada por Pardo y Palomar (2002), quienes a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) obtuvieron perfiles transversales de barrancos y parámetros morfométricos para su caracterización. Zhou y Takashi (2006) también han empleado el MDE para realizar la descripción topográfica de parteaguas montañosos a partir de perfiles longitudinales y transversales, obteniendo parámetros morfométricos básicos que muestran cambios abruptos en la topografía general del parteaguas y diferencias locales en el desarrollo de los cauces.

En cuanto a las investigaciones orientadas a la restauración ecológica de la EREBRT, hasta la fecha se han realizado diversos trabajos, entre los que sobresalen los de Tobón (2005), Galindo (2006), Ulloa Nieto (2006), Sánchez Romero (2007) y Ayala-García (2008).

### ***2.3 Regionalización ambiental***

Existen varios enfoques que permiten desarrollar esquemas de regionalización cuyo objetivo es evaluar el territorio con fines de planificación físico-geográfica (Mendoza, 1997). Un enfoque de regionalización desarrollado en México es la regionalización propuesta por SEDUE (1988), la cual se basa en cinco jerarquías que brindan información sobre el medio biofísico a través de un enfoque paisajístico o morfológico, a partir de imágenes de satélites, fotografías aéreas y cartografía temática (Mendoza y Bocco, 1998).

La estructura de dicha regionalización ecológica está basada en la escala de representación. En el Cuadro 2.1 se muestra esta categorización. La delimitación de las unidades naturales de esta investigación toma como referencia los criterios de definición de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), en particular la quinta jerarquía que es la unidad natural, la cual corresponde a la topoforma individual, que cuando se asocia con otras similares o de origen común conforman un paisaje, aunque puede poseer una morfología contrastante con las topoformas adyacentes; también puede constituir un elemento (ladera, fondo de ladera, etc.) de una geoforma extensa y compleja (SEDUE, 1986). Desde el punto de vista integral se le puede considerar como un espacio geográfico homogéneo en cuanto a su fisonomía y composición, con un patrón de estabilidad temporal, que resulta de la interacción compleja del clima, las rocas, el agua, el suelo, la flora, la fauna y el ser humano, cuyo grado y complejidad de interacción entre éstas les confiere rasgos distintivos en cuanto a la geoforma y la cobertura vegetal ya sea natural o transformada, así como la fauna que mantienen (Etter, 1990). La clasificación de la SEDUE, según Bocco *et al.* (1996), no es jerárquica ni taxonómica debido a la falta de coherencia entre las variables que se utilizan para los diferentes niveles y a que no se tienen definidos los criterios que conectan a los niveles subsiguientes.

Cuadro 2.1. Estructura de la regionalización ecológica para el ordenamiento ecológico (SEDUE, 1988).

<b>UNIDAD AMBIENTAL</b>	<b>CRITERIOS DE DEFINICIÓN</b>	<b>MÉTODO DE DEFINICIÓN</b>	<b>ESCALA DE REPRESENTACIÓN</b>
Zona	Clima (macroclima)	Cartografía temática	1:15,000,000-1:1,000,000
Provincia Ecológica	Geomorfología	Cartografía temática	1:1,000,000-1:500,000
Sistema Terrestre	Geomorfología	Cartografía temática Imagen de satélite	1:500,000-1:250,000
Paisaje terrestre	Geomorfología Hidrología Vegetación	Cartografía temática Imagen de satélite Fotografía aérea	1:250,000-1:50,000
Unidad Natural	Geomorfología Hidrología Vegetación Edafología	Fotografía aérea Trabajo de campo	1:50,000- 1: 10,000

Otro enfoque de regionalización en el que se sustenta el presente trabajo para la delimitación de las unidades naturales, es el desarrollado a nivel internacional, llamado levantamiento geomorfológico, el cual se basa en un enfoque de carácter estrictamente geomorfológico, denominado Sistema de Levantamiento Geomorfológico, establecido por el Instituto de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC), de los Países Bajos (Verstappen y Van Zuidam, 1991), el cual ha sido reconocido como una estrategia útil para la delimitación de unidades físico-ambientales. Van Zuidam (1986), define tres niveles de levantamiento geomorfológico, el de reconocimiento, el de semi-detalle y el detallado, este último requiere de mapeo en escalas grandes y medianas, así como de una intensa verificación de campo.

El levantamiento geomorfológico permite el mapeo de unidades, que se lleva a cabo en cuatro niveles de jerarquización, los cuales se enfatizan en los diferentes aspectos de la geomorfología y del uso potencial de la geoforma (Van Zuidam, 1986). Los niveles son los siguientes:

1. Provincia de terreno. Escala de mapeo menor a 1:250,000
2. Sistema de terreno. Escala mayor a 1:250,000
3. Unidad de terreno. Escala entre 1:10,000-1:100,000
4. Elemento o componente del terreno. Escala 1:10,000 o mayor.

En el contexto de la regionalización ambiental el aporte de la geomorfología [ciencia dividida en cuatro disciplinas, entre ellas la geomorfología ambiental, encargada del estudio del relieve y sus interacciones con los elementos biofísicos del medio (Verstappen, 1983)] es proveer una base cartográfica, por medio de la cual se realicen fragmentaciones de un territorio para la obtención de unidades de mapeo a partir del análisis del relieve (Tricart y Kiwietdejonge, 1992). La

elaboración de los mapas geomorfológicos tiene tres etapas principales: a) la fragmentación del terreno en unidades (análisis del relieve); b) el registro o inventario de los tipos de relieve, procesos, rasgos de interés y condiciones ambientales y c) la propuesta de una acción concreta con base en el análisis realizado. Por ello deben ser considerados como documentos científicos que simbolizan y expresan los elementos más importantes del relieve así como su condición actual (Verstappen y Van Zuidam, 1991). Los mapas geomorfológicos-morfogénéticos, resultado de un levantamiento geomorfológico, se refieren a las formas del terreno en su distribución espacial, donde la identificación de las formas del relieve se basa en su origen de formación. La morfología y la morfogénesis difícilmente separables se representan en forma de unidades geomorfológicas, las cuales representan formas del relieve con un patrón de componentes similares (Verstappen y Van Zuidam, 1991).

López-Blanco y Villers-Ruíz (1998) proponen que la delimitación de unidades naturales debe realizarse mediante un enfoque geomorfológico-morfogénético, debido a que este enfoque ha sido considerado por muchos autores como la estrategia más útil para la delimitación de unidades ambientales biofísicas, además de ser considerado como una de las principales fuentes de información para el conocimiento integrado del ambiente (Verstappen, 1977 y 1983; Verstappen y Van Zuidam, 1991). El procedimiento que sigue este enfoque es de tres fases: 1) recopilación de información; 2) fotointerpretación, procesamiento y análisis con el SIG y 3) obtención de los resultados y su verificación en campo. Arellano (2001), también hace hincapié en que la delimitación de unidades geomorfológicas complementadas con información de otros elementos del medio natural resulta en unidades sintéticas o unidades ambientales, cuya finalidad es la creación de una base geográfica aplicable en estudios multidisciplinarios que tengan como objetivo principal la realización de un diagnóstico ambiental que asegure el uso eficiente de los recursos naturales de una región, así también para el establecimiento de programas de recuperación ambiental, tales como la atenuación y el control de los procesos de erosión acelerada y la determinación de la aptitud de uso del suelo.

#### ***2.4 El empleo de los Sistemas de información Geográfica (SIG)***

Los SIG han sido definidos de diversas formas. Uno de los conceptos más completos es el propuesta por el *National Center for Geographic Information Analysis* (EE.UU.), que los define

como un sistema compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, analizar, modelizar y representar datos georeferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación (Comas y Ruiz, 1993; Rodríguez *et al.*, 2002).

Actualmente los SIG son una herramienta que se emplea en distintos campos de investigación, ya que se aplican a cualquier escala, además manejan una gran cantidad de variables y son capaces de superponer diferentes capas de información, integrarlas y analizarlas a través del tiempo (Willems y Díaz, 2006). Los SIG se utilizan en trabajos de ordenación ecológica debido a que son sistemas que integran información gráfica y alfanumérica, la cual una vez almacenadas permite un ágil procesamiento y análisis de la información (Bennema y Gelens, 1996).

López-Blanco (2005a) hace referencia a tres grandes categorías de campos de aplicación de los SIG: a) en la planeación y ordenamiento territorial, b) en estudios ambientales y c) en estudios económicos y sociales. En la actualidad algunos de sus enfoques se orientan hacia la identificación y el análisis de los patrones de distribución, así como en la elección de áreas naturales para su protección (Davis *et al.*, 1990, Tapia-Varela y López-Blanco, 2002), lo cual comienza a tener un gran auge.

El campo de aplicación de los SIG es muy amplio debido a las respuestas que proporcionan, como son: la representación original de los datos, los patrones de conducta y las predicciones sobre el comportamiento de la información (Aronoff, 1991). Además, la colección y generación de la información geográfica es una necesidad social con implicaciones en los ámbitos físico, económico y político. La utilidad de un SIG es mayor conforme el volumen de los datos y las variables a considerar sean más amplias y heterogéneas, de igual forma cuando el conjunto de funciones que se apliquen tengan mayor grado de complejidad. Sin embargo su empleo no asegura que los resultados obtenidos y su interpretación sean correctos, por ello se debe considerar si es necesario el empleo de esta tecnología, si los modelos a emplear son teóricamente consistentes y si la información de las variables consideradas es homogénea tanto en exactitud, como en nivel de detalle (López-Blanco, 2005a).

Entre las desventajas en la utilización de los SIG, Díaz *et al.* (1999) hacen notar el alto costo de la adquisición del *software*, el mantenimiento del sistema y la capacitación técnica para la captura y

transferencia de los datos, ya que los generadores de la información son parte integral del SIG. Sin embargo a largo plazo el beneficio es más grande que el costo, debido a que el SIG permite generar información válida para la toma de decisiones sobre la atenuación de los procesos degradativos del ambiente tanto en el ámbito regional como en el local (Rosete y Bocco, 2003).

## ***2.5 La restauración ecológica***

En 1985, durante un Simposio en el Arboretum de la Universidad de Wiconsin, se introdujo el concepto de *restauración ecológica* considerada como “investigación básica dirigida al perfeccionamiento de las técnicas ecológicas aplicadas” (Aber y Jordan III, 1985). Actualmente se define a la restauración ecológica como el proceso de apoyar la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004) para lo cual se deben establecer claramente los criterios a evaluar, teniendo en cuenta que la meta final de la restauración ecológica es facilitar la autorecuperación de los ecosistemas. Los primeros intentos de restauración de ecosistemas utilizaron el modelo de la comunidad clímax, enfatizando la productividad y la estabilidad como indicadores de la salud del ecosistema (Power, 2000). Más tarde McCoy y Mushinsky (2002) y Wilkins *et al.* (2003) sugieren que el éxito de la restauración puede evaluarse con base en las características de la vegetación, la diversidad de especies o los procesos ecosistémicos y de acuerdo con Hobbs y Norton (1996) la integración de diversas variables provee una mejor medida al éxito de la restauración.

La Sociedad Internacional de Restauración Ecológica (SER, 2004), sugiere que un ecosistema restaurado debe tener los siguientes atributos: 1) diversidad y estructura de la comunidad similares a los del ecosistema de referencia, 2) presencia de especies nativas, 3) presencia de los grupos funcionales necesarios para la estabilidad a largo plazo, 4) capacidad para sostener poblaciones reproductivas, 5) funcionamiento normal, 6) integración con el paisaje, 7) eliminación de amenazas potenciales, 8) resiliencia a los disturbios naturales y 9) auto-sustentabilidad. Estas medidas permiten por tanto una valoración del éxito de la restauración. Investigaciones realizadas por Ruiz y Mitchell (2005) indican que en la práctica diversos estudios utilizan medidas que son categorizadas en tres atributos del ecosistema: 1) la diversidad, medida usualmente por la riqueza y abundancia de especies, las cuales proveen información sobre la resiliencia del ecosistema; 2) la estructura de la vegetación, determinada por la cobertura vegetal

y su arreglo espacial, medida utilizada para predecir la dirección de la sucesión vegetal y 3) los procesos ecológicos, como los ciclos de nutrientes y las interacciones biológicas. Estos tres factores permiten indicar la trayectoria de recuperación de los ecosistemas restaurados.

En la restauración ecológica confluye por un lado la perspectiva de que los ecosistemas no se encuentran en estados estáticos de equilibrio, sino en flujo, con etapas sucesivas, por lo que ciertos tipos de disturbios forman parte de la dinámica normal de éstos y por otro, que el ser humano es parte actuante de los procesos que se suscitan en los ecosistemas, los cuales en muchos casos sobrepasan a los causantes naturales (Sánchez, 2005). La estabilidad de un ecosistema tiene dos componentes: a) la resistencia (capacidad de un ecosistema de hacer frente a una perturbación sin cambiar su estructura y dinámica, lo que depende de sus almacenes de materia y energía) y b) resiliencia (capacidad del ecosistema de regresar a su estado previo a una perturbación, determinado por sus tasas metabólicas), estos componentes permiten considerar que un ecosistema puede ser restaurado (Trudgill, 1979). La estabilidad depende de las características intrínsecas del ecosistema las cuales definen su resistencia y resiliencia y de las características de la perturbación como su intensidad, duración y el tamaño.

Márquez-Huitzil (2005) y Ruiz y Mitchell (2005) indican que en los trabajos de restauración se debe hacer énfasis en: terminar con la causa de la afectación, mitigar los efectos producidos por la misma, llevar al sistema a condiciones semejantes a las que se presentaban en algún estadio sucesional previo, reincorporar elementos bióticos o abióticos originales al sistema, obtener información ecológica básica de las interacciones suelo-vegetación y monitorear los trabajos de restauración, dirigiendo el proceso sucesional de manera congruente con el objetivo de ésta.

En la restauración ecológica se debe considerar incorporar los avances más recientes que ofrece la ecología, si se desea tener éxito en la implementación de prácticas que sean eficientes. Debido a la dificultad de llevar a la teoría ecológica al campo práctico, la restauración ecológica enfrenta un gran reto, al tratar de revertir las tasas de degradación y pérdidas de sistemas ecológicos de los que se sabe muy poco (Vega, 2005). Tradicionalmente los esfuerzos de restauración se han centrado en estimular la dinámica natural de la vegetación para que regrese a sus condiciones naturales por sí sola, siguiendo los modelos sucesionales clásicos (Prach *et al.*, 2001), sin embargo los resultados de la restauración son impredecibles, ya que los sistemas pueden seguir

caminos distintos a los considerados, lo cual puede deberse a que los ecosistemas degradados también son sistemas estables que tienen ciclos retroalimentados que los mantienen e impiden que se puedan transformar (Suding *et al.*, 2004).

### *2.5.1 Aspectos a considerar en los proyectos de restauración ecológica*

Higgs (1997) y Cervantes (2005) subrayan que la restauración es un asunto tanto ético como técnico, que requiere de la generación y sistematización del conocimiento así como de una visión amplia que incluye aspectos sociales, históricos, culturales, políticos, estéticos, morales y económicos cuya visión es necesaria en un nivel práctico. Zorrilla (2005) propone que las condiciones sociales que permiten ver las tendencias, relaciones y los conflictos que pueden influir en la restauración ecológica son: 1) historia, 2) indicadores sociodemográficos, 3) actores y relaciones entre ellos, 4) derechos de propiedad, reglas de uso, y normatividad, 5) políticas públicas y 6) actividades productivas y mercados. Estos aspectos deben tenerse presentes en la restauración ecológica de un espacio específico del territorio, con el fin de identificar vínculos entre los aspectos sociales y la alteración ambiental, e influir en esta última.

Cuando el entorno ha sido degradado por la acción humana y se pretende emprender un proyecto de restauración, se deben considerar los cambios que enfrentará la sociedad, ya que en muchas ocasiones se pretende aislar el área a restaurar, lo que puede generar un obstáculo a las actividades comunes locales y causar descontento y resistencia, efectos que se acentúan si la compensación obtenida por la restauración no se ve reflejada en la mejora de la vida local. Los proyectos de restauración se ven frenados parcial o totalmente, si las comunidades poseedoras de las tierras no perciben o comprenden totalmente los beneficios, que desde otros puntos de vista son importantes y viables (Cardona, 2005). La interacción de diversos actores con diferente grado de poder y con expectativas propias en el manejo del territorio, conlleva a implementar diversas acciones de restauración. Así, para que la restauración tenga un impacto positivo se debe involucrar a la sociedad y crear compromisos a largo plazo, acordes con la realidad cultural, social y económica de las comunidades humanas dueñas del territorio a restaurar.

### 2.5.2 La restauración ecológica en los sistemas tropicales.

Los bosques tropicales son sistemas ecológicamente importantes, debido a las implicaciones (pérdida de servicios ambientales) que la deforestación genera a nivel regional, así como por su reducción de hábitat y su fragmentación, que han repercutido en la pérdida de la biodiversidad y variabilidad genética (Saunders *et al.*, 1991).

La selva baja caducifolia (SBC), es el sistema tropical con mayor extensión en México. Se caracteriza por su marcada estacionalidad, ya que durante la época de lluvias (de 6 y hasta 8 meses de duración) presenta abundante follaje, el cual se pierde en temporada de secas (Dirzo, 1996; Trejo, 1998). El avance del deterioro ambiental de la SBC, está asociado al incremento de la población humana y a las actividades ganaderas, agrícolas y de extracción de madera para diversos usos. Las estimaciones potenciales de Rzedowski (1978), indican que la SBC cubría el 14% del territorio nacional y que para los años setenta ya se había perdido aproximadamente el 30% de su extensión original, mientras que para inicios de los años noventa, Trejo y Dirzo (2000) reportan que de los 160,000 km<sup>2</sup> de este ecosistema sólo el 27% se mantenía en buen estado, el 27% estaba alterado y el 23% se encontraba degradado, mientras que el resto había desaparecido. En el estado de Morelos la situación es similar, ya que del 60% de SBC que cubría la superficie del estado, para 1989 se habían perdido el 21% y de la superficie restante el 19% se mantenía relativamente conservado, el 17% alterado, el 31% degradado y el 33% había sido convertido en terrenos agropecuarios (Trejo y Dirzo, 2000).

En México la experiencia de restauración de ecosistemas tropicales es incipiente, en la actualidad los esfuerzos de investigación y de conservación se han concentrado en los bosques tropicales húmedos y se ha dado una menor importancia a la SBC, a pesar de que las tasas de deforestación y degradación son similares en ambos (Meli, 2003). La práctica de la restauración ecológica en bosques tropicales se ha abordado desde la perspectiva de la regeneración secundaria y la reversión de los procesos de degradación Meli (2003). De acuerdo con Holl *et al.* (2000) para que las estrategias sean efectivas, deben tener en cuenta todos los obstáculos posibles en la regeneración secundaria. El restablecimiento de bosques tropicales es factible ecológicamente, ya que la recolonización natural se ha observado (Uhl *et al.*, 1988), sin embargo las estrategias para

la restauración ecológica de estos ecosistemas difieren, debido a los aspectos ecológicos, socioeconómicos y políticos particulares de los sitios a manejarse.

La restauración de estos ambientes a partir del establecimiento de árboles de especies nativas ha sido una alternativa para acelerar los procesos de sucesión y regeneración natural; también se han usado especies exóticas siempre y cuando las especies nativas no tengan las condiciones para establecerse, además de la valoración-selección de las especies a introducir, ya que éstas pueden desplazar a las nativas y lejos de beneficiar afectarían al ecosistema. Se tiene actualmente conocimiento de los métodos de propagación de 54 especies arbóreas y arbustivas de especies nativas de SBC, entre las cuales destacan las leguminosas y las burseras (Vázquez-Yanez *et al.*, 1999; Cervantes *et al.*, 2001; Cervantes y Sotelo, 2002; Benítez *et al.*, 2004 y Bonfil *et al.* 2007).

### **Capítulo 3. Métodos**

La caracterización ambiental de la EREBRT, permitió realizar el diagnóstico ambiental del área, que resulta esencial para proyectos que pretendan incidir en el manejo de los recursos naturales. Con la realización del diagnóstico ambiental se contribuyó a la generación de conocimiento básico del sitio; se analizaron integralmente parámetros estructurales de la vegetación, las características de calidad de suelo y los procesos geomorfológicos que se están suscitando actualmente. Una vez identificado y caracterizado el estado ambiental de las unidades naturales, fue posible elaborar propuestas de restauración ecológica para grupos similares de unidades naturales, basados en los distintos grados de degradación de las mismas. El método llevado a cabo para la realización del diagnóstico ambiental se simplifica en la Fig.3.2, y a continuación se explica con mayor detalle.

#### **3.1 *Diseño para la toma de datos en campo***

El diseño del muestreo de campo estuvo basado en una distribución de transectos separados cada 400 m de norte a sur. Los transectos se establecieron transversalmente a la trayectoria del río Tembembe, para permitir apreciar cambios relativos en una distancia corta, tales como las formas de las laderas, la estructura vegetal y las características edafológicas. Para la localización de los sitios a muestrear, se utilizaron fotografías aéreas a escala 1:20,000 y se realizaron salidas de reconocimiento a la EREBRT. La localización de los puntos de muestreo se realizó por medio del programa computacional (CORUMDIS.BAS) construido en el lenguaje TurboBasic que permitió obtener coordenadas métricas, a cada 50 m, en cada uno de los transectos, a partir del establecimiento del rumbo y la distancia desde el punto inicial de cada transecto (López-Blanco, 2005b). Los transectos resultantes fueron diez, cinco se ubicaron en el lado oeste y cinco en el lado este del río; los puntos de muestreo fueron 58, de los cuales 28 se localizan en la pared de la ladera del barranco oeste y 30 en la pared de la ladera del barranco este (Fig. 3.3). Se realizó un muestreo sistemático para la caracterización del suelo y la vegetación, debido a que simplifica el proceso de selección de la muestra, además de que brinda mayor información del que proporciona el muestreo aleatorio, por ser un muestreo uniforme a lo largo del área de estudio, lo que permite tener menos errores de selección en el campo (Bautista-Zúñiga *et al.* 2004a)



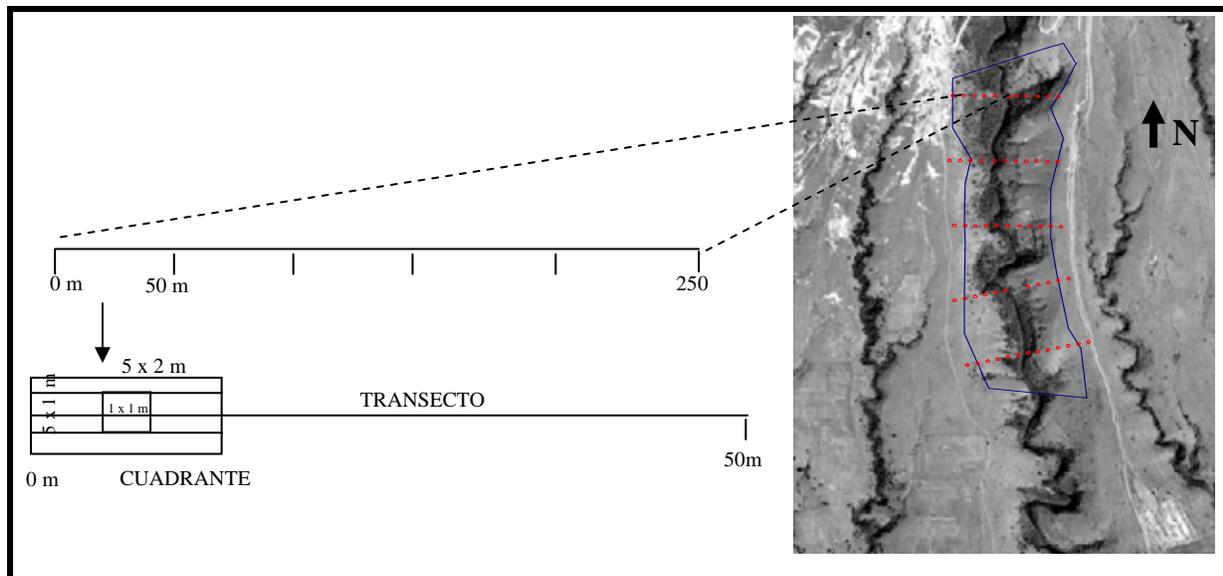


Fig. 3.4. Límite de la EREBRT, así como la ubicación de los transectos empleados en la caracterización biofísica, además del esquema para muestreos edáficos, de vegetación y parámetros del relieve.

En campo, la localización de las coordenadas métricas de los puntos se realizó usando un Geoposicionador (GPS) Garmin 12XL. El muestreo de vegetación, de suelos y el registro de los procesos geomorfológicos se llevaron a cabo entre los meses de octubre y diciembre del 2005, y durante el 2006 se realizó verificación de datos. A continuación se desglosan los factores ambientales registrados.

### 3.2 Muestreo de vegetación

El muestreo de la vegetación sobre los transectos establecidos en la zona, se efectuaron mediante cuadrantes de  $10 \text{ m}^2$ , los cuales se colocaron a cada 50 m a lo largo de los transectos y dentro de este cuadrante se realizaron otros más pequeños de  $5 \text{ m}^2$  y  $1 \text{ m}^2$ .

Se tomaron datos del estrato arbóreo, lianas y renuevos de árboles (plántulas de 20 a 150 cm) en el cuadrante de  $10 \text{ m}^2$ ; para el componente arbóreo se tomó el diámetro a la altura del pecho [diámetro de un árbol medido a 1.3 m del suelo como punto de referencia (DAP)], y para las lianas y renuevos el diámetro basal [diámetro medido aproximadamente a 5 cm por arriba del suelo (DB)]; la altura se midió en los tres casos. En el cuadrante de  $5 \text{ m}^2$  los datos tomados fueron del estrato arbustivo, se midió el DB y la altura de cada individuo. En el cuadrante de  $1 \text{ m}^2$  se registraron las herbáceas, cabe aclarar que este registro solo se realizó en el 17% de los sitios

muestreados, debido a la temporada de muestreo. Se llevo a cabo colecta de los especímenes medidos y de las herbáceas, para su posterior identificación. Los diámetros se midieron con un vernier manual graduado en mm y la altura total mediante flexómetros graduados en cm. Otros datos recopilados durante la colecta de la vegetación fueron: la localización exacta del sitio, anotando coordenadas, para conocer la ubicación de la especie; la forma de vida, la fecha de colecta, el número de la muestra de manera progresiva y el nombre de los recolectores.

### ***3.3 Muestreo de suelo y toma de datos de procesos geomorfológicos.***

El tipo de muestreo de suelo consistió en la toma de muestras equidistantes, con el fin de realizar una mejor caracterización del área; el número de toma de muestras estuvo en función de la escala de trabajo y de los objetivos a alcanzar, así también la profundidad de muestreo está en relación con esto último y la cantidad de muestra tomada se determinó a partir del número y tipo de parámetros que se analizaron.

Para el muestreo se tomó como base el cuadrante de 1 m<sup>2</sup> del estrato herbáceo, en el cual se tomaron los siguientes registros: a) compactación del suelo, con un medidor de compactación (penetrómetro); b) estructura del suelo, [que es la agregación de partículas primarias en partículas compuestas], para su descripción en campo se tomó en cuenta la morfología y distribución de los agregados, su tamaño y su grado de agregación; c) tipo de mantillo; d) actividad biológica de acuerdo con Siebe *et al.* (1996), así como e) profundidad (definida como la capa superficial en donde no existen restricciones mecánicas para el desarrollo de las raíces, como estratos rocosos y horizontes cementados) y f) tipo y tamaño de la pedregosidad superficial. En cada sitio se tomó una muestra superficial de suelo de 1 kg aproximadamente, entre los 0 y 20 cm de profundidad mediante el empleo de una barrena. Con base en el esquema de muestreo de suelos de Bautista-Zuñiga *et al.* (2004b), el muestreo llevado a cabo se considera dentro del patrón de una muestra *alterada, superficial, simple*, cuya aplicación es para el conocimiento de la variabilidad superficial.

En cada punto de muestreo se identificaron los procesos geomorfológicos dominantes (tipos de erosión, procesos gravitacionales), las características morfométricas del relieve (geometría del sector de ladera), circundantes al área muestral; así como los datos de altitud, pendiente y orientación. También se registró el efecto de la acción antrópica y de la ganadería. A la par se

llevó a cabo trabajo de gabinete y concluido el muestreo se continuó con el trabajo de herbario y laboratorio.

### ***3.4 Determinación de ejemplares botánicos y parámetros estructurales empleados en el análisis de la cobertura vegetal.***

Una vez llevado a cabo el muestreo de vegetación, los ejemplares botánicos se prensaron y se trasladaron al Herbario Nacional (México), para su posterior determinación. Fueron determinados mediante comparación con ejemplares botánicos que resguarda el herbario, así también por la identificación de expertos y por claves taxonómicas presentes en Standley (1924), Sánchez (1980) y Rzedowski (1985), entre otros.

La caracterización de la vegetación fue llevada a cabo a través de su florística, así como de la estructura (que es la organización espacial en el sentido vertical -estratificación- como en el horizontal -espaciación-) (Rzedowski, 1978). Los parámetros estructurales básicos utilizados para caracterizar y analizar las distintas coberturas vegetales presentes en el área de estudio, se aplicaron al estrato arbóreo y arbustivo, así como a los renuevos y lianas. Los parámetros fueron: a) la frecuencia relativa, b) la densidad relativa, c) la dominancia relativa y d) el índice de Valor de Importancia (Curtis 1950; Curtis y McIntosh 1951; Finol 1971; Kent y Coker 1994; Matteuci y Colma 1982; Mueller-Dombois y Ellenberg 1974).

- a) La frecuencia relativa de una especie, se expresa como el número de cuadrantes donde se presentó la especie con respecto al total de cuadrantes ocupadas por todas las especies por 100.
- b) La densidad relativa es igual al número de individuos de una especie entre el número de individuos de todas las especies multiplicado por 100.
- c) La dominancia relativa se calcula como la proporción de una especie en el área basal total multiplicada por 100.
- d) El Índice de Valor de Importancia (medida de cuantificación para asignar a cada especie su categoría de importancia), se obtiene de la suma de la frecuencia relativa, la abundancia (densidad) relativa, y dominancia relativa (área basal).

### ***3.5 Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo***

Las muestras de suelo se procesaron en el Laboratorio de Edafología de la UAM Xochimilco. Se secó cada muestra a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron con tamiz de malla número 10. El suelo resultante de la tamización se utilizó para la determinación de sus propiedades físicas y químicas.

La obtención de las propiedades físicas se basó en las siguientes técnicas:

- a) Color por la técnica de comparación con tablas de color de Munsell (1994), se refiere al valor e intensidad en el horizonte superficial. Esta variable permite hacer inferencias de algunas características edáficas y procesos pedogenéticos.
- b) Textura por el método del hidrómetro. La distribución del tamaño de las partículas que constituyen un suelo se denomina textura, vista como la proporción relativa de los diferentes tamaños de las partículas minerales sin considerar su origen, composición química y estructura. El porcentaje en la distribución de la granulometría del suelo en arenas, limos y arcillas corresponde a la clase textural.
- c) Densidad aparente ( $D_a$ ), por el método del agregado de suelo o parafina. La densidad aparente es la relación que existe entre la masa y el volumen macroscópico de las partículas del suelo, incluyendo los espacios porosos.
- d) Densidad real ( $D_r$ ), por el método del Picnómetro. Es el peso de las partículas del suelo por unidad de volumen sin considerar el espacio poroso. A partir de este valor se puede calcular la porosidad total del suelo, determinar los porcentajes granulométricos e inferir los minerales predominantes.
- e) Porosidad. Es el volumen ocupado por el espacio poroso con relación al volumen total del suelo, se obtiene a partir de la densidad aparente y la densidad real.

Las propiedades químicas determinadas fueron:

- a) pH, mediante el método del potenciómetro, utilizando una relación suelo-agua 1:2.5. El pH es la concentración de hidrogeniones activos ( $H^+$ ) que se da en la interfase líquida del suelo, en la interacción de los componentes sólidos y líquidos.
- b) Materia orgánica (MO) por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico. La

materia orgánica de los suelos se forma y acumula por la incorporación de residuos vegetales a nivel de la rizósfera y por la caída de hojas y frutos, así como la incorporada por la macro o microfauna.

- c) Capacidad de intercambio catiónico (CIC) a partir del método volumétrico del Versenato. La CIC está dada por la suma total de iones intercambiables que un suelo puede absorber; es una reacción química reversible.

Los análisis aplicados se describen en el manual de técnicas analíticas de suelos de Muñoz *et al.* (2000), en el cual también se basaron los criterios de clasificación, con excepción del pH para el que se utilizó el criterio de Cepeda (1991) y de materia orgánica cuyo criterio fue el de la clasificación de suelos derivados de ceniza volcánica de Fassbender y Bornemisza (1987).

### **3.6 Determinación y delimitación de unidades geomorfológicas y de vegetación.**

Se delimitaron las unidades geomorfológicas (una unidad geomorfológica es una porción de terreno caracterizada por un relieve similar) en fotografías aéreas a escala 1:20,000, usando criterios morfométricos como la geometría del relieve, las rupturas de la pendiente y la diferencia altitudinal, así como la posición topográfica (Meijerink, 1988; Tapia-Varela y López-Blanco, 2002). Para la fotointerpretación de las unidades geomorfológicas, el primer trazado se hizo siguiendo el patrón (o arreglo de los objetos en cierto orden o secuencia característica) de las corrientes fluviales que en su conjunto forman la red de drenaje, permitiendo identificar cambios litológicos; la pendiente del terreno y los procesos tectónicos expresados en la superficie del terreno como fallas o alineamientos; esto permitió la delimitación de unidades preliminares (Van Zuidam, 1985; Bennema y Gelens, 1996). Paralelamente se llevó a cabo la etapa de identificación y verificación mediante trabajo de campo, durante el cual visualmente se identificaron, reconocieron y verificaron las unidades geomorfológicas previamente delimitadas. La categorización de las unidades geomorfológicas estuvo basado en el Modelo de ladera de Ruhe, (1960), al cual se le realizaron modificaciones de acuerdo con el sistema trabajado.

La clasificación de las unidades de vegetación mediante la fotointerpretación se basó en el análisis de las diferencias en los patrones presentes de las fotografías aéreas, entre ellas la densidad misma de la vegetación; la tonalidad que es la variación discernible desde el blanco hasta el negro; la forma; el tamaño y la textura que están en función de la rugosidad de la

superficie del suelo; además del conocimiento previo de la vegetación obtenida mediante la carta temática de uso de suelo y vegetación de INEGI y las salidas de reconocimiento al área de estudio. La técnica basada en el análisis de textura para la clasificación de imágenes en unidades de vegetación es una alternativa cuando no se dispone de imágenes con la resolución espacial necesaria (Fernández *et al.*, 2002).

### ***3.7 Generación de los mapas de unidades geomorfológicas y de unidades de vegetación en el SIG.***

Los mapas de unidades geomorfológicas-morfogénicas y de vegetación se procesaron (corrección fotogramétrica) y analizaron con el SIG, una vez concluida la delimitación de las unidades geomorfológicas y de vegetación por fotointerpretación. Se trabajaron usando el programa ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*), desarrollado desde 1985 por el Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) de los Países Bajos, Holanda; versión 3.0.

Una vez en el SIG se les ubicó en un sistema de referencia, posteriormente se creó un sistema de georeferencia (*GeoRef Direct Linear*, el cual permite añadir coordenadas a un segmento de una fotografía escaneada si se tiene en existencia el MDE y corregir la inclinación y el desplazamiento del relieve), necesaria para su ubicación espacial, la cual utilizó como mapa de fondo la fotografía y el Modelo Digital de Elevación (MDE). El MDE se creó a partir de la interpolación de curvas de nivel a 5 m de resolución vertical. Se realizó una conversión del mapa de segmentos de formato vectorial a *raster*, empleando una georeferencia que define las coordenadas máximas y mínimas de x, y, así como el tamaño de pixel que fue de 1 m de resolución, el mapa resultante muestra los valores altitudinales entre las curvas de nivel.

Las delimitaciones de las unidades, tanto geomorfológicas como de vegetación, se editaron al crearse un mapa de segmentos (*sistema vectorial, archivos secuenciales de coordenadas x,y, con un identificador*), adecuándose espacialmente los límites con el MDE y la ortofoto del área. La digitización y corrección fotogramétrica en pantalla de las unidades geomorfológicas y de cobertura vegetal tuvieron como base la ortofoto E14A58 y el mapa de relieve sombreado. Este último se obtuvo a partir del MDE y muestra características particulares del terreno por estar

creada a partir de las diferencias de iluminación del terreno, generadas por una luz virtual incidente, con cierto ángulo azimutal de orientación y un ángulo vertical constante (Robinson *et al.*, 1995 en Tapia-Varela y López-Blanco, 2002).

Se digitizaron y verificaron todos los segmentos para dar paso a la creación de los mapas de *polígonos* en el cual se asigna una etiqueta y color representando el nombre de la unidad delimitada, posteriormente se crea el mapa *raster* los cuales brindan información acerca del área específica de cada unidad.

### **3.8 Generación del mapa de pendientes, altitud y orientación**

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas fue necesario construir en el SIG, mapas en formato *raster* sobre la pendiente, la orientación y la altitud, tomando como base al MDE. Con estos mapas se realizó un cruzamiento de información con el mapa de unidades geomorfológicas en formato *raster*, resultando una tabla que expresa los valores representativos, en superficie, de cada unidad geomorfológica.

El mapa de intervalos de pendiente se creó aplicándose filtros de convolución lineal  $Df_{dx}$  y  $Df_{dy}$ , cuyos valores de las matrices resultantes son multiplicados por los valores altitudinales de cada pixel, calculándose las diferencias altitudinales en el sentido x, y, así cada valor de pixel es sustituido por un nuevo valor (López-Blanco, 1994). Con los mapas resultantes de los filtros se calculó la pendiente de los datos en porcentaje y posteriormente en radianes (ángulos con relación al radio unitario) para su transformación en grados.

El mapa de intervalos de altitudes se creó con un dominio de grupo de 11 clases, la creación de este mapa requiere solamente del MDE .

Para el mapa de orientación de la pendiente se utilizaron los filtros de convolución empleados en la generación del mapa de pendientes, donde los valores de cada pixel son sustituidos por valores numéricos ( $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ) expresados en información categórica o de clases en N (norte), NE (noreste), E (este), SE (sureste), SW (suroeste), W (oeste), NW (noroeste), SO (sin orientación).

### **3.9 Generación de mapas de variables edafológicas**

Al término de los análisis físicos y químicos en laboratorio de las muestras de suelos, se prosiguió con el procesamiento de los datos de cada variable, con excepción del color por ser una técnica subjetiva, en el programa Surfer versión 8.0, el cual permite generar la interpolación de los valores de cada variable a toda el área de estudio. Estos fueron posteriormente analizados mediante el cruzamiento con las unidades geomorfológicas, así se obtuvieron los parámetros edáficos de cada unidad geomorfológica, los cuales se usaron como pauta en la caracterización edáfica de las unidades geomorfológicas que es parte integral del diagnóstico de las unidades naturales.

Para ello fue necesario importar los datos de las coordenadas x, y, de los puntos de muestreo en campo y el valor de la variable a trabajar, para posteriormente crear un mapa de rejillas en el cual se introducen los datos de x, y, mínimos y máximos, estos valores son los empleados en el MDE.

El método de enrejado utilizado fue la técnica de distancia cuadrática inversa (*Inverse distance to a power*), para las variables de profundidad y compactación, por permitir interpolar datos basándose en los valores más cercanos entre punto y punto de muestreo; además los datos reales y los datos de interpolación en cada sitio fue más cercano al real con este método. Para las variables edáficas arenas, limos, arcillas, densidad aparente, densidad real, porosidad, pH, materia orgánica y CIC, el método de enrejado utilizado fue Kriging, que es una técnica geoestadística de interpolación que, a partir de un muestra de puntos distribuidos regular o irregularmente, provee valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida (Oliver y Webster, 1990). En esta técnica se tomó en cuenta la variante de límite de frontera, la cual se estableció en el margen del cauce con la finalidad de separar la ladera *oeste* de la ladera *este*, para que la interpolación longitudinal se generara de manera independiente en las laderas. El límite de frontera se obtuvo mediante el análisis de los resultados cercanos al río de las distintas variables, observando la tendencia ascendente o descendente de las variables, por lo que el resultado se obtuvo del promedio del límite menor y el límite mayor.

Mediante un mapa se muestra la interpolación de las variables edáficas por medio de isolíneas con valores interpolados. Los mapas interpolados se llevaron al SIG en donde se generó un

*dominio de valores* y se les asignó el *datum* ITRF92, posteriormente se asignaron valores a cada isolínea, para posteriormente realizar el *raster* de la interpolación de las isolíneas.

La información de los mapas resultantes se “cruzó” con la información del mapa *raster* de las unidades geomorfológicas, dando como resultado los valores de las variables del suelo por unidad, la cual se muestra por medio de tablas. La simplificación de las tablas de resultados, una vez realizado el cruzamiento de mapas, es una *tabla de agregación (aggregate column)*, en la que se obtiene el valor predominante de cada variable en cada unidad geomorfológica, mediante la asignación del número de *pixeles* (superficie) como valor de peso o condicionante. La nueva tabla muestra los valores predominantes de las variables físicas y químicas que caracterizan a cada unidad geomorfológica.

### **3.10 Análisis estadístico**

Mediante un análisis estadístico multivariado se relacionaron los parámetros de la vegetación y el suelo en las unidades geomorfológicas, dando paso así a la generación de unidades naturales.

El análisis integró a las siguientes variables en la geomorfología: pendiente, altitud, orientación, geometría de la ladera y posición topográfica; en la edafología: compactación, profundidad, clase textural, densidad real, densidad aparente, porosidad, pH, MO y CIC; y en la vegetación: la densidad de la cobertura vegetal.

La estadística descriptiva no permite generar explicaciones sólidas o relaciones entre todos los datos cuando se tienen muchas variables, razón por la que se utilizaron métodos de análisis multivariado. Se analizaron diferencias o similitudes entre las unidades naturales mediante análisis de *cluster*, técnica analítica cuyo principal propósito es agrupar objetos basándose en las características que poseen, de tal forma que cada objeto es muy parecido a los que hay en el conglomerado (conjunto de objetos agrupados por sus características semejantes) (Dallas, 1998). Los conglomerados muestran un alto grado de homogeneidad interna (al interior del conglomerado) y un alto grado de heterogeneidad externa (entre conglomerados). La similitud se midió con la *distancia euclidiana* (en línea recta) por ser una medida de proximidad, entre cada par de observaciones, por lo que las distancias más pequeñas significan mayor similitud. El

método de agrupación jerárquica fue el de distancia máxima (*complete linkage*), cuyo resultado es una unión jerárquica en la que cada grupo se une o separa en determinada fase ó distancia.

De esta forma la cantidad de datos se simplifica y tanto el análisis como la interpretación pueden enfocarse a un cierto número de variables y conjuntos, sin que ello signifique analizar los datos uno por uno ó indirectamente todo el conjunto de datos.

Una vez realizado el análisis de *cluster* se continuó con el análisis de componentes principales (ACP), método que se utiliza para analizar interrelaciones entre un gran número de variables y explicarlas en términos de sus factores, los cuales se derivan de las variables con mayor carga estadística que se encuentran en una matriz de correlación, con el fin de condensar la información contenida en las variables originales a un conjunto más pequeño de variables (Hair *et al.*, 1999). Los eigenvalores provenientes de la matriz de correlaciones de los factores, permitieron definir las cargas de los factores (ó componentes principales), tomando en cuenta que mientras mayor sea el valor del eigenvalor mayor es su carga y que los eigenvalores cercanos a cero no influyen de manera significativa, se considera significativo el eigenvalor mayor a uno (Cole y King, 1969; Johnson, 2000). Se aplicó a la matriz de factores la rotación Varimax, por permitir maximizar la varianza de las variables y resaltar los datos de la matriz original por lo que se observan mejor las diferencias entre las variables manejadas. Este análisis fue realizado con el propósito de saber que combinación lineal de variables explica mejor la variabilidad entre sitios, ya que se buscó las relaciones o valores significativos.

Tanto el análisis de *cluster* como el ACP son técnicas estadísticas exploratorias, que ayudan a la percepción de un conjunto de datos, por lo tanto, las conclusiones se llevan a cabo a partir de los gráficos de éstas (Johnson, 2000). Estos análisis se realizaron en el programa STATISTICA Versión 6.0 ya que provee resultados rápidos y confiables para la interpretación.

Los métodos multivariados pueden aplicarse como una metodología para establecer unidades ambientales, considerando que son solamente técnicas exploratorias que permiten tener una visión general de una serie de datos, los cuales requieren ser interpretados; por ello los resultados dependen de los datos de origen, de forma que si la información de origen es detallada los resultados también lo serán (Castillo, 2006).

### **3.11. Integración de Datos**

Las Unidades Naturales (UN) [superficie delimitable cartográficamente y que es homogénea en términos de sus componentes ambientales (Castillo, 2006)], se obtuvieron a partir de la integración de la información de los tres factores ambientales: geomorfología (geometría de la ladera, altitud, pendiente y orientación); suelo (características físicas y químicas) y cobertura de la vegetación, mediante sobreposición de las capas de información en el mapa de unidades geomorfológicas (mapa base), por lo tanto el número de Unidades Naturales es igual al número de Unidades Geomorfológicas.

La geomorfología y la cobertura vegetal resultaron dos factores relevantes para la identificación y delineación de las UN, por ser las propiedades que se observan a primera instancia en el paisaje, permitiendo diferenciarlos de otros (Etter 1990; Castillo, 2006). Así las UN obtenidas presentan límites definidos y contienen un conjunto de atributos característicos que permiten diferenciarlas de otras unidades naturales vecinas, por ello se consideran homogéneas en términos de los atributos de diferenciación utilizados. Estos atributos son todas las variables manejadas en los diferentes factores ambientales; finalmente se emplearon técnicas estadísticas multivariadas para observar las tendencias de agrupación de las UN.

La generación de esta información permitió inferir las condiciones ambientales de la EREBRT. Así, el diagnóstico ambiental refleja unidades naturales con diferentes características, en las cuales se pueden sustentar propuestas de manejo de restauración y/o conservación. Se consideró enfocar las propuestas de restauración en técnicas que contrarresten la pérdida del suelo y la vegetación.

## Capítulo 4. Resultados

### *4.1 Caracterización geomorfológica de la EREBRT*

La Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe está constituida de dos principales laderas, con orientación este y oeste, las cuales son formas del relieve originadas por la combinación tanto de procesos erosivos como de procesos deposicionales. La ladera se inicia cuando un cauce de primer orden se desarrolla, por la incisión vertical sobre la superficie del terreno, esto da lugar a dos laderas transversales a dicho cauce, limitadas en su parte superior por el partaguas y en su parte inferior por el cauce.

La fotointerpretación y el análisis en el SIG de la ortofoto y el mapa de relieve sombreado permitieron diferenciar y relacionar formas geométricas y dinámica presente en las laderas de la EREBRT, resultando así 84 unidades geomorfológicas (UG) las cuales se clasificaron con base a los componentes geométricos: a) gradiente, que es el ángulo de inclinación de la ladera tomando como referencia un plano horizontal y b) la forma geométrica del largo y ancho de la ladera; así las 84 unidades geomorfológicas se clasificaron en cinco componentes generales debido a su posición topográfica.

- 1) Scav = Superficie cumbral de abanico volcánico
- 2) Hlb = Hombro de ladera de barranco
- 3) Dlb = Dorso de ladera de barranco
- 4) Plb = Piedeladera de barranco
- 5) Pt = Pared de *talweg*

De la categorización anterior se diferenciaron cinco clases en el Dorso de ladera de barranco basadas en la posición topográfica (superior, medio, medio-inferior, inferior y no diferenciado), que en conjunto con los otros componentes forman nueve clases; a su vez se diferenciaron las UG de acuerdo con su geometría en veintitrés subclases (Cuadro 4.2 y Fig. 4.5).

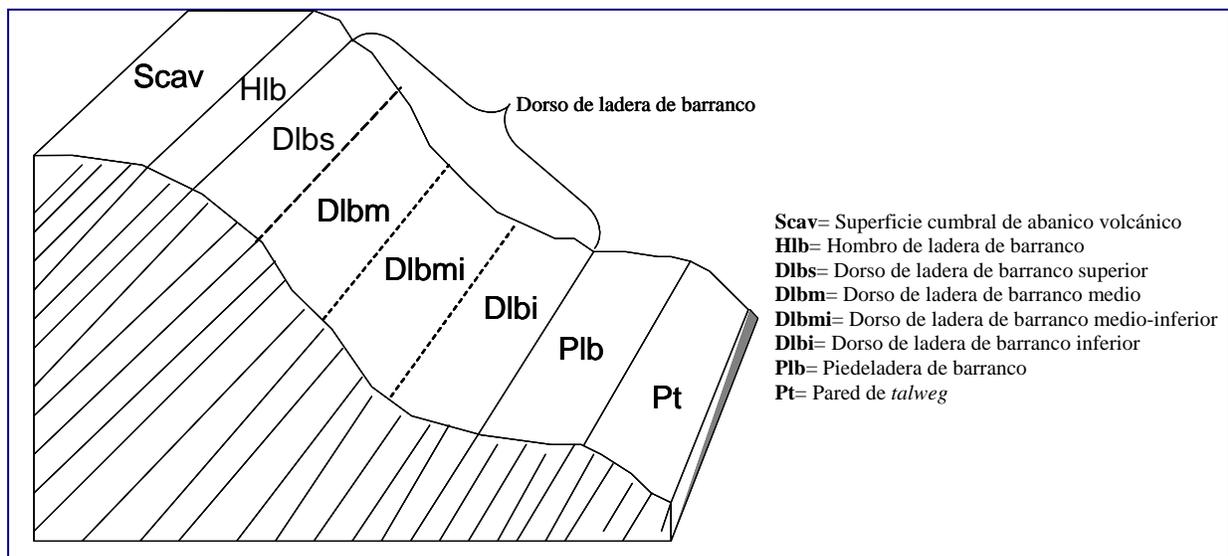


Fig.4.5. Componentes geomorfológicos de la ladera y clases. Clasificación basada y modificada del modelo de ladera de Ruhe (1960).

Cuadro 4.2. Clasificación de las unidades geomorfológicas de la EREBRT.

Componentes Geomorfológicos de la ladera	Clave de las clases del componente a partir de la Posición Topográfica	Geometría del relieve	No. de Unidades Geomorfológicas
Superficie cumbre de abanico volcánico	Scav	P	4
Hombro de ladera de barranco	Hlb	m	2
		cx	1
Dorso de ladera de barranco	Dlbs	cx	4
		P	2
		m	3
		cc	1
		cc	1
	Dlbm	cx	6
		p	5
		m	4
		cc	2
	Dlbmi	cx	3
		cc	2
		m	2
	Dlbi	cx	15
		m	6
		cc	5
p		5	
Dlbnd	p	1	
	cc	1	
Piedeladera de barranco	Plb	cx	7
		p	1
Pared de <i>talweg</i>	Pt	m	2
Total de componentes = 5	Total de clases = 9	Total de subclases = 23	Total =84

Clave de las clases con respecto a su posición topográfica Dlb = Dorso de ladera de barranco (las literales contiguas son: s= superior, m= medio, mi= medio inferior, i= inferior y nd= no diferenciado). Clave de geometría del relieve: p= plano, cc= cóncavo, cx= convexo, m= mixto.

La clasificación de las 84 UG se representa a través de un conjunto de delineaciones o *polígonos*, identificados con un mismo símbolo y color, lo cual constituye una unidad de mapeo a nivel de detalle; las tonalidades del mapa corresponden a los tonos rojizos, por ser materiales de origen volcánico los que se localizan en la EREBRT (Fig. 4.6). El mapa de unidades geomorfológicas registra y proporciona información de las diferentes formas del relieve y los procesos geomorfológicos que están actuando sobre ellas, además es la base en la generación de las unidades naturales. En el mapa se observa la secuencia del arreglo espacial de cada UG, las cuales siguen el modelo de ladera, sin embargo aquellos sitios que no continúan con este arreglo es debido a la forma misma de las laderas.

Unidades Geomorfológicas de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe.

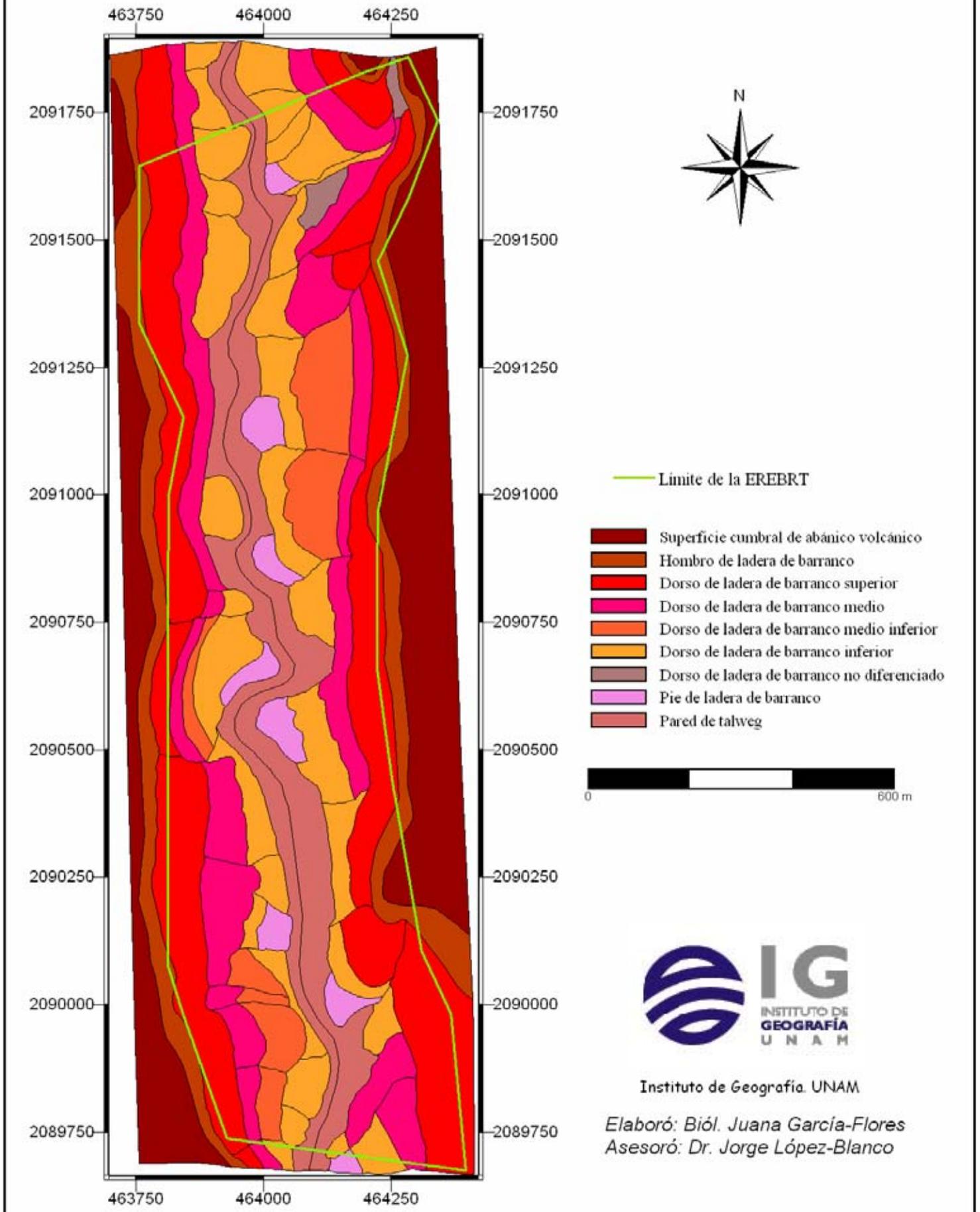


Fig. 4.6. Mapa de unidades geomorfológicas. Clases de los componentes geomorfológicos de acuerdo con su posición topográfica y a la geometría del relieve.

#### 4.1.1. Mapas de altitud, pendiente y orientación.

Las propiedades del relieve: altitud, pendiente y orientación, son esenciales en la obtención de unidades naturales, por ello la información de estas propiedades se sintetizó en mapas, cuya elaboración requirió como mapa base al modelo digital de elevación (MDE) con una resolución espacial de 1 m, el cual es una herramienta que facilita la estimación de estas características fisiográficas.

##### 4.1.1.1 Mapa de altitud

La altitud de la EREBRT va de los 1,555 a los 1,745 m s.n.m.; para el reconocimiento de los intervalos altitudinales se elaboró el mapa altimétrico del área (Fig. 4.7). La clasificación altitudinal se generó en once clases con intervalos a cada 20 m con el fin de cubrir el rango altitudinal del área. El rango altitudinal en el que se ubican las unidades geomorfológicas, así como su rango predominante se muestran en el Cuadro 4.3. Las UG se encuentran agrupadas en las diferentes clases de los componentes geomorfológicos.

Cuadro 4.3. Intervalos altitudinales de las clases geomorfológicas de la EREBRT.

Clases	No de UG	Altitud (msnm)	Altitud (msnm) predominante
SCAF	4	1660-1740	1720-1740
Hlb	3	1660-1740	1720-1740
Dlbs	10	1620-1740	1660-1680 1700-1720
SLBM	17	1600-1720	1620-1640
Dlbmi	7	1600-1680	1600-1620
Dlbi	31	1560-1680	1640-1660
Dlbnd	2	1640-1740	1640-1740
Pib	8	1560-1640	1560-1640
Pt	2	1580-1620	1580-1620

### Altitud de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe

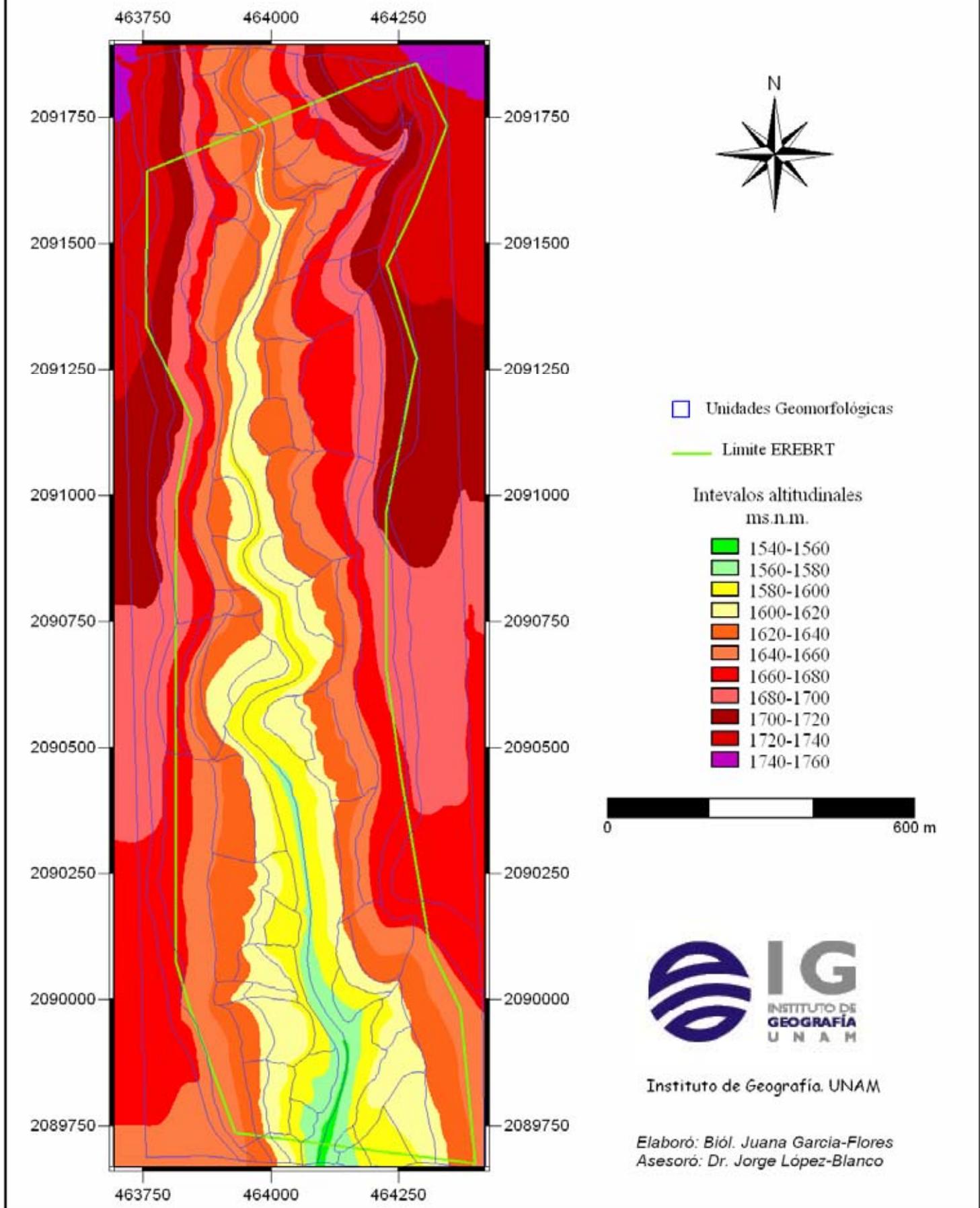


Fig.4.7. Mapa altitudinal de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe, mostrada en intervalos para representar un mayor detalle en el área de estudio. 38

#### 4.1.1.2 Mapa de pendientes

El mapa de pendientes se clasificó en ocho intervalos, abarcando de 0° a 84° (Fig. 4.8). Las pendientes predominantes se encuentran entre 4° y 64°, la clase de 64-84° ocupa un área mínima en las UG, por lo que no es predominante. Las UG ubicadas en el componente geomorfológico dorso de ladera de barranco (Dlb) ocupan el 80% de todas las unidades, en éstas la pendiente predominante esta entre 16° y 32°, por ello es representativa de la EREBRT (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4: Intervalos de pendiente presentes en las clases geomorfológicas de la EREBRT.

Clases	No de UG	Intervalo de Pendiente (°)	Pendiente (°) predominante	% de UG con pendiente predominante
Scav	4	4-8	4-8	8.33
Hlb	3	4-8	4-8	
Dlbs	10	16-32	16-32	79.76
Dlbm	17	8-64	16-32	
Dlbmi	7	16-64	16-32	
Dlbi	31	4-64	16-32	
Dlbnd	2	16-32	16-32	
Plb	8	4-16	8-16	9.52
Pt	2	16-64	16-64	2.38

*Pendientes de las laderas de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe*

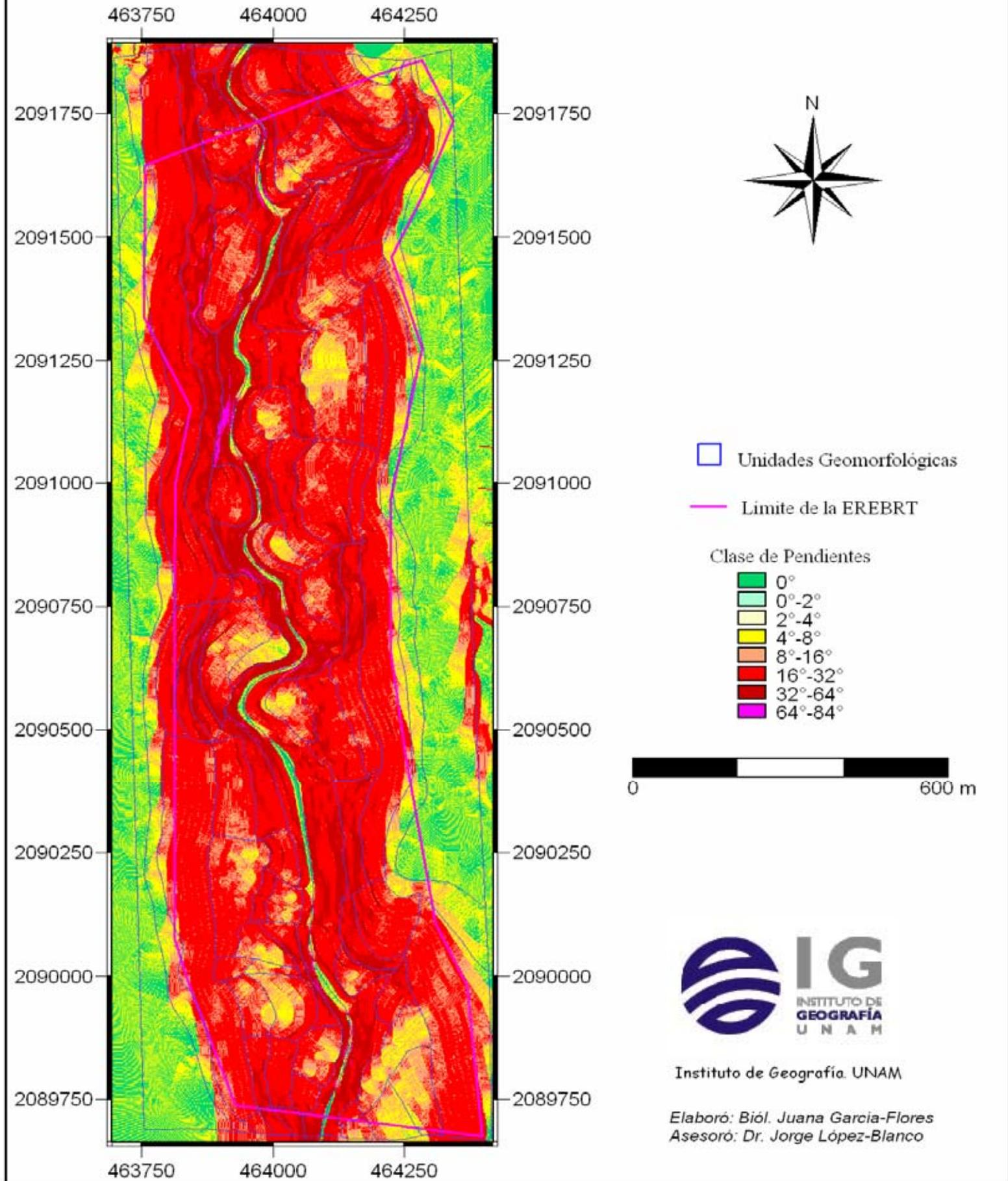


Fig. 4.8. Mapa de pendientes (en grados) de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe. 40

#### 4.1.1.3 Mapa de orientación

A partir del MDE se realizó el proceso de derivación del aspecto u orientación de las laderas, la cual es la dirección geográfica de la pendiente. El mapa de orientación de las laderas resultó de nueve clases azimutales (Cuadro 4.5, Fig.4.9).

Cuadro 4.5. Clases azimutales del mapa de orientación

Clasificación cardinal		Intervalos
Sin orientación	SO	Superficies planas
Norte	N	0° - 22.5° y 337.5° - 360°
Noreste	NE	>22.5° - 67.5°
Este	E	>67.5° - 112.5°
Sureste	SE	>112.5° - 157.5°
Sur	S	>157.5° - 202.5°
Suroeste	SW	>202.5° - 247.5°
Oeste	W	>247.5° - 292.5°
Noroeste	NW	>292.5° - 337.5°

En el mapa se observa de manera general las dos orientaciones predominantes de las laderas hacia el *Este* y el *Oeste*, sin embargo en cada UG la orientación está en función de la geometría de la ladera, por ello no se muestra una predominancia en las diferentes clases geomorfológicas. La UG localizadas en la Scav no muestran orientación por ser superficies que se encuentran en la cima de la geoforma de ladera (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Orientación de las clases geomorfológicas de la EREBRT.

Clases	No de UG	Orientación
Scav	4	SO
Hlb	3	E, SW, W
Dlbs	10	E, S, SW, W
Dlbm	17	NE, E, SE, SW, W, NW
Dlbmi	7	NE, E, SE, W
Dlbi	31	NE, E, S, SW, W
Dlbnd	2	SW, NW
Plb	8	E, SE, SW W,
Pt	2	E, W

*Orientación de las laderas de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe*

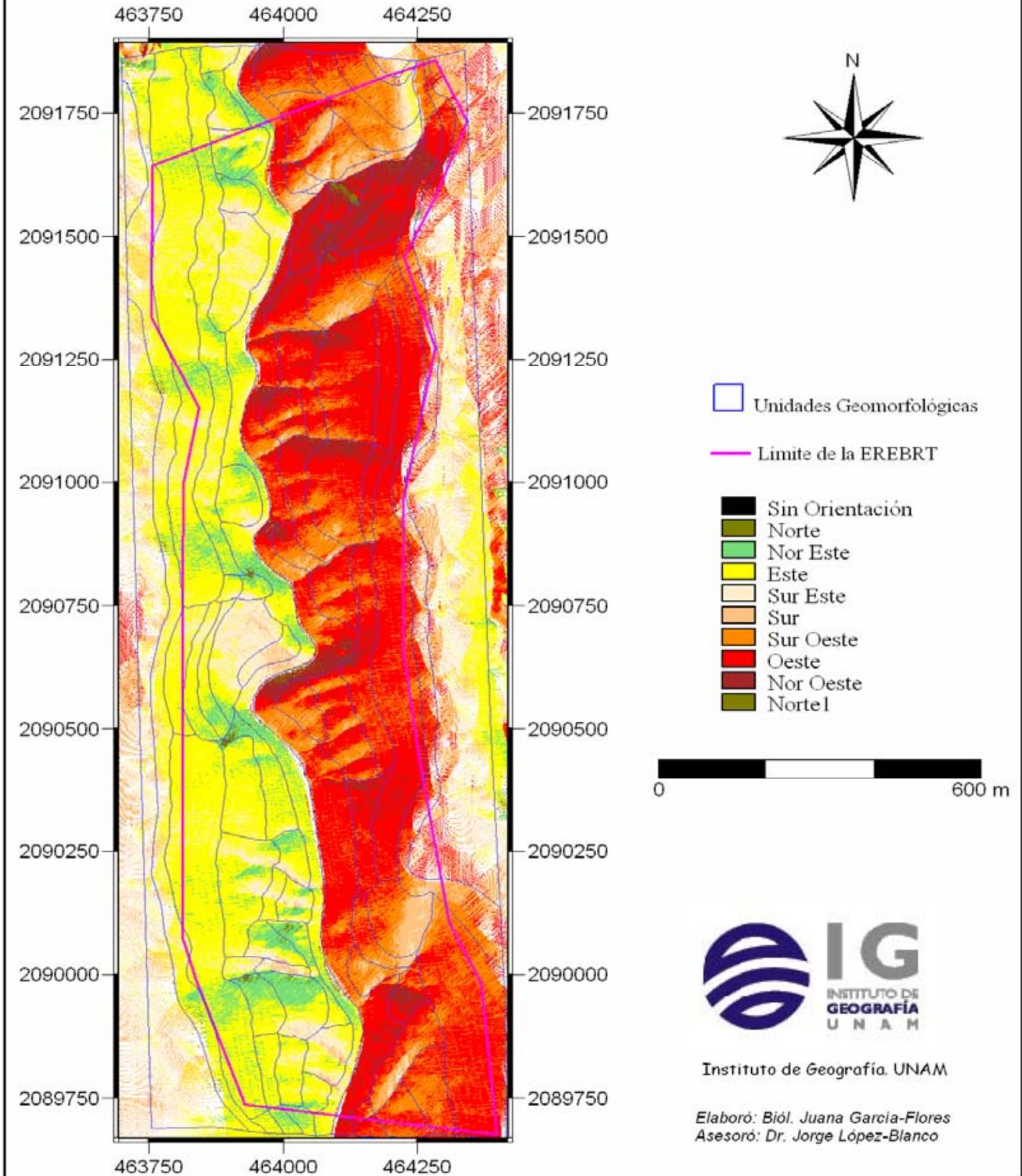


Fig. 4.9. Mapa de orientación de las laderas de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe. 42

## 4.2 Caracterización edáfica de la EREBRT

### 4.2.1. Propiedades físicas del suelo

Los datos registrados en campo fueron la estructura, el tipo de mantillo y la actividad biológica. La estructura del suelo es de tipo subangular en bloques en el 100% de los sitios muestreados, lo cual es una agregación natural del suelo. El mantillo observado está compuesto por la hojarasca de la vegetación predominante, en este caso de diversas especies de las familias Leguminosae, Asteraceae y Lamiaceae. La actividad biológica incrementa en los sitios con mayor humedad, que son los que albergan una alta densidad de cobertura vegetal.

#### 4.2.1.1 Color

El color predominante en seco es el pardo en el 36% de los sitios muestreados, los cuales se ubican en todos los componentes geomorfológicos; en húmedo el color predominante es gris muy oscuro en el 41% de los sitios, estas tonalidades se deben a la mezcla de sustancias orgánicas y minerales presentes. En el Cuadro 4.7 se muestran las tonalidades para los 58 sitios muestreados en las diferentes clases geomorfológicas.

Cuadro 4.7. Porcentaje del número de sitios de muestreo presentes en las diferentes clases geomorfológicas

	Clave Munsell	Color	Scav %	Hlb %	Dlbs %	Dlbm %	Dlbi %	Plb %	Pt %	% Total de Sitios de Muestreo	
<b>Color en seco</b>	7.5YR 4/3	Pardo	3.4	1.7	5.1	8.6	1.7	6.8	3.4	5.1	36.2
	7.5YR 3/2	Pardo oscuro	0	0	0	1.7	0	5.1	0	8.6	15.5
	7.5YR 2.5/2	Pardo muy oscuro	0	0	0	0	0	1.7	0	0	1.7
	10YR 5/2	Pardo grisáceo	6.8	1.7	5.1	0	0	0	0	0	13.7
	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	0	1.7	12.0	3.4	0	1.7	0	0	18.9
	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	0	0	1.7	3.4	0	1.7	0	0	6.8
	10YR 5/4	Pardo amarillo	0	0	0	0	1.7	0	0	0	1.7
	7.5YR 4/1	Gris oscuro	1.7	0	1.7	0	0	0	0	0	3.4
	2.5YR 4/1	Gris oscuro rojizo	0	0	1.7	0	0	0	0	0	1.7
<b>Color en Húmedo</b>	7.5YR 4/2	Pardo	0	1.7	0	0	1.7	0	0	0	3.4
	7.5YR 3/2	Pardo oscuro	0	0	0	1.7	1.7	8.6	1.7	1.7	15.5
	10YR 2/2	Pardo muy oscuro	1.7	0	3.4	0	0	3.4	0	5.1	13.7
	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	3.4	1.7	3.4	3.4	0	0	0	0	12.0
	5YR 3/2	Pardo rojizo oscuro	0	0	0	1.7	0	0	0	0	1.7
	7.5YR 3/1	Gris muy oscuro	6.8	1.7	17.2	5.1	0	5.1	1.7	3.4	41.3
	7.5YR 2.5/1	Negro	0	0	3.4	1.7	0	3.4	0	3.4	12.0

#### 4.2.1.2 Textura

La textura es un indicador indirecto de la susceptibilidad que tiene el área a la erosión, a la retención y al transporte de agua. Los resultados muestran que la clase textural predominante en las UG de la Scav y el Dlbs es el franco arenoso en un 60%, que corresponde a un suelo con alto porcentaje de arena pero con suficiente limo y arcilla para conferirle un poco de cohesión, mientras que el franco arcillo-arenoso es representativo en el 32% de las UG. En Dlbn y Dlbnmi la clase dominante es el franco arcillo-arenoso con el 67%, suelo de textura tendiente a fina que cuando está seco forma terrones, como clase textural secundaria está el franco arcilloso con el 17%. En las UG del Dlbi predomina la clase franca con el 55% seguida del franco arcillo-arenoso con el 32% y en las UG del Plb y Pt la clase textural franca domina en el 80% del área, este tipo de suelo tiene una mezcla equilibrada de granos de arena, limo y arcillas (Fig. 4.10).

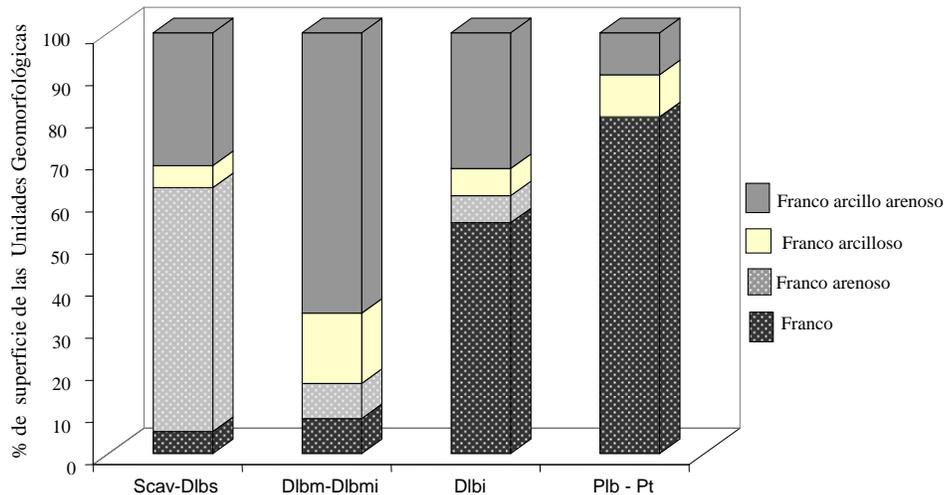


Fig.4. 10. Distribución de la clase textural (proporción granulométrica de arenas, limos y arcillas) en los diferentes componentes geomorfológicos de las laderas de la EREBRT. Este gráfico proviene del cruzamiento de los mapas de interpolación de arenas, limos y arcillas con el mapa de unidades geomorfológicas en el SIG.

#### 4.2.1.3 Densidad Aparente (Da)

En el área de estudio hay una predominancia de Da baja (Fig. 4.11). Los valores de Da bajos y medios se relacionan con la cobertura de pasto (*Paspalum notatum*) que se encuentra en una gran superficie del área, además estos valores están estrechamente relacionados con el tipo de estructura del suelo presente, ya que una buena estructura del suelo presenta valores de Da bajos, así como suelos con proporciones similares de arenas, limos y arcillas.

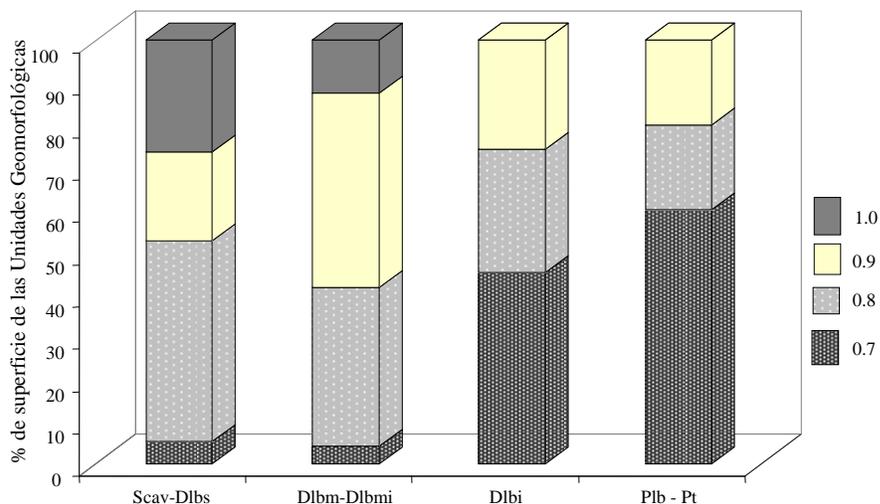


Fig. 4.11. Distribución de la densidad aparente en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT. Categoría: Bajo 0.7-0.9; Medio 1.0-1.2 (Muñoz *et al.* 2000).

#### 4.2.1.4 Densidad Real (Dr)

Los resultados muestran que la Dr en los distintos componentes geomorfológicos van de muy bajos (con valores de 2.15-2.25 g/cm<sup>3</sup>) a bajos (2.26-2.36 g/cm<sup>3</sup>), Figura 4.12, ya que los suelos derivados de cenizas volcánicas generalmente tienen baja densidad real y son ricos en MO (Aguilera, 1989). La densidad real baja indica que las partículas granulométricas son menos pesadas como las arcillas y los limos, por lo tanto tienden a sedimentarse más lentamente (Ley de Stokes), lo que tiene relación directa con el tipo de textura presente en el área.

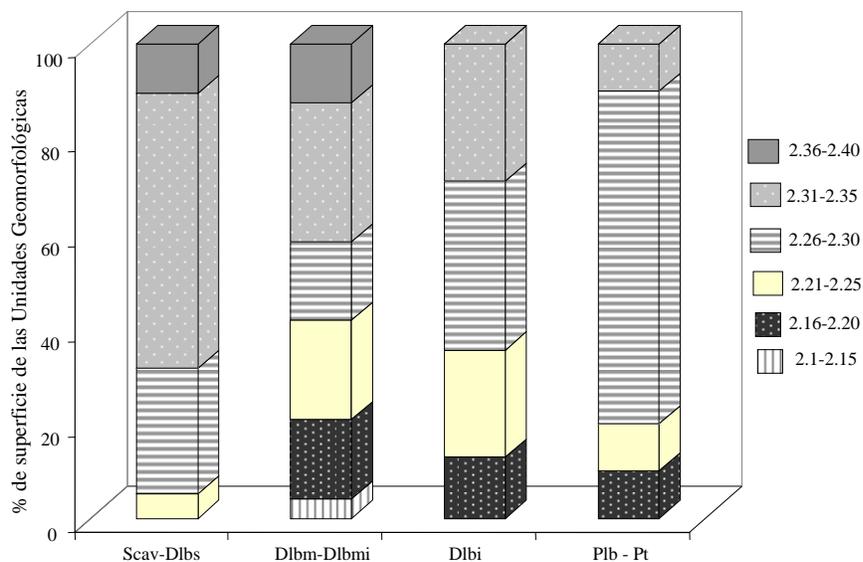


Fig. 4. 12. Distribución de la Densidad real de los diferentes componentes geomorfológicos de las laderas de la EREBRT. Clasificación: Muy Bajo 2.15-2.25; Bajo 2.26-2.36. Categoría modificado de Muñoz *et al.* (2000).

#### 4.2.1.5 Porosidad

Los resultados muestran que los suelos del área de estudio son de medianamente a altamente porosos (Fig. 4.13). La cantidad y diámetro de los poros dependen de la textura, la densidad aparente, la estructura y el contenido de materia orgánica en el suelo. Los suelos de textura arenosa generalmente están compuestos por una gran proporción de poros grandes (o de aereación) lo que permite una buena condición de aereación y movimiento de agua, contrariamente a los suelos de texturas finas que tienen una mayor cantidad de poros pequeños (o capilares), estos últimos se llenan de agua fácilmente, son menos permeables por lo que el agua se acumula y el contenido de aire en el suelo disminuye, afectando así la oxigenación radicular de las plantas, este tipo de textura se encuentra en el dorso de ladera de barranco medio al dorso de ladera de barranco inferior (ver Fig. 4.10 de clase textural) .

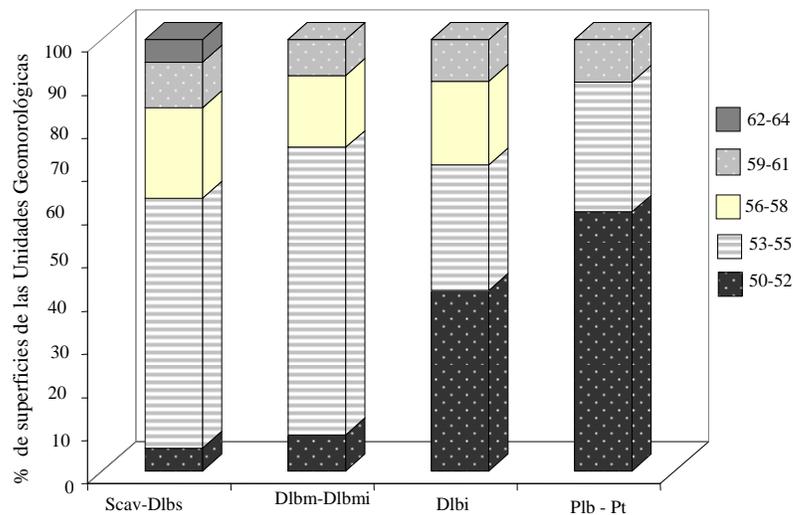


Fig. 4.13. Distribución de la porosidad en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT. Clasificación: Medianamente poroso 40-55 %; Altamente poroso 55-70%. Tomado y modificado de Muñoz *et.al.* (2000).

#### 4.2.1.6 Profundidad del suelo

La profundidad del suelo es somera en la Scav y en los Dlbs, en el 52% de su superficie, mientras que el 48% presenta una profundidad media. El Dlbm y el Dlbmi muestran suelos someros en el 63% de su área y suelos con profundidad media en el 37%. En el Dlbi se presenta el 47% de su área con suelos someros y el 53% con suelos de profundidad media y en el Plb y Pt predominan los suelos de profundidad media en el 80% del área (Fig. 4.14). En el mapa de profundidad

ubicado en el anexo B (Fig.B8) se muestran áreas de más de 70 cm de profundidad presentes en los componentes geomorfológicos más bajos de las laderas, resultados que también resalta Ayala-García (2008). Los suelos someros tienen una profundidad de entre 0 y 25 cm los cuales están en estrecha relación con el grado de inclinación de la ladera; los suelos de profundidad media (26 a 50 cm) son sitios de acumulación y de pendientes poco pronunciadas, además la vegetación contribuye a evitar la pérdida del suelo por efecto de la lluvia.

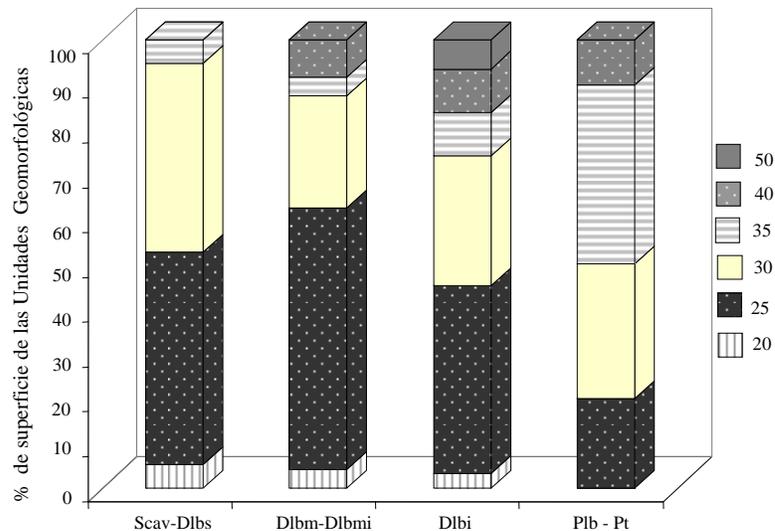


Fig. 4.14. Distribución de la profundidad en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT Clasificación: suelo somero de 0-25 cm; suelo medio 26-50 cm (Siebe *et al.*, 1996).

#### 4.2.1.7 Compactación

Los suelos de la estación tienden a ser fuertemente compactados, sin embargo, en los Dlbi y Plb-Pt se presentan suelos con compactación media en un 26% y 30% respectivamente. Los suelos medianamente compactados tienen valores que van de los 330 a 380 unidades PSI (libras por pulgada cuadrada) y los fuertemente compactados van de los 380-430 unidades PSI. Se infiere que los altos valores de compactación registrados se deben al efecto del ganado bovino y equino que pasta libremente en el área. La compactación en los primeros 30 cm de profundidad en los diferentes componentes geomorfológicos del área de estudio se muestra en la Fig 4.15.

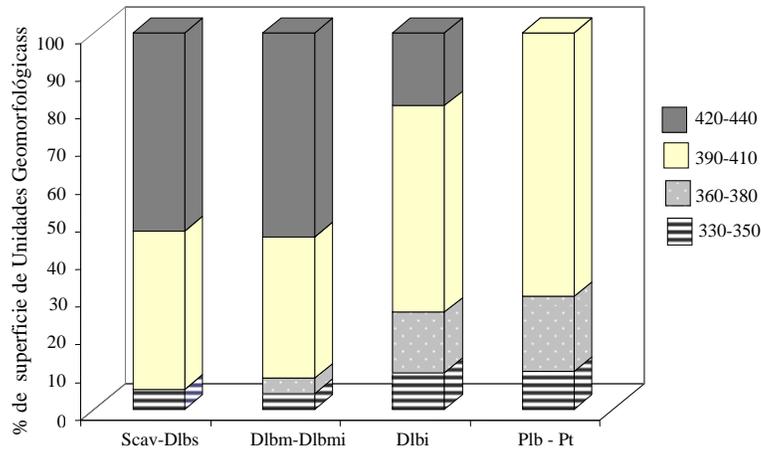


Fig.4.15. Distribución de la compactación en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT. Clasificación: medianamente compacto 330-380 PSI, fuertemente compacto 380-430 PSI. Clasificación propia de acuerdo al sistema trabajado.

## 4.2.2 Propiedades químicas del suelo

### 4.2.2.1 pH

Las UG de la Scav- Dlbs y el Dlbn-Dlbmi presentan un pH moderadamente ácido en el 75% y 70% de su área respectivamente, mientras que el Dlbi y el Plb-Pt presentan en un 68% y un 70% de su área respectivamente pH tendiente a ligeramente ácido. El pH moderadamente ácido presenta un intervalo de 5.0-5.5, el cual indica moderada deficiencia en bases y el ligeramente ácido va de 5.6 a los 6.5. En estos intervalos de pH el desarrollo de las plantas es bueno, ya que la disponibilidad de micronutrientes aumenta y la actividad microbiana alcanza su mayor intensidad favoreciendo la descomposición de la materia orgánica. El pH que se registra en el área de la EREBRT se muestra en la Fig.14.16.

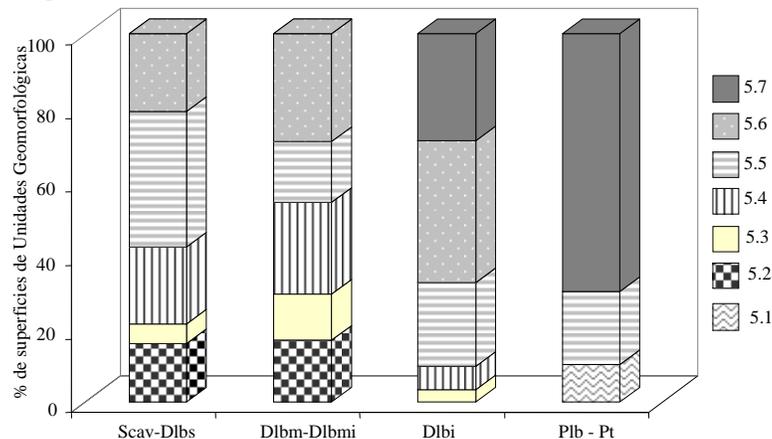


Fig.4.16. Distribución del pH en los diferentes componentes de las laderas de la EREBRT. Clasificación: moderadamente ácido: 5.0-5.5, moderada a ligeramente ácido 5.5-6.5. Tomado y modificado de Cepeda (1991).

#### 4.2.2.2 Materia orgánica (MO)

La distribución de la MO en el área de estudio se muestra en la Fig.4.17. Las UG ubicadas en la Scav - Dlbs y Dlbn - Dlbnmi presentan contenidos de materia orgánica de pobres a medios, mientras que las UG del Dlbi presentan MO predominantemente media y en una menor proporción MO rica y en las UG del Plb y la Pt los contenidos de MO son medios en su totalidad. La proporción de MO está estrechamente relacionado con el tipo de vegetación que se presentan en estos sitios. Los porcentajes de MO medios y ricos están relacionados con Da bajas, debido a que la MO ayuda en la agregación de minerales secundarios, por lo tanto un buen desarrollo estructural, CIC medias y altas, y condiciones tendientes a la neutralidad en el pH.

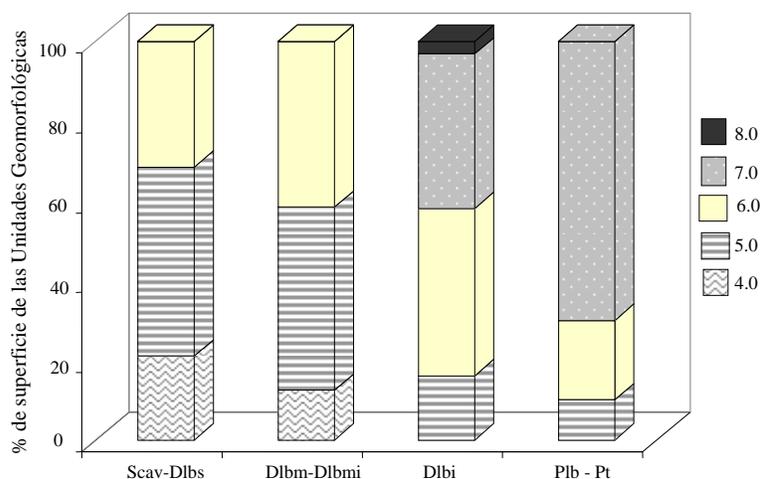


Fig. 4.17. Distribución espacial de la MO en los diferentes componentes de la ladera de la EREBRT. Clasificación: rico 8-15, medio 5.1- 7.0, pobre 2.1-5.0. Clasificación tomada de Fassbender y Barnemisza (1987).

#### 4.2.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La distribución espacial de la CIC en el área de estudio se representa en la Fig.4.18. Las Scav y los Dlbn presentan suelos con CIC medias en el 79% de su superficie y el 21% presenta suelos con CIC bajo. Los Dlbn y Dlbnmi presentan en la totalidad de su área suelos con una CIC media, al igual que el Dlbi, el Plb y la Pt muestran esta tendencia. La categoría de CIC baja se presenta en suelos con texturas franco arenosas, en los cuales la fertilidad natural en cuanto a disponibilidad de nutrientes es baja, y la CIC media corresponde a suelos con texturas franca, franco arcillo arenosas, cuya fertilidad es de moderada a alta.

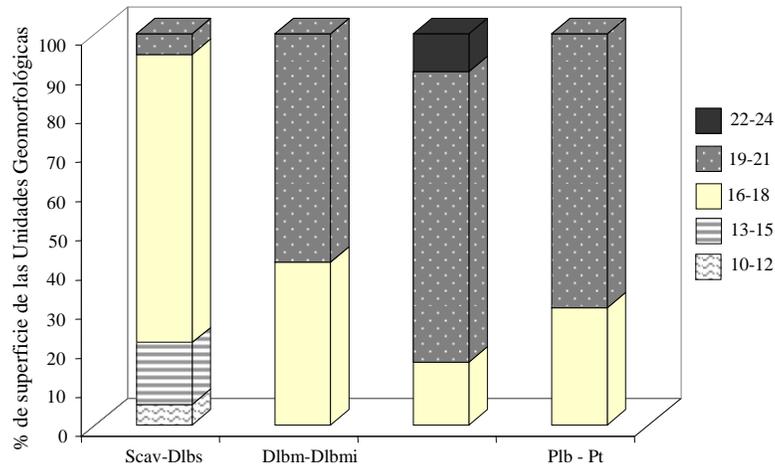


Fig. 4.18. Distribución espacial de la CIC en los diferentes componentes de la ladera en la EREBRT. Clasificación: bajo =  $<15(\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1})$ , medio =  $15.1 - 30.0 (\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1})$ . Muñoz *et al.* (2000).

Los gráficos anteriores provienen del cruzamiento de datos del mapa de interpolación de cada variable edáfica con el mapa de unidades geomorfológicas. Los mapas de interpolación a toda el área de estudio de cada una de las propiedades del suelo se encuentran en el Anexo B.

#### 4.3 Caracterización de la vegetación de la EREBRT

La fotointerpretación de las unidades de vegetación basada en los patrones texturales de las fotografías, dio como resultado 98 unidades clasificadas en ocho clases de cobertura de vegetación y una clase sin vegetación.

De acuerdo con su densidad de cobertura vegetal estas clases se agruparon en tres categorías: denso, medianamente denso y poco denso. En las asociaciones el criterio de la densidad se aplica al segundo componente vegetal. El resultado por densidad en la cobertura vegetal son 13 clases (Fig.4.19). La extensión del pastizal inducido denso es superior a todas las otras coberturas vegetales, ya que abarca 40.1 ha del área, el siguiente en área es el pastizal inducido con huizaches poco denso con 18.4 ha y posteriormente la cobertura de pastizal inducido con remanentes de selva baja caducifolia medianamente denso que abarca una extensión de 17.8 ha. El Cuadro 4.8, muestra lo anterior, así como el número de sitios de muestreo por cobertura.

Cuadro 4.8. Clasificación de las unidades de vegetación y su extensión en la EREBRT.

Clases de Cobertura	Densidad	Clave	No. de Sitios de Muestreo	Superficie (ha)	% Superficie
Selva baja caducifolia	denso	Sbc(d)	6	14.3	10.06
	medianamente denso	Sbc(md)	5	8.6	6.05
	poco denso	Sbc(pd)	4	8.8	6.16
Selva baja caducifolia con <i>Juniperus</i>	denso	Sbc(J)d	2	4.6	3.23
	medianamente denso	Sbc(J)md	0	1.8	1.28
Encinar	Denso	Q (d)	1	3.0	2.14
Encinar con remanentes de Selva baja caducifolia	medianamente denso	Q(Sbc)md	0	1.3	0.96
Pastizal inducido	Denso	Pi	16	40.1	28.08
Pastizal inducido con remanentes de Selva baja caducifolia	Medianamente denso	Pi(FSbc)md	11	17.8	12.47
	poco denso	Pi(FSbc)pd	2	5.0	3.50
Pastizal inducido con huizaches	denso	Pi(h)d	5	14.4	10.12
	poco denso	Pi(h)pd	6	18.4	12.90
Pastizal inducido con <i>Juniperus</i>	Poco denso	Pi(J)pd	0	1.4	1.02
Sin vegetación	-----	Sv		2.9	2.03
			Total= 58	Total=143.01	Total=100

El enfoque de diferenciación espacial se basó en la posición topográfica de las unidades geomorfológicas (UG). Estos resultados provienen del cruzamiento de información, mediante la sobreposición de capas; el mapa de unidades de vegetación (UV) se cruzó con el mapa de UG, obteniéndose así el tipo de vegetación dominante en cada UG.

En la superficie cumbral del abanico volcánico (Scav) y el dorso de ladera de barranco superior (Dlbs) el tipo de vegetación dominante es el pastizal inducido (Pi) con el 40% de dominancia, seguida de la asociación de pastizal con huizaches poco denso (Pi(h)pd) con un porcentaje de 30%. En el dorso de ladera de barranco medio (Dlbm) y dorso de ladera de barranco medio inferior (Dlbmi) el tipo de vegetación dominante es el Pi en el 50% del área y subsecuentemente se encuentra el pastizal inducido con remanentes de selva baja caducifolia medianamente densa (Pi(FSbc)md) distribuida en el 17% de estas unidades (Fig. 4.20).

*Cobertura Vegetal de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe*

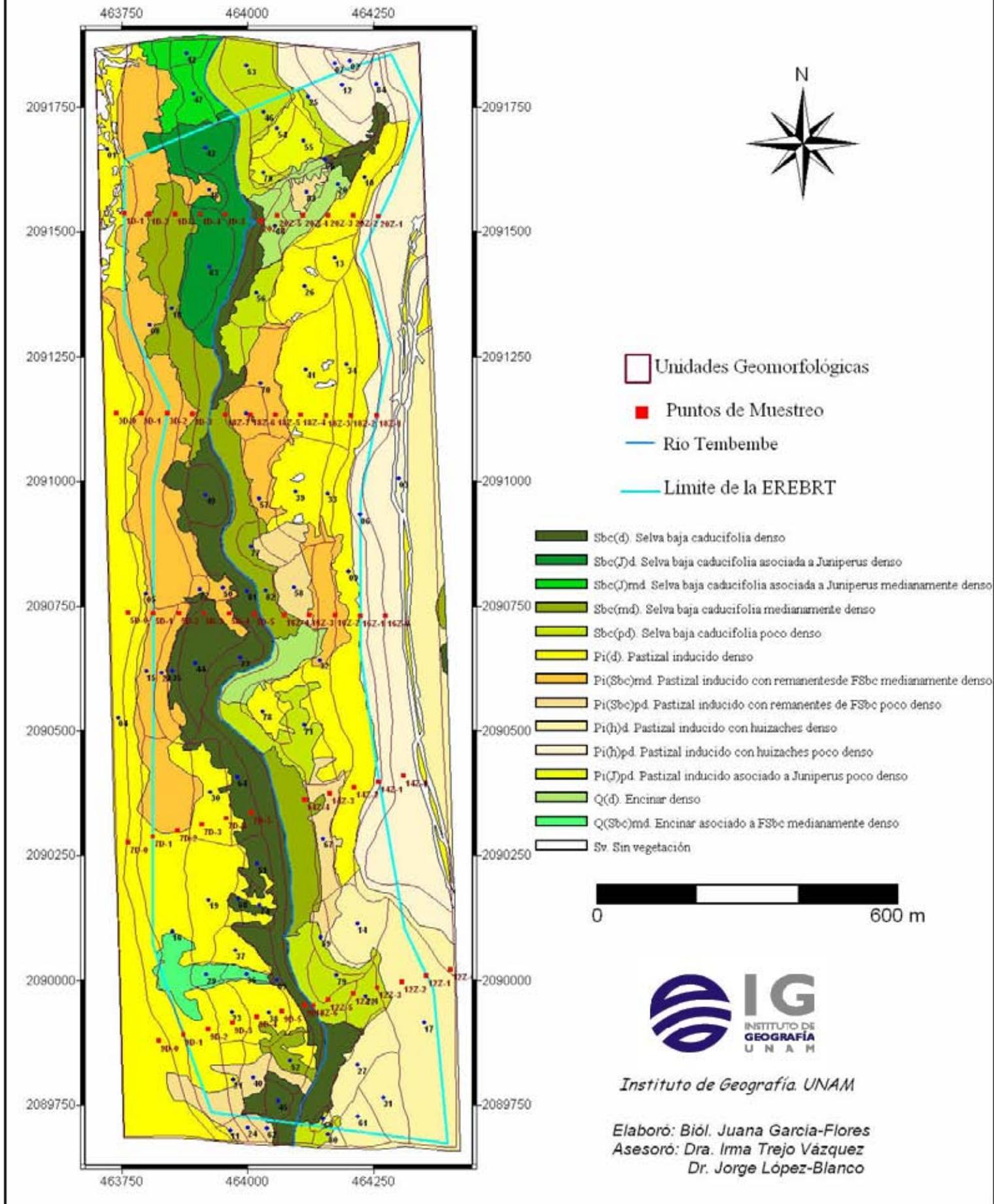


Fig. 4.19. Representación del mapa de cobertura vegetal de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe, Morelos, México.

En el dorso de ladera de barranco inferior (Dlbi) se nota una clara presencia de la selva baja caducifolia densa (Sbc(d)), ya que abarca el 32% del área y con un 23% de distribución está la selva baja caducifolia poco densa (Sbc(pd)). En los piedesdeladera de barranco (Plb) y pared de *talweg* (Pt) domina la selva baja caducifolia densa (Sbc(d)) y poco densa (Sbc(pd)) en un 30% en ambos casos. La Fig. 4.20 hace referencia a la distribución espacial de la cobertura vegetal en los distintos componentes de las laderas. En el mapa de vegetación se observan las distintas coberturas (Fig. 4.19).

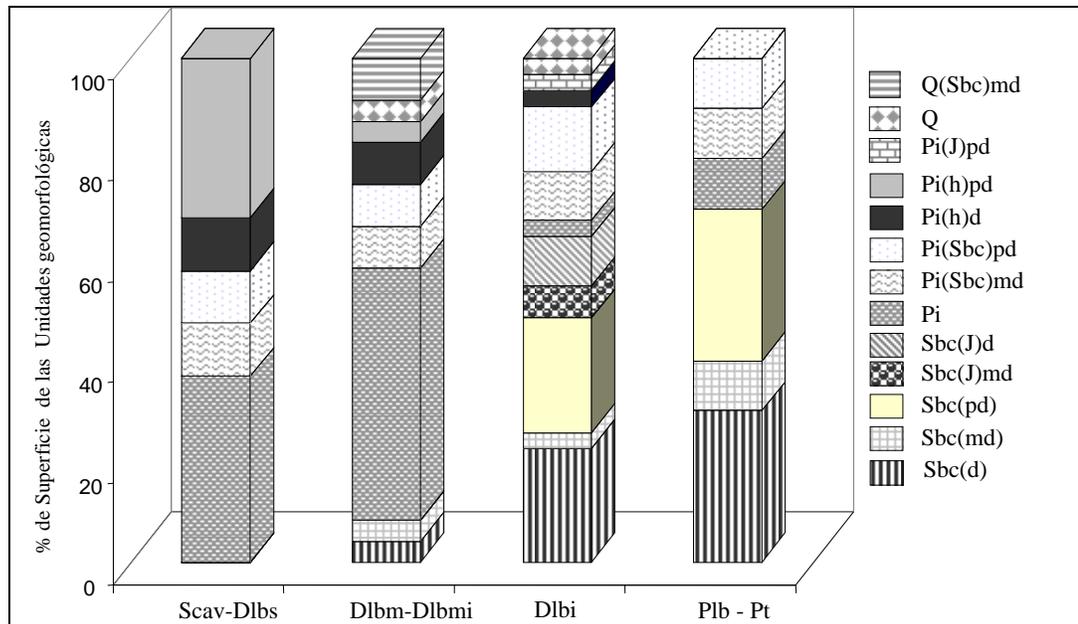


Fig.4.20.Representación gráfica de los diferentes tipos y asociaciones de vegetación distribuidas en los diferentes componentes y clases de las laderas.

#### 4.3.1. Composición florística de la EREBRT

La composición florística de la EREBRT está representada por 42 familias, 98 géneros y 153 especies, siendo Leguminosae la familia más representativa con 25.5% de las especies, seguida de Asteraceae con el 15 %, Rubiaceae con el 5.8 % y Burseraceae con 5.2% de las especies (Cuadro 4.9). El listado florístico se muestra en el Anexo C. La familia Leguminosae es también la que registra mayor frecuencia a lo largo de la EREBRT con el 62%, seguida de Asteraceae 22 % y Verbenaceae 19% (Fig. 4.21). Las especies que tienen una amplia distribución en la EREBRT son: *Lantana hispida* y *Acacia farnesiana* con 17.2%.

**Cuadro 4.9.** Número de especies por familia y su proporción respecto del total.

<i>Familia</i>	<i>No. de Especies</i>	<i>% con respecto del total</i>
Leguminosae	39	25.5
Asteraceae	23	15.03
Rubiaceae	9	5.88
Burseraceae	8	5.23
Euphorbiaceae	7	4.58
Lamiaceae	6	3.92
Poaceae	5	3.27
Moraceae	4	2.61
Acanthaceae	3	1.96
Malvaceae	3	1.96
Solanaceae	3	1.96
Malpighiaceae	3	1.96
Boraginaceae	3	1.96
Polypodiaceae	3	1.96
Sapindaceae	2	1.31
Sterculiaceae	2	1.31
Tiliaceae	2	1.31
Ulmaceae	2	1.31
Verbenaceae	2	1.31
Dioscoreaceae	2	1.31
Alstroemeriaceae	1	0.65
Annonaceae	1	0.65
Apocynaceae	1	0.65
Bignoniaceae	1	0.65
Bombacaceae	1	0.65
Caprifoliaceae	1	0.65
Celastraceae	1	0.65
Commelinaceae	1	0.65
Cupressaceae	1	0.65
Fagaceae	1	0.65
Nyctaginaceae	1	0.65
Oleaceae	1	0.65
Passifloraceae	1	0.65
Rutaceae	1	0.65
Selagilellaceae	1	0.65
Agavaceae	1	0.65
Cactaceae	1	0.65
Convolvulaceae	1	0.65
Loranthaceae	1	0.65
Polygalaceae	1	0.65
Rosaceae	1	0.65
Turneraceae	1	0.65

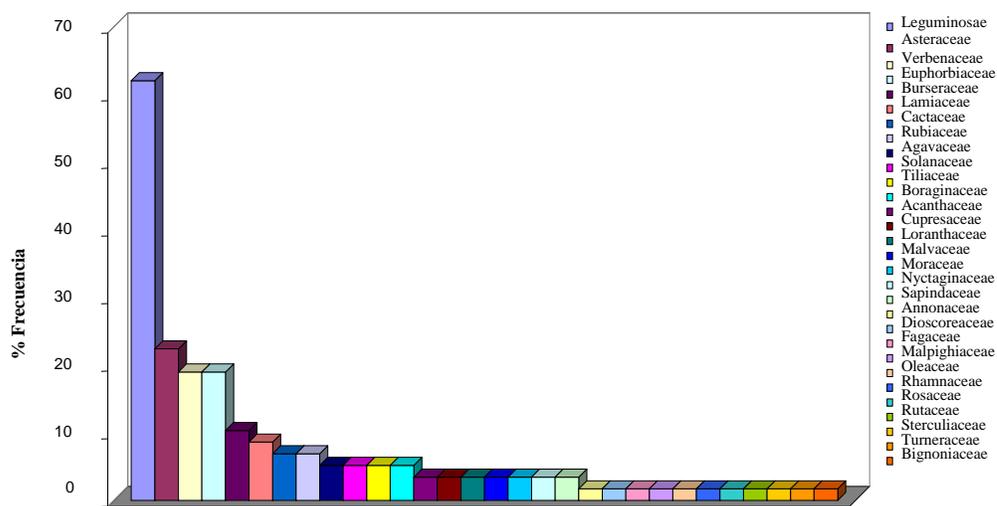


Fig. 4.21. Frecuencia de las familias botánicas presentes en la EREBRT.

### 4.3.2 Estructura

Los parámetros estructurales para las coberturas vegetales obtenidas en este trabajo, se describen basados en los datos obtenidos de los muestreos. El número de sitios de muestreo por cobertura se muestran en el Cuadro 4.8. A continuación se explican los resultados de las variables altura, densidad, frecuencia, área basal y valor de importancia relativa.

#### 4.3.2.1 Altura

En la Sbc(d) sobresale por su altura que alcanza los 10 m *Ateleia pterocarpa* y los 8 m está representado por *Annona cherimola*, en la Sbc(J)d también hay árboles con altura de 8 m como *Juniperus flacida* y *Lysiloma sp.* En la primera cobertura se encuentra la mayor densidad de lianas y el número de individuos de arbustos sólo es superado por los que se encuentran en la cobertura de Pi(Sbc)md aunque con una altura menor que los primeros. En la Sbc(md) y Sbc(pd) la talla en los árboles es muy similar y hay una alta diferencia en la proporción de arbustos así como en su altura. El estrato arbóreo en la cobertura de Q(d) está representada por *Quercus glaucooides* con una altura de 3 m y arbustos como *Salvia sessei* alcanzan la misma talla. En los Pastizales el estrato arbóreo es escaso, se observan arbustos como *Acacia farnesiana* y *Lantana hispida*. En el Pi(Sbc)md y en el Pi(d) se registró una proporción elevada de renuevos de árboles (Cuadro 4.10).

Cuadro 4.10. Número y proporción de individuos de árboles, arbustos, lianas y renuevos de árboles en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT.

	Sbc(d)			Sbc(md)			Sbc(pd)			Sbc(J)d			Q(d)		
	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)
<b>Árboles</b>	17	24.6	1.65-10.0	10	16.7	1.90- 6.0	15	57.7	1.80-5.70	10	47.6	2.0 – 8.0	1	7.7	3.0
<b>Arbustos</b>	37	53.6	0.20-3.0	35	58.3	0.20-2.80	5	19.2	0.60-1.80	7	33.3	0.30 – 4.0	10	76.9	0.25- 3.0
<b>Renuevos</b>	11	15.9	0.30-1.50	15	25.0	0.20-1.35	4	15.4	0.20-1.35	4	19.0	0.20-0.30	2	15.4	0.25-0.35
<b>Lianas</b>	4	5.8		0	0.0	0	2	7.7		0	0.0	0	0	0.0	0
<b>Total</b>	69	100		60	100		26	100		21	100		13	100	

Continuación Cuadro 4.10.

	Pi(Sbc)md			Pi(Sbc)pd			Pi(h)d			Pi(h)pd			Pi(d)		
	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)	No. ind	%	Int. de Altura (m)
<b>Arboles</b>	6	9.1	1.70-2.95	1	33.3	2.35	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0
<b>Arbustos</b>	38	57.6	0.20-1.80	0	0.0	0	11	84.6	0.20-3.55	11	91.7	0.20-1.70	10	32.3	0.20-0.94
<b>Renuevos</b>	22	33.3	0.20-1.35	2	66.7	0.50-1.0	2	15.4	0.20	1	8.3	0.30	21	67.7	0.20-0.75
<b>Lianas</b>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<b>Total</b>	66	100		3	100		13	100		12	100		31	100	

#### 4.3.2.2. Densidad

Las especies con mayor densidad en las diferentes coberturas de selva y el encinar fueron: *Randia sp.*, *Euphorbia schlechtendalii*, *Viburnum stellatum* y *Lantana hispida*, y en las coberturas de pastizal *Lantana hispida* y *Acacia farnesiana*, así como especies de la familia Acanthaceae y Leguminosae. El Pi(Sbc)pd está representado en igual porcentaje por *Diphysa carthagenensis*, *Lysiloma sp.* y *Mimosa sp.* En la Sbc(d) 22 especies se encuentran representadas por un solo individuo, como *Juniperus flacida*, *Dioscorea remotiflora*, *Croton reflexifolius*, *Ateleia pterocarpa*, *Erytrina coralloides* y *Celtis iguanaea*, por citar algunas. En la Sbc(md) 12 especies registran un solo individuo, como *Randia thurberi*, *Fraxinus uhdei*, *Galphimia aff. glauca*, *Eysenhardtia polystachya* y *Bursera copallifera*; en la Sbc(pd) sólo dos de las 19 especies presentes se encuentran por arriba de un individuo; en la Sbc(J)d ocho especies de trece tienen un individuo, en Q(d) la mitad de sus especies presentan esta condición. En el Pi(Sbc)md siete de sus 21 especies y en el Pi(h)d dos de sus tres especies que son: *Acacia pennatula* y *Brongniartia lupinoides*; en Pi(h)pd una de sus dos especies y en el Pi(d) una de sus cinco especies. La densidad y proporción de las especies más sobresalientes se muestran en el Cuadro 4.11.

Cuadro 4.11. Especies con mayor densidad relativa en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT.

<i>Sbc(d)</i>			<i>Sbc(md)</i>			<i>Sbc(pd)</i>			<i>Sbc(J)d</i>			<i>Q(d)</i>		
<i>Sp.</i>	No. ind	%	<i>Sp.</i>	No. ind	%	<i>Sp.</i>	No. ind	%	<i>Sp.</i>	No. ind	%	<i>Sp.</i>	No. ind	%
Acanthaceae Sp.	10	14.5	<i>Randia sp.</i>	12	20.0	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	7	26.9	<i>Viburnum stellatum</i>	3	14.3	<i>Lantana hispida</i>	6	46.2
Asteraceae sp.	4	5.8	<i>Senna holwayana</i> var <i>holwayana</i>	5	8.3	<i>Malvaviscus arboreus</i> var. <i>Mexicanus</i>	2	7.7	<i>Salvia purpurea</i>	3	14.3	<i>Salvia sessei</i>	2	15.4
<i>Ageratina liebmannii</i>	4	5.8	<i>Salvia sessei</i>	3	5.0	<i>Bursera fagaroides</i>	1	3.8	<i>Lysiloma sp.</i>	2	9.5	Leguminosae sp8	2	15.4
<i>Salvia sessei</i>	4	5.8	<i>Mimosa albida</i>	3	5.0	<i>Bursera aspleniifolia</i>	1	3.8	<i>Juniperus flacida</i> .	1	4.8	<i>Quercus glaucooides</i>	1	7.7
<i>Brongniartia sp.1</i>	4	4.3	<i>Solanum lanceolatum</i>	3	5.0	<i>Malvaviscus arboreus</i> var. <i>mexicanus</i>	1	3.8	<i>Croton reflexifolius</i>	1	4.8	<i>Sida glabra</i>	1	7.7
<i>Randia thurberi</i>	4	5.8	<i>Heliocarpus terebinthanceus</i>	3	5.0	<i>Ficus insipida</i>	1	3.8	<i>Senna holwayana</i> var <i>holwayana</i>	1	4.8	<i>Rosaceae sp.1</i>	1	7.7
<i>Guapira macrocarpa</i>	3	4.3	<i>Lantana hispida</i>	3	5.0	<i>Brongniartia lupinoides</i>	1	3.8	<i>Zanthoxylum limoncello</i>	1	4.8			
<i>Pithecoctenium crucigerum</i>	2	2.9	<i>Ageratina liebmannii</i>	2	3.3	<i>Canavalia villosa</i>	1	3.8	<i>Digitacalia crypta</i>	1	4.8			
<i>Chiococca alba</i>	2	2.9	<i>Viguiera dentata</i>	2	3.3	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	1	3.8	<i>Otopappus imbricatus</i>	1	4.8			
<i>Dodonea viscosa</i>	2	2.9	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	2	3.3	<i>Senna holwayana</i> var <i>holwayana</i>	1	3.8	<i>Brongniartia sp.1</i>	1	4.8			
<i>Celtis caudata</i>	2	2.9	<i>Acacia pennatula</i>	2	3.3	<i>Ficus insipida</i>	1	3.8	<i>Bouvardia sp1</i>	1	4.8			
Total		57.9			66.7			69.2			76.2			100

#### Continuación Cuadro 4.11.

<b>Pi(Sbc)md</b>	No. ind	%	<b>Pi(Sbc)pd</b>	No. ind	%	<b>Pi(h)d</b>	No. ind	%	<b>Pi(h)pd</b>	No. ind	%	<b>Pi(d)</b>	No. ind	%
<i>Lantana hispida</i>	24	36.4	<i>Diphysa carthagenensis</i>	1	33.3	<i>Acacia farnesiana</i>	11	84.6	<i>Acacia farnesiana</i>	11	91.7	Leguminosae sp5	19	61.3
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	4	6.1	<i>Lysiloma sp.1</i>	1	33.3	<i>Acacia pennatula</i>	1	7.7	<i>Bursera glabrifolia</i>	1	8.3	<i>Acacia farnesiana</i>	7	22.6
<i>Lysiloma acapulcense</i>	4	6.1	<i>Mimosa sp.1</i>	1	33.3	<i>Brongniartia lupinoides</i>	1	7.7				<i>Lantana hispida</i>	3	9.7
<i>Digitacalia crypta</i>	5	7.6										Leguminosae sp7	1	3.2
<i>Bursera aspleniifolia</i>	3	4.5										<i>Bursera glabrifolia</i>	1	3.2
Total		60.6			100			100			100			100

#### 4.3.2.3. Frecuencia

*Guapira macrocarpa*, *Randia thurberi* y *Celtis caudata* fueron las especies con mayor frecuencia en la Sbc(d). En Sbc(md) *Heliocarpus terebinthanceus* y *Lantana hispida* sobresalen. En la Sbc(pd) *Euphorbia schlechtendalii* es la especie sobresaliente. En las coberturas de Sbc(J)d, Q(d) y el Pi(Sbc)pd el 100% de sus especies solo se encontraron en un cuadrante de muestreo, por lo que presentan frecuencias similares. En el Pi(Sbc)md *Lysiloma acapulcense* es representativa y

en el Pi(h)d, Pi(h)pd y Pi(d) *Acacia farnesiana* es la más frecuente, así como *Lantana hispida* en la última cobertura (Cuadro 4.12).

Cuadro 4.12. Frecuencia relativa de las especies de las distintas coberturas de vegetación de la EREBRT. (No.C = Número de cuadrantes).

<b>Sbc(d)</b>	No. C	%	<b>Sbc(md)</b>	No. C	%	<b>Sbc(pd)</b>	No. C	%	<b>Sbc(J)d</b>	No. C	%	<b>Q(d)</b>	No. C	%
<i>Guapira macrocarpa</i>	2	5.1	<i>Heliocarpus terebinthaceus</i>	3	8.3	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	2	10.0	<i>Digitacalia crypta</i>	1	7.7	<i>Lantana hispida</i>	1	16.7
<i>Randia thurberi</i>	2	5.1	<i>Lantana hispida</i>	3	8.3	<i>Malvaviscus arboreus</i> var. <i>Mexicanus</i>	1	5.0	<i>Otopappus imbricatus</i>	1	7.7	<i>Salvia sessei</i>	1	16.7
<i>Celtis caudata</i>	2	5.1	<i>Ageratina liebmannii</i>	2	5.6	<i>Bursera fagaroides</i>	1	5.0	<i>Viburnum stellatum</i>	1	7.7	<i>Quercus glaucoides</i>	1	16.7
<i>Ageratina liebmannii</i>	1	2.6	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	2	5.6	<i>Bursera asplenifolia</i>	1	5.0	<i>Juniperus flacida</i>	1	7.7	<i>Sida glabra</i>	1	16.7
<i>Salvia sessei</i>	1	2.6	<i>Salvia sessei</i>	2	5.6	<i>Ficus insipida</i>	1	5.0	<i>Croton reflexifolius</i>	1	7.7	<i>Rosaceae sp.</i>	1	16.7
<i>Brongniartia sp.1</i>	1	2.6	<i>Diphysa punctata</i>	2	5.6	<i>Brongniartia lupinoides</i>	1	5.0	<i>Salvia purpurea</i>	1	7.7	<i>Leguminosae sp.</i>	1	16.7
<i>Pithecoctenium crucigerum</i>	1	2.6	<i>Senna holwayana</i> var. <i>holwayana</i>	2	5.6	<i>Canavalia villosa</i>	1	5.0	<i>Brongniartia sp.</i>	1	7.7			
<i>Chiococca alba</i>	1	2.6	<i>Bursera copallifera</i>	1	2.8	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	1	5.0	<i>Lysiloma sp.</i>	1	7.7			
<i>Dodonea viscosa</i>	1	2.6	<i>Acacia pennatula</i>	1	2.8	<i>Senna holwayana</i> var. <i>holwayana</i>	1	5.0	<i>Senna holwayanavar holwayana</i>	1	7.7			
<i>Phisalis pubescens</i>	1	2.6	<i>Fraxinus uhdei</i>	1	2.8	<i>Nissolia fruticosa</i>	1	5	<i>Bouvardia sp</i>	1	7.7			
<i>Celtis iguanaea</i>	1	2.6	<i>Galphimia aff. glauca</i>	1	2.8	<i>Digitacalia crypta</i>	1	5	<i>Zanthoxylum limoncello</i>	1	7.7			
<i>Ateleia pterocarpa</i>	1	2.6	<i>Randia thurberi</i>	1	2.8	<i>Bursera sp2</i>	1	5	<i>Turnera sp</i>	1	7.7			
<i>Brongniartia intermedia</i>	1	2.6	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	1	2.8	<i>Hyptis mociniana</i>	1	5	<i>Asteraceae sp</i>	1	7.7			
<i>Gliricidia sepium</i>	1	2.6	<i>Lysiloma sp.1</i>	1	2.8	<i>Randia aculeata</i>	1	5						
<i>Erytrina coralloides</i>	1	2.6	<i>Viguiera dentata</i>	1	2.8	<i>Lycianthes pilosissimum</i>	1	5						
<i>Mimosa albida</i>	1	2.6	<i>Mimosa albida</i>	1	2.8	<i>Lantana hispida</i>	1	5						
<i>Senna holwayana</i> var. <i>holwayana</i>	1	2.6	<i>Waltheria americana</i>	1	2.8	<i>Asteraceae sp</i>	1	5						
<i>Annona cherimola</i>	1	2.6	<i>Randia sp.1</i>	1	2.8	<i>Ficus sp.</i>	1	5						
<i>Bursera mirandae</i>	1	2.6	<i>Croton sp1</i>	1	2.8	<i>Salvia sp.</i>	1	5						
Total		56.3			77.8			100.0			100.0			100.0

Continuación Cuadro 4.12. Especies presentes en las coberturas de pastizal y sus asociaciones.

<b>Pi(Sbc)md</b>	No. C	%	<b>Pi(Sbc)pd</b>	No. C	%	<b>Pi(h)d</b>	No. C	%	<b>Pi(h)pd</b>	No. C	%	<b>Pi(d)</b>	No. C	%
<i>Lysiloma acapulcense</i>	3	11.5	<i>Diphysa carthagenensis</i>	1	33.3	<i>Acacia farnesiana</i>	4	66.7	<i>Acacia farnesiana</i>	5	83.3	<i>Acacia farnesiana</i>	3	30.0
<i>Cordia sp2</i>	2	7.7	<i>Lysiloma sp.1</i>	1	33.3	<i>Acacia pennatula</i>	1	16.7	<i>Bursera glabrifolia</i>	1	16.7	<i>Lantana hispida</i>	3	30.0
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	2	7.7	<i>Mimosa sp.1</i>	1	33.3	<i>Brongniartia lupinoides</i>	1	16.7				<i>Leguminosae sp5</i>	2	20.0
<i>Lantana hispida</i>	2	7.7										<i>Leguminosae sp7</i>	1	10.0

<i>Acacia farnesiana</i>	1	3.8									<i>Bursera glabrifolia</i>	1	10.0
<i>Brongniartia intermedia</i>	1	3.8											
<i>Diphysa carthagenensis</i>	1	3.8											
<i>Bursera aspleniifolia</i>	1	3.8											
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	1	3.8											
<i>Salvia lasiantha</i>	1	3.8											
<i>Vitex mollis</i>	1	3.8											
<b>Total</b>		61.5		100.0		100.0		100.0		100.0			100.0

#### 4.3.2.4. Área basal (Dominancia)

Las especies *Chiococca alba*, *Ateleia pterocarpa*, *Salvia sessei* y *Randia thurberi* corresponde al 70% del área basal en la Sbc(d), en cambio en la Sbc(md) sólo *Fraxinus uhdeii* ocupa el 71%; en la Sbc(pd) *Bursera fagaroides* junto con *Euphorbia schlechtendalii* constituyen el 78% del área basal; en la Sbc(J)d *Lysiloma sp.*, *Juniperus flacida* y *Viburnum stellatum* representan el 95% y en el Q(d) *Quercus glaucoides*, *Salvia sessei* y *Lantana hispida* en conjunto tienen el 97%. En el Pi(FSbc)md sobresale *Lysiloma acapulcense*; en el Pi(FSbc)pd *Lysiloma sp.* representa el 95% en área basal y en el Pi(h)d y Pi(h)pd *Acacia farnesiana* es la más representativa, mientras que en el Pi(d) una morfoespecie de Leguminosae sp. y *Bursera glabrifolia* son las que dominan (Cuadro 4.13).

Cuadro 4.13. Dominancia relativa de las especies presentes en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT. (A.B.= Area Basal en cm<sup>2</sup>).

<b>Sbc(d)</b>	A.B.	%	<b>Sbc(md)</b>	A.B.	%	<b>Sbc(pd)</b>	A.B.	%	<b>Sbc(J)d</b>	A.B.	%	<b>Q(d)</b>	A.B.	%
<i>Chiococca alba</i>	1387.2	25.0	<i>Fraxinus uhdeii</i>	3297.9	71.0	<i>Bursera fagaroides</i>	1640.3	66.0	<i>Lysiloma sp.</i>	1131.0	69.5	<i>Quercus glaucoides</i>	29.2	46.1
<i>Ateleia pterocarpa</i>	1075.2	19.4	<i>Heliocarpus terebinthaceus</i>	660.0	14.2	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	299.4	12.1	<i>Juniperus flacida</i>	251.6	15.5	<i>Salvia sessei</i>	21.7	34.2
<i>Salvia sessei</i>	789.8	14.2	<i>Salvia sessei</i>	205.2	4.4	<i>Bursera aspleniifolia</i>	243.3	9.8	<i>Viburnum stellatum</i>	175.5	10.8	<i>Lantana hispida</i>	11.1	17.5
<i>Randia thurberi</i>	583.4	10.5	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	106.710	2.3	<i>Ficus insipida</i>	120.8	4.9	<i>Asteraceae Sp4</i>	48.70	3.0	<i>Leguminosae sp8</i>	1.0	1.6
<i>Annona cherimola</i>	452.4	8.1	<i>Acacia penn</i>	93.345	2.0	<i>Brongniartia lupinoides</i>	105.683	4.3	<i>Zanthoxylum limoncello</i>	13.85	0.9	<i>Sida glabra</i>	0.1	0.2
<i>Euphorbia sp.</i>	380.1	6.8	<i>Mimosa albida</i>	52.200	1.1				<i>Otopappus imbricatus</i>	1.77	0.1	<i>Rosaceae sp.1</i>	0.3	0.4
<b>Total</b>		84.1			95.1			97.0			99.8			100.0

Continuación Cuadro 4.13.

<b>Pi(FSbc)md</b>	A.B.	%	<b>Pi(FSbc)pd</b>	A.B.	%	<b>Pi(h)d</b>	A.B.	%	<b>Pi(h)pd</b>	A.B.	%	<b>Pi(d)</b>	A.B.	%
<i>Lysiloma acapulcense</i>	274.0	46.5	<i>Lysiloma sp.</i>	69.4	95.9	<i>Acacia farnesiana</i>	214.8	97.7	<i>Acacia farnesiana</i>	135.3	77.4	<i>Leguminosae sp5</i>	39.9	61.7

<i>Diphysa carthagenensis</i>	114.6	19.5	<i>Diphysa carthagenensis</i>	2.0	2.8	<i>Acacia pennatula</i>	4.5	2.1	<i>Bursera glabrifolia</i>	39.6	22.6	<i>Bursera glabrifolia</i>	14.5	22.4
<i>Salvia lasiantha</i>	78.5	13.3	<i>Mimosa sp.</i>	1.0	1.3	<i>Brongniartia lupinoides</i>	0.5	0.2			100.0	<i>Acacia farnesiana</i>	7.2	11.1
<i>Lantana hispida</i>	75.2	12.8										<i>Lantana hispida</i>	2.9	4.5
												Leguminosae sp7	0.2	0.3
Total		92.1			100.0				100.0					100.0

#### 4.3.2.5. Valor de importancia relativa

En la Sbc(d) las especies con mayor valor de importancia son *Chiococca alba*, *Ateleia pterocarpa*, *Salvia sessei* y *Randia thurberi*; en la Sbc(md) la especie que sobresale es *Fraxinus uhdeii* por su dominancia; en la Sbc(pd) *Bursera fagaroides* y *Euphorbia schlechtendalii* sobresalen, en la Sbc(J)d *Lysiloma sp.*, *Juniperus flacida* y *Salvia purpurea* son algunas especies que le confieren su estructura. En el Q(d) *Lantana hispida*, *Quercus glaucooides* y *Salvia sessei* tienen los valores de importancia más altos, mientras que en las coberturas de Pi(Sbc)md y Pi(Sbc)pd *Lysiloma acapulcense*, *Lantana hispida*, *Lysiloma sp.*, *Diphysa carthagenensis* y *Mimosa sp.* dan el mayor aporte a la estructura de la vegetación. En las coberturas de Pi(h)d, Pi(h)pd y Pi(d) *Acacia farnesiana*, *Bursera glabrifolia*, *Lantana hispida* y la morfoespecie *Leguminosae sp.*, son las que tienen el mayor valor de importancia (Cuadro 4.14).

Cuadro 4.14. Especies con el mayor valor de importancia relativa en las diferentes coberturas de vegetación de la EREBRT. (Valor de importancia escalado a 100%).

Sbc(d)	%	Sbc(md)	%	Sbc(pd)	%	Sbc(J)d	%	Q(d)	%
<i>Chiococca alba</i>	10.1	<i>Fraxinus uhdeii</i>	25.2	<i>Bursera fagaroides</i>	25.0	<i>Lysiloma sp.</i>	28.9	<i>Lantana hispida</i>	26.8
<i>Ateleia pterocarpa</i>	7.8	<i>Heliocarpus terebinthaceus</i>	9.2	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	16.3	<i>Viburnum stellatum</i>	10.9	<i>Quercus glaucooides</i>	23.5
<i>Salvia sessei</i>	7.5	<i>Randia sp.</i>	7.6	<i>Bursera aspleniifolia</i>	6.2	<i>Juniperus flacida</i>	9.3	<i>Salvia sessei</i>	22.1
<i>Randia thurberi</i>	7.1	<i>Salvia sessei</i>	5.0	<i>Ficus insipida</i>	4.6	<i>Salvia purpurea</i>	7.3	<i>Leguminosae sp.</i>	11.2
<i>Acanthaceae sp1</i>	5.8	<i>Senna holwayana var holwayana</i>	4.8	<i>Brongniartia lupinoides</i>	4.4	<i>Zanthoxylum limoncillo</i>	4.4	<i>Sida glabra</i>	8.2
<i>Guapira macrocarpa</i>	5.0	<i>Lantana hispida</i>	4.5	<i>Malvaviscus arboreus var. Mexicanus</i>	4.3	<i>Digitacalia crypta</i>	4.2	<i>Rosaceae sp.</i>	8.3
<i>Annona cherimola</i>	4.1	<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	3.7	<i>Ficus sp.</i>	3.2	<i>Croton reflexifolius</i>	4.2		
<i>Euphorbia sp1</i>	3.6	<i>Ageratina liebmannii</i>	3.0	<i>Salvia sp.</i>	3.1	<i>Brongniartia sp.</i>	4.2		
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	2.9	<i>Mimosa albida</i>	3.0	<i>Hyptis mociniana</i>	3.1	<i>Senna holwayana var holwayana</i>	4.2		
<i>Ageratina liebmannii</i>	2.8	<i>Acacia pennatula</i>	2.7	<i>Canavalia villosa</i>	3.1	<i>Bouvardia sp</i>	4.2		
<i>Celtis caudata</i>	2.7	<i>Viguiera dentata</i>	2.5	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	3.1	<i>Turnera sp.</i>	4.2		
Total	59.4		71.1		76.2		85.9		100.0

Continuación Cuadro 4.14.

<b>Pi(Sbc)md</b>	<b>%</b>	<b>Pi(Sbc)pd</b>	<b>%</b>	<b>Pi(h)d</b>	<b>%</b>	<b>Pi(h)pd</b>	<b>%</b>	<b>Pi(d)</b>	<b>%</b>
<i>Lysiloma acapulcense</i>	21.4	<i>Lysiloma sp.</i>	54.2	<i>Acacia farnesiana</i>	83.0	<i>Acacia farnesiana</i>	84.1	<i>Leguminosae sp5</i>	47.7
<i>Lantana hispida</i>	18.9	<i>Diphysa carthagenensis</i>	23.1	<i>Acacia pennatula</i>	8.8	<i>Bursera glabrifolia</i>	15.9	<i>Acacia farnesiana</i>	21.2
<i>Diphysa carthagenensis</i>	8.3	<i>Mimosa sp.</i>	22.7	<i>Brongniartia lupinoides</i>	8.2			<i>Lantana hispida</i>	14.7
<i>Salvia lasiantha</i>	6.2							<i>Bursera glabrifolia</i>	11.9
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	4.6							<i>Leguminosae sp7</i>	4.5
<i>Digitocalia crypta</i>	3.9								
<i>Cordia sp2</i>	3.6								
Total	66.9		100		100		100		100

#### **4.4. Relación de los factores ambientales: geomorfológicos, edafológicos y de vegetación de las Unidades Naturales.**

##### *4.4.1. Análisis de cluster*

Los resultados de éste análisis muestran seis agrupaciones homogéneas internamente (mínima varianza) y diferentes entre sí (máxima varianza) (Fig. 4.23). La agrupación de las unidades está referida a su posición topográfica, las unidades naturales que se ubican en el Dlbi, son las que se encuentran en mayor número en las laderas y por su heterogeneidad ambiental, comparten rasgos ambientales con unidades que se ubican en otras posiciones topográficas, por ello se encuentran en cuatro grupos distintos.

El primer grupo está formado por catorce unidades naturales ubicadas tanto en la superficie cumbral de abanico volcánico (Scav) como en el dorso de ladera de barranco inferior (Dlbi). La geometría del relieve dominante es la forma convexa, seguida de la plana. El segundo grupo está representado por siete unidades ubicadas en el hombro de ladera de barranco y en el dorso de ladera de barranco superior (Hlb-DlBs), por su posición presentan un relieve con formas planas, convexas y cóncavas. El tercer grupo está representado por veintisiete unidades que se ubican en el dorso de la ladera de barranco media y el dorso de la ladera de barranco inferior, con forma del relieve mixta y convexa como dominantes, mientras que las formas cóncavas y planas están representadas equitativamente. El cuarto grupo está integrado por ocho unidades ubicadas en la

superficie cumbral de abanico volcánico y el piedeladera, presentan exposición E y W. El quinto grupo está conformado por veinticinco unidades que se localizan en su mayoría en el dorso de la ladera de barranco inferior y el piedeladera, con la forma convexa como dominante. El sexto grupo está representado por tres unidades naturales distribuidas en el Dorso de ladera de barranco inferior y la Pared de *talweg*, presentan geometría mixta y exposición W y E (Fig. 4.23). La descripción a detalle de cada grupo de unidades naturales se presenta más adelante.

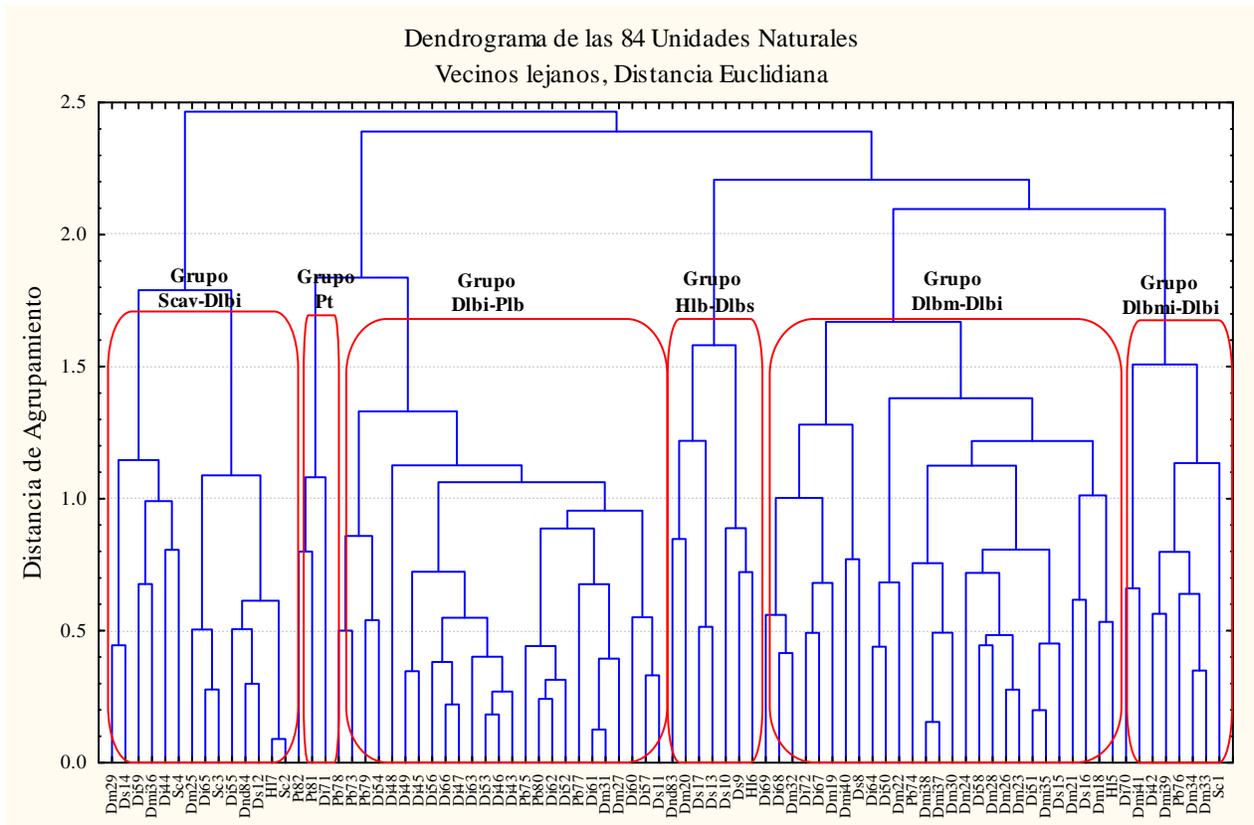


Fig. 4.23. Representación gráfica del análisis de *cluster* de las 84 unidades naturales presentes en la EREBRT. La agrupación se observa que está en función de su posición topográfica.

El análisis de *cluster* como técnica de agrupación de variables similares no muestra las variables que influyen en la formación de los grupos de unidades naturales, por ello fue necesario complementar este análisis con la técnica de análisis de componentes principales, ya que éste indica que variables son las más importantes para identificar grupos de unidades.

#### 4.4.2 Análisis de Componentes Principales

Para conocer las variables de mayor importancia que agrupan a las unidades naturales se empleó el Análisis de Componentes Principales (ACP).

Se analizaron 24 variables de los tres factores ambientales (geomorfología, suelo y vegetación), diez de las cuales son geomorfológicas, doce de suelo y dos del tipo de cobertura vegetal dominante en cada unidad. La lista de las variables empleadas se muestra en el Cuadro 4.16. Del ACP se obtuvieron los valores significativos de los eigenvalores.

El análisis muestra nueve eigenvalores significativos, se consideraron nueve eigenvalores por explicar el 83% de varianza total de la población. No se presenta un solo factor que explique un alto porcentaje de la varianza, sino que diversos factores contribuyen. El primer eigenvalor explica la varianza más alta y está representado por cuatro variables (Cuadro 4.15).

Cuadro 4.15. Eigenvalores significativos de las variables analizadas de los factores ambientales.

<b>Eigenvalores de la matriz de correlación ACP, valores representativos rotados con Varimax</b>				
<b>Valores</b>	<b>Eigenvalores</b>	<b>% Total de la varianza</b>	<b>Eigenvalor acumulado</b>	<b>% de varianza acumulada</b>
<b>1</b>	4.0	17.0	4.0	17.0
<b>2</b>	3.0	12.8	7.1	29.9
<b>3</b>	2.9	12.2	10.1	42.1
<b>4</b>	2.1	8.8	12.2	51.0
<b>5</b>	2.0	8.3	14.2	59.3
<b>6</b>	1.7	7.0	15.9	66.4
<b>7</b>	1.5	6.3	17.4	72.7
<b>8</b>	1.3	5.4	18.7	78.1
<b>9</b>	1.1	4.7	19.8	82.9

Se realizó el gráfico *scree* (Fig. 4.24.), método sugerido para la mejor interpretación de los eigenvalores (Johnson, 2000.), donde se observa qué eigenvalor sobresale y explica el mayor porcentaje de la varianza. Los valores por debajo de uno no son representativos, ya que pueden estar midiendo el ruido aleatorio y no deben tratar de explicarse. Así de las 24 variables analizadas, 14 son las realmente importantes.

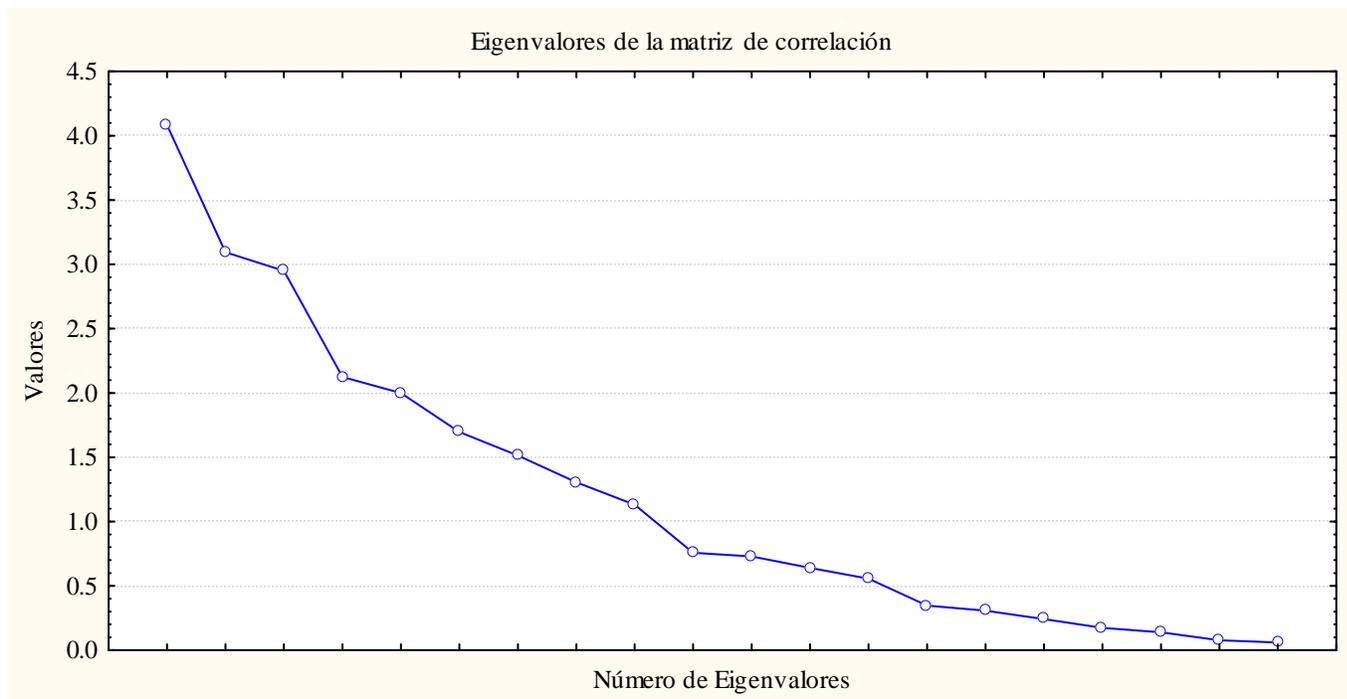


Fig. 4.24. Gráfica *scree* de los eigenvalores encontrados en los componentes principales, se observa el número de factores más importantes a considerar.

Los componentes principales o factores son combinaciones lineales de las variables originales y se derivan en orden decreciente de importancia, de manera que el primero explica la mayor variación de los datos originales; se obtuvieron las cargas de los factores, por que permite identificar a aquellas variables que explican la variabilidad de los datos (Cuadro 4.16).

El primer factor al que se ha llamado químico, muestra que la materia orgánica está en estrecha relación con la capacidad de intercambio cationico, ya que la primera al aportar macronutrientes como nitrógeno, fosforo, azufre, calcio, sodio, potasio y magnesio permite incrementar la CIC. La densidad real tiene una estrecha correlación negativa con la MO y la CIC, ya que los suelos con alto contenido de MO y por lo tanto buena CIC, tienen bajas densidades reales o brutas.

El factor número dos fue nombrado geometría de la ladera, ya que sobresalen las variables de la forma del relieve, se observa una correlación positiva entre las formas cóncavo y convexo de la ladera contrariamente con la forma plana.

El tercer factor llamado factor físico, muestra una correlación entre las variables de suelo, clase textural franco arcillo arenoso con la densidad aparente ( $D_a$ ), ya que altos contenidos de arcilla en los suelos generalmente presentan bajas densidades aparentes. Por otro lado se encuentran las

correlaciones positivas de porosidad y pH, lo que manifiesta una relación entre los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.

El cuarto factor hace referencia a la pendiente del terreno, la correlación negativa se debe a las pendientes dominantes de cada unidad natural. Se observa la misma situación en el factor cinco en el que destaca la Altitud; la altitud dominante de cada cada unidad natural se manifiesta con respecto a las que tienen una menor área, por ello se muestra una correlación negativa, ya que al dominar de un intervalo altitudinal, otro intervalo disminuye.

El factor seis hace referencia a las variables físicas evaluadas directamente en campo, la compactación está correlacionada negativamente con la profundidad debido a que en suelos fuertemente compactados la profundidad es somera. El séptimo factor o vegetación muestra una correlación negativa debido a la dominancia de un tipo u asociación vegetal en cada unidad natural. Se consideraron sólo siete factores, ya que éstos son los que hacen referencia a las variables de primer orden, el factor ocho hace notar las variables de tercer orden de dominancia y el factor nueve no muestra correlación con ninguna otra variable, por ello no se les asignó un nombre a estos dos últimos factores. Los principales componentes se presentan en el Cuadro 4.16.

Cuadro 4.16. Componentes principales de los tres factores ambientales (relieve, suelo y vegetación).

Variable	Factor 1 Químico-Físico	Factor 2 Geometría de la ladera	Factor 3 Físico	Factor 4 Pendiente	Factor 5 Altitud	Factor 6 Campo	Factor 7 Vegetación	Factor 8	Factor 9
Gp	-0.056	-0.982	0.026	-0.045	0.002	0.041	-0.114	0.020	-0.024
Gcc	0.025	0.877	-0.038	0.015	-0.116	-0.095	0.073	-0.026	-0.076
Gcx	0.069	0.898	-0.013	0.060	0.082	0.006	0.126	-0.012	0.093
Altitud1	-0.114	-0.095	-0.080	0.026	0.940	0.058	-0.008	0.132	0.080
Altitud2	-0.048	-0.075	0.075	0.058	-0.930	-0.022	-0.083	0.105	-0.026
Altitud3	0.039	0.210	-0.101	-0.066	-0.194	0.098	0.097	-0.747	0.111
Pendiente1	0.087	0.058	-0.078	0.947	-0.072	-0.041	0.029	0.194	0.052
Pendiente2	-0.065	-0.044	0.050	-0.965	-0.040	0.041	0.058	0.096	-0.008
Pendiente3	-0.044	-0.076	0.011	-0.080	0.102	-0.039	-0.003	-0.807	-0.148
Orientación	-0.106	0.262	-0.099	0.154	-0.127	0.073	0.231	0.131	0.566
Franco	-0.653	-0.169	0.298	0.053	-0.157	0.278	0.075	-0.192	0.121
Farenoso	0.521	-0.023	0.546	-0.027	0.012	-0.304	0.062	-0.017	-0.454
F. arcillo-arenoso	0.104	0.191	-0.802	-0.047	-0.002	0.078	-0.014	0.191	-0.233
F. arcilloso	0.196	-0.018	0.143	0.030	0.238	-0.181	-0.177	0.013	0.786
D.a	0.237	0.064	-0.836	0.062	0.122	0.148	0.016	-0.034	0.022
Dr	0.861	0.061	0.081	0.084	-0.060	0.253	-0.133	-0.051	0.027
Porosidad	0.042	0.036	0.901	-0.042	-0.056	0.019	-0.023	0.154	0.031
MO	-0.871	-0.003	0.083	-0.131	0.042	-0.090	0.056	-0.000	-0.281
PH	-0.114	0.079	0.828	-0.152	-0.054	0.218	0.053	0.009	-0.106
CIC	-0.798	-0.083	0.311	-0.057	0.065	0.145	0.068	0.000	0.142
Compactación	0.166	0.116	0.105	0.053	0.065	-0.805	0.068	0.107	0.036
Profundidad	0.285	-0.050	0.065	-0.083	0.198	0.813	0.154	0.069	-0.067
Vegetación dominante	0.099	-0.141	-0.011	0.036	0.007	-0.001	-0.957	0.022	0.038
Vegetación secundaria	-0.066	0.119	0.014	0.002	0.072	0.048	0.967	-0.025	-0.025
Expl.Var	3.128	2.817	3.416	1.947	2.000	1.717	2.057	1.422	1.394
Proporción Total	0.130	0.117	0.142	0.081	0.083	0.072	0.086	0.059	0.058

Clave: Factores Geomorfológicos: G= Geometría (p= plano, cc= cóncavo, cx= convexo); (1= dominante, 2= secundaria 3= terciaria); Factor edáfico: F= Franco Da= Densidad aparente; Dr= Densidad real; MO= Materia Orgánica; CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico.

La Fig.4.25 muestra la influencia del primer componente principal llamado Químico-Físico, que contrasta con el factor dos llamado geometría de la ladera, en función del agrupamiento de las variables pueden conocerse los componentes principales. Se observa que las variables químicas y las físicas del suelo explican gran parte la variabilidad de los datos, estas a su vez están influenciadas directamente por la forma misma del relieve. Así se ve en los valores negativos del primer componente a las variables de mayor carga estadística, MO, CIC, y la clase textural franca y en la parte positiva se observan las variables físicas del suelo densidad real y la clase textural franca arenosa; para el segundo factor es clara la agrupación de las formas cóncavas y convexas en el extremo positivo, mientras que en el negativo sobresale la forma plana.

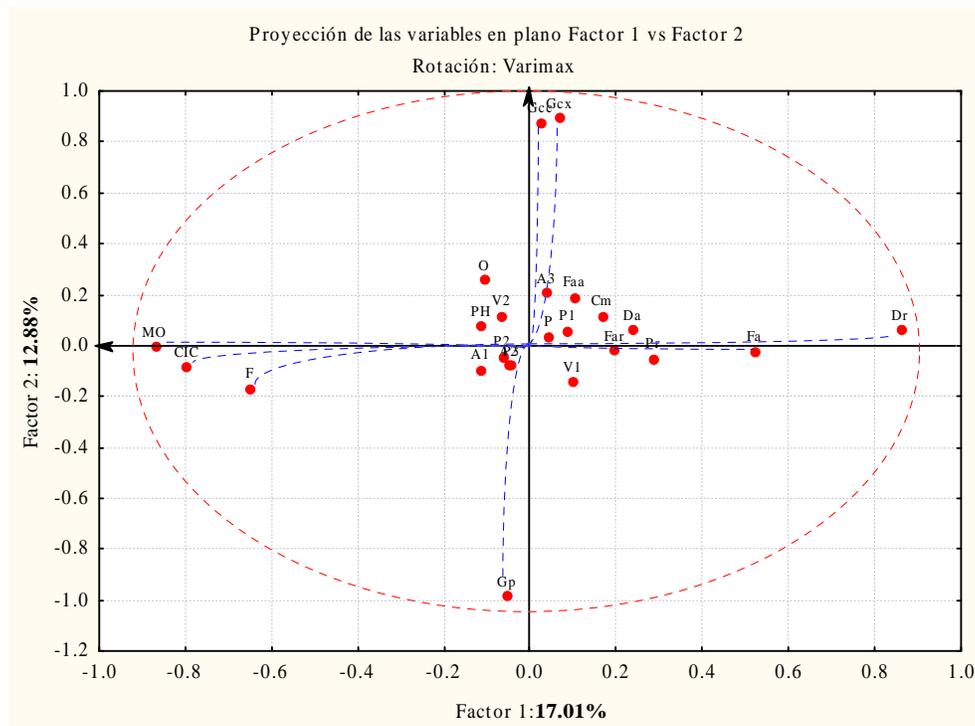


Fig. 4.25. Gráfico de los dos principales factores, se muestran las variables de mayor peso estadístico, en el factor 1 se separan MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Cationico, Dr= Densidad real y en el Factor 2 se separan Gp= Geometría plana, Gcc= Geometría cóncava y Gcx= Geometría convexa. Las variables más cercanas a cero (centro del gráfico) muestran un peso estadístico bajo.

#### **4.5. Diagnóstico ambiental de las unidades naturales de la EREBRT .**

Los resultados estadísticos muestran una serie de relaciones y de patrones en los procesos, lo cual indica que las técnicas empleadas tienen la capacidad de hacer notar los procesos y factores que influyen en la EREBRT. La ladera puede ser analizada desde la perspectiva de sus componentes geomorfológicos y sus variables edáficas. La interpretación general de los resultados muestra que la agrupación de las unidades naturales se debe a los procesos químicos y físicos del suelo en las diferentes geoformas.

Las características de los seis distintos grupos de UN de la EREBRT se describen a continuación: Grupo 1. Está conformado de catorce Unidades Naturales localizadas entre la superficie cumbral del abanico volcánico y el dorso de ladera de barranco inferior (Scav-Dlbi) (Fig.4.33).

Es un grupo heterogéneo en cuanto a su posición topográfica, sin embargo comparten características ambientales similares. Su agrupación está dada por tres UN en la superficie cumbral (unidades 2, 3 y 4 ), las cuales muestran geometría plana y en su conjunto abarcan un área de 24.72 ha, su altitud va de 1,660 a 1,740 m s.n.m, con una pendiente de 4 a 8°, la orientación de la unidad 2 está dirigida al sur y las unidades 3 y 4 están en la cima de la ladera y por lo tanto su inclinación tiende a ser casi plana. El tipo de vegetación predominante es el pastizal inducido con huizaches poco denso, tienen suelos someros, con textura franco arenoso, de compactación fuerte. Otra unidad se ubica en el hombro de ladera de barranco (unidad 7), tiene una extensión de 0.21 ha, geometría convexa, pendiente entre los 4° y 16°, orientación hacia el SW, en ella se encuentran suelos y vegetación similares al de las unidades anteriores.

En este subgrupo de unidades la acción humana es clara, ya que se encuentran caminos de terracería por las cuales circulan vehículos, además de la presencia de ganado vacuno y equino por ser sitios de pastoreo (Fig. 4.26).



Fig. 4.26. Se muestra la actividad antrópica y de ganadería en las unidades de la superficie cumbral de abanico volcánico y hombro de ladera de barranco. Las unidades naturales en estas posiciones topográficas se consideran prioritarias para su restauración ecológica.

En el dorso de ladera de barranco superior se localizan las unidades 12 y 14, con 2.57 ha, en el dorso no diferenciado está la unidad 84, con 0.26 ha. Esta última se nombró de esta manera debido a que no presenta una secuencia general con la posición de la ladera analizada, ya que se localiza paralela al cauce principal presentando un desplazamiento vertical; en el dorso de ladera de barranco medio, las unidades 25 y 29 abarcan 1.78 ha. Estas unidades presentan pendientes dominantes de 16-32°, su orientación es hacia el SW y SE respectivamente, sus características de vegetación y suelos son similares a las de las unidades anteriores. En el dorso de ladera de barranco media inferior está la unidad 36, con geometría cóncava, abarca 0.22 ha, altitud de 1,600 a 1,620 m s.n.m., pendiente de 8 a 16° y orientación al SE. En el dorso de ladera de barranco inferior se ubican las unidades 44, 55, 59 y 65, las cuales abarcan 3.6 ha, se encuentran entre una altitud de 1,600 a 1,660 m s.n.m., pendiente de 16° a 32°, orientadas al SW y SE; muestran asociaciones de pastizal inducido con selva baja caducifolia, pastizal inducido con *Juniperus*, encinar con selva baja caducifolia y selva baja caducifolia propiamente, las especies

de estas coberturas se muestran en el anexo C. Las unidades de este subgrupo presentan condiciones de deforestación exceptuando la unidad 65 y 44, que en conjunto con la forma convexa y pendientes fuertes dan paso a los procesos gravitacionales de remoción en masa, y no permite la depositación de suelo (Fig. 4.27).



Fig. 4.27. Unidades naturales que presentan condiciones de pendiente fuerte, que en conjunto con la forma geométrica convexa y falta de cobertura vegetal incrementan la erosión del suelo.

Las unidades de todo este grupo se encuentran tanto en la ladera E como en la ladera W. Son unidades de suelos franco arenosos, de profundidad somera, por sus condiciones ambientales internas son unidades prioritarias para la restauración ecológica con excepción de las unidades 44 y 65 que son aptas para la conservación. El Cuadro A.1 del Anexo A, muestra las variables geomorfológicas, de suelos y de vegetación que permitieron la agrupación de estas unidades naturales y el Cuadro 4.17 agrupa de manera general las variables de este grupo.

Grupo 2. Este grupo está integrado por siete Unidades Naturales, ubicadas mayoritariamente en el hombro de la ladera de barranco y el dorso de ladera de barranco superior (Hlb-Dlbs), en la

ladera E de EREBRT (Fig. 4.33). Se les asignó en esta posición topográfica debido a que la mayoría de las unidades se ubican en estos componentes geomorfológicos.

La unidad 6 que pertenece al Hlb tiene un área de 5.8 ha, presenta geometría mixta, altitud de entre 1,660 a 1,680 m s.n.m., pendiente de 4° a 8° y orientación al W, al igual que las unidades 9,10,13 y 17 del Dlbs, las cuales en conjunto tienen un área de 13.95 ha; su altitud oscila entre 1,640 y 1,720 m s.n.m., y tienen una pendiente entre 16° y 32°, la vegetación de las unidades del Hlb y el Dlbs es el pastizal y la asociación pastizal inducido con huizaches; en el dorso de ladera de barranco no diferenciado se encuentra la unidad 83, es una unidad no diferenciada debido a que su posición topográfica no mantiene una secuencia como la establecida para las otras ochenta y dos unidades naturales, por ser una porción del terreno que se desplazó verticalmente debido a la tectónica del área; abarca 0.56 ha, con una altitud de 1,640-1660 m s.n.m., la vegetación dominante es el encinar y en el Dlbn la unidad 20 tiene un área de 0.99 ha, altitud entre 1660 y 1680 m s.n.m., pendiente de 32° a 64°, orientación (al igual que la unidad anterior) hacia el NW, la vegetación predominante es la asociación de pastizal inducido con selva baja poco densa.

Todas estas unidades presentan predominantemente suelos fuertemente compactados de profundidad somera a media, con clase textural franco arenosa.

Este grupo de unidades por sus características particulares y siendo unidades en las cuales el ganado pasta, y donde algunas áreas están desprovistas de vegetación son foco de atención para la restauración. El cuadro A.2 del Anexo A, muestra todos los valores de las variables de este grupo. El Cuadro 4.17 engloba las variables de este grupo.

Grupo 3. Se compone de veintisiete Unidades Naturales, las cuales se ubican predominantemente en el dorso de la ladera de barranco media y dorso de ladera de barranco inferior (Dlbn-Dlbi); se localizan en ambas laderas, predominantemente en la ladera W (Fig. 4.33).

En este grupo se encuentra la unidad 5, que corresponde al hombro de ladera de barranco, la cual tiene una geometría mixta, con una extensión de 6.99 ha, altitud de 1,720 a 1,740 m s.n.m., pendiente de 4 a 8°, compactación y profundidad moderada, vegetación de pastizal inducido y en algunos sitios hay carencia de cobertura vegetal, así como de suelo, ya que se observa la roca madre en afloramiento (Fig 4.28).



Fig. 4.28. Unidad natural de hombro de ladera de barranco, se observa pérdida de suelo, escasez de vegetación y rocas en afloramiento, por ello es prioritaria para la restauración ecológica.

Las unidades 8, 15 y 16 pertenecen al Dlbs y abarcan en conjunto un área de 14.85 ha, la pendiente va de 16 a 32°, tienen orientación E, la vegetación va del pastizal inducido al pastizal inducido con selva baja caducifolia medianamente densa, suelos moderadamente a fuertemente compactados y de profundidad somera a media.

Las unidades 18, 19, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 30, 32 abarcan un área de 12.89 ha del Dlbn, con una altitud entre 1,600 a 1,680 m s.n.m. y pendientes que van de los 16° a los 32°, con excepción de la unidad 18 que tiene pendiente de 32° a 64°, debido a que presenta áreas de escarpes hasta de 30 m; estas unidades se localizan en la ladera W, excepto las unidades 26 y 32 que se encuentran en la ladera E. Entre la vegetación predominante está el pastizal inducido, el pastizal inducido asociado a selva baja caducifolia y selva baja caducifolia propiamente, la compactación del suelo es predominantemente moderada y la profundidad es media.

Las unidades naturales 35, 37, 38, y 40 pertenecen al Dlbn y abarcan 2.95 ha, con una altitud entre 1,600 y 1,640 ms.n.m., la unidad 35 tiene una pendiente de 32° a 64°, mientras que en las otras unidades va de 16° a 32°, se encuentran en la ladera W por lo tanto su orientación es hacia el E y el NE; la vegetación presente es pastizal inducido denso, pastizal inducido asociado a selva

baja caducifolia y selva baja caducifolia propiamente, los suelos son predominantemente compactados y tienen una profundidad media.

Las unidades 50, 51, 58, 64, 67, 68, 69 y 72 se localizan en el D1b1 y conjuntamente tienen un área de 5.33 ha, la altitud de este subgrupo va de 1,580 a 1,640 m s.n.m., la pendiente predominante es de 16° a 32°, la orientación es tanto E como W, la compactación es moderada y la profundidad del suelo es media, en cuanto a la vegetación se observa un mayor predominancia de la selva baja caducifolia y el pastizal inducido asociado a ésta.

La unidad 74 ubicada en el P1b1 tiene un área de 0.48 ha, su altitud es de 1,580 a 1,600 m s.n.m., pendiente 16° a 32°, orientación E, tiene suelo moderadamente compacto y de profundidad media y la vegetación es la selva baja caducifolia.

Este grupo está compuesto por UN con procesos erosivos similares por el tipo de pendiente que en general muestran, la mayoría de ellas tiene de 16° a 32° (Fig 4.29). Se recomienda que se enfoque para manejo de restauración a las unidades que tengan cobertura vegetal de pastizal y suelos someros con compactación fuerte. El Cuadro A. 3 del Anexo A, representa las unidades naturales de este grupo, con sus diversas variables geomorfológicas, de suelo y vegetación y el Cuadro 4.17 representa la generalización de los datos de este grupo.



Fig. 4.29. Las unidades dentro de este tercer grupo presentan características heterogéneas por su posición topográfica.

Grupo 4. Está integrado por ocho unidades naturales localizadas desde la Superficie cumbral de abanico volcánico hasta el piedeladera de barranco (Scav- Plb). Se ubican tanto en la ladera W como en la E, predominantemente en esta última (Fig 4.33).

La unidad 1 corresponde a la Scav, tiene geometría plana, un área de 0.80 ha, altitud de 1,720 a 1,740 m s.n.m., pendiente de 4° a 8°, no presenta orientación, tiene suelos de profundidad media, y moderadamente compactados, su vegetación dominante es el pastizal, aunque también presenta parte de su área desprovista de vegetación.

Las unidades 33 y 34 pertenecen al Dlbm, conjuntamente abarcan 1.67 ha, tienen geometría plana, su altitud va de 1,680 a 1,700 m s.n.m. Las unidades 39 y 41 se ubican en el Dlbmi, su área abarca 4.63 ha, su altitud es de 1,660 a 1,680 m s.n.m.

Las unidades 42 y 70 corresponden al Dlbi, su área es de 1.56 ha, la vegetación de la primera unidad corresponde a la selva baja caducifolia medianamente densa, su orientación es hacia el E. La unidad 76 se encuentra en el Plb, abarca un área de 0.71 ha, el tipo de vegetación presente, al igual que en la unidad 70 es pastizal inducido asociado con selva baja caducifolia medianamente densa.



Fig. 4.30. Representación de algunas unidades del grupo cuatro, donde se observan las diferencias en la vegetación.

Este conjunto de unidades (con excepción de la unidad 1) tiene pendientes de 16° a 32°, la compactación del suelo es fuerte, exceptuando a la unidad 42 que presenta un suelo moderadamente compacto, orientación al E y vegetación de selva baja asociada a *Juniperus*, se sugiere para ésta, un manejo orientado a la conservación y para todas las otras unidades un manejo de restauración; los suelos de este grupo de unidades son de profundidad media con orientación al W exceptuando a las unidades 42 y 1 (Fig 5.30). El cuadro 5.17 muestra la generalización de los datos antes mencionados para este grupo y El Cuadro A. 4 del Anexo A, los muestra a detalle, además proporciona información de los tres factores ambientales considerados.

Grupo 5. Está conformado de veinticinco Unidades Naturales ubicadas en su mayoría entre el dorso de ladera de barranco inferior y el piedeladera de barranco (Dlbi-Plb). Las unidades se encuentran distribuidas a lo largo de las dos laderas, 15 de las cuales se encuentran en la ladera E y 10 en la W (la Fig 4.31 muestra un ejemplo de algunas de estas unidades y la Fig.4.33 representa las unidades de este grupo).

La unidad 11, que se ubica en el Dlbs, tiene una extensión de 0.14 ha, una altitud de 1,620 a 1,640 m s.n.m., pendiente de 16° a 32°, orientación al E, suelo con profundidad media y compactación fuerte, su clase textural es franco arenosa y la vegetación predominante es el pastizal inducido asociada a selva baja caducifolia poco densa.

También se agruparon las unidades 27 y 31 que se ubican en el Dlbn, cuentan en conjunto con un área de 2.26 ha, altitud de 1,600 a 1,620 m s.n.m., pendiente de 8° a 16°, orientación W y SW respectivamente, profundidad del suelo somera y compactación fuerte, su vegetación está compuesta por pastizal inducido con huizaches denso.

Las unidades pertenecientes al Dlbi son las 43, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 54, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 66, conjuntamente tienen un área 11.71ha, el intervalo de altitud en que se localizan van de 1,560 a 1,660 m s.n.m., se encuentran tanto en la ladera E como W, la orientación predominante es hacia el SE y NW, la compactación del suelo es moderada con profundidades medias, la textura es franco arcillo arenosa a franco arenosa. Las unidades albergan una vegetación predominante de encinares, selva baja caducifolia con cobertura variable (poca, mediana y

densa), selva baja asociada a *Juniperus* y pastizales inducidos asociados a selva baja caducifolia y *Juniperus*. Estas unidades por sus condiciones específicas se consideran prioritarias para su conservación, con excepción de las unidades 54, 57 y 62 en las cuales se sugiere manejo de restauración (Fig. 4. 36).

Las unidades 73, 75, 77, 78, 79 y 80 se encuentran en el Plb, abarcan un área de 2.64 ha, presentan geometría convexa (con excepción de la unidad 73), altitud de 1,580 a 1,640 m s.n.m., compactación del suelo moderada, profundidades medias, su vegetación es también de selva baja caducifolia y una asociación de pastizal con esta última. Para las unidades 75 y 78 se sugiere un manejo de restauración, mientras que las otras se consideran prioritarias para la conservación, ya que mantienen condiciones edáficas y de vegetación en mejores condiciones que las presentes en la parte alta de la ladera. El Cuadro A.5 del Anexo A, muestra las variables de los tres factores ambientales, que permitieron la agrupación de estas unidades y el Cuadro 4.17 la generalización de estas variables en este grupo.



Fig. 4.31. Panorama de las condiciones ambientales presentes en las unidades naturales localizadas en el Dlbi y el Plb.

Grupo 6. Está compuesto de tres unidades naturales (71, 81 y 82) ubicadas en el dorso de la ladera de barranco inferior y la pared de *talweg* (Dlbi-Pt), (Fig.4.33). El *talweg* es la línea que une las porciones más profundas del cauce de un río (Lugo, 1989). Se encuentra inmediatamente después del piedeladera o del dorso de ladera de barranco inferior. Las unidades se ubican en ambas laderas.

Las tres unidades tienen en conjunto un área de 18.69 ha, geometría mixta, una altitud de 1,580 a 1,640 m s.n.m., pendientes desde 16° hasta 64°, orientaciones E y W, compactación y profundidad del suelo medios y textura franca. Las unidades 81 y 82 por encontrarse en el fondo de la ladera se mantienen en buenas condiciones ambientales, ya que el acceso está restringido por lo abrupto del terreno, para éstas se recomiendan la conservación (Fig.4.32), y para la unidad 71, el manejo de restauración, por presentar en un 37% de su área pastizal. En el Cuadro A.6 del Anexo A, se muestran las variables geomorfológicas, de suelos y de vegetación de las unidades de este grupo y el Cuadro 5.17 muestra estos datos de manera generalizada.



Fig. 4.32. Las unidades naturales ubicadas en la pared de *talweg*, por sus condiciones ambientales se consideran aptas para la conservación.

Cuadro 4.17. Generalización de los grupos de unidades en base a sus variables geomorfológicas, edáficas y de vegetación. Clave relieve: UN=unidad natural; Geometría: p= plana, cc= cóncava, cx= convexa, m= mixto; Orientación: SO= sin orientación, S= sur, W= oeste, E=Este, N=Norte, SW= suroeste, SE=sureste, NW=noroeste, NE=Noreste. Clave suelo: MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. Clave vegetación: Pi= pastizal inducido, h= huizaches, Sbc= selva baja caducifolia, J= Juniperus, Q= encinar, pd=poco denso, md: medianamente denso; d=denso.

Grupo	Geomorfología						Suelos									Vegetación Dominante
	Posición topográfica	No. UN	Geometría	Altitud (m s.n.m.)	Pendiente (°)	Orientación	Compactación (PSI)	Profundidad (cm)	Clase Textural	Densidad real g/cm <sup>3</sup>	Densidad Aparente g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	pH	% MO	% CIC	
1	Scav-Dlbi	14	cx cc p	1600-1740	4-8 8-16 16-32	SO S SW SE	362-434 Media a Fuerte	24-44 Somera a Media	-Franco arenoso -Franco arcillo arenoso	2.18-2.35 Muy Baja a Baja	0.82-1.0 Baja a Media	55.2-61.1 Alta	5.1-5.5 Moderadamente ácido	4.7-7.4 Pobre a Medio	17-20.8 Medio	Pi Pi(h)d Pi(h)pd Pi(Sbc)md Pi(J)pd Sbc(d) Sbc(pd)
2	Hlb-Dlbs	7	cx m p	1640-1720	4-8 16-32 32-64	W NW	428-436 Fuerte	27-39 Media	Franco arenoso	2.30-2.36 Baja	0.78-0.98 Baja	58.4-64.0 Alta	5.3-5.5 Moderadamente ácido	5.1-6.2 Medio	15.8-19.3 Medio	Pi Pi(h)pd Pi(h)d Q Pi(Sbc)pd
3	Dlbm-Dlbi	27	cx cc m p	1580-1740	4-8 16-32 32-64	E W NE SW	331-434 Media a Fuerte	18-49 Somera a Media	Franco arcillo arenoso	2.15-2.39 Muy baja a Baja	0.85-1.06 Baja a Media	54.6-61.0 Media a Alta	5.1-5.6 Moderada a ligeramente ácido	4.9-8.3 Pobre a Rico	16.7-22.9 Medio	Pi Pi(Sbc)md Pi(Sbc)pd Sbc(d) Sbc(md) Sbc(pd)
4	Scav-Plb	8	cx cc m p	1620-1740	4-8 16-32	SO W E	350-440 Media a Fuerte	25-34 Media	Franco arcilloso	2.26-2.33 Baja	0.86-0.95 Baja	56.7-61.0 Alta	5.1-5.4 Moderadamente ácido	4.3-6.2 Pobre a Medio	15.1-21.2 Medio	Pi Sbc(J) Pi(Sbc)md
5	Dlbi-Plb	25	cx cc p	1560-1680	4-8 8-16 16-32 32-64	E W S SW NE SE	341-423 Media a Fuerte	24-42 Media	Franco	2.17-2.32 Muy baja a Baja	0.72-0.99 Baja	56.6-62.3 Alta	5.2-5.7 Moderada a ligeramente ácido	5.4-9.2 Medio a Rico	19.4-24.7 Medio	Pi Pi(h)d Pi(Sbc)pd Pi(Sbc)md Sbc(d) Sbc(md) Sbc(pd) Q
6	Dlbi-Pt	3	m	1580-1640	16-32 32-64	W E	380-416 Media a Fuerte	33-38 Media	Franco	2.26-2.33 Baja	0.91-0.99 Baja	57.1-59.3 Alta	5.4 Moderadamente ácido	5.4-6.4 Medio	18.9-21.3 Medio	Sbc(d) Sbc(md) Sbc(pd)

**Agrupamiento de las Unidades Naturales de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe.**

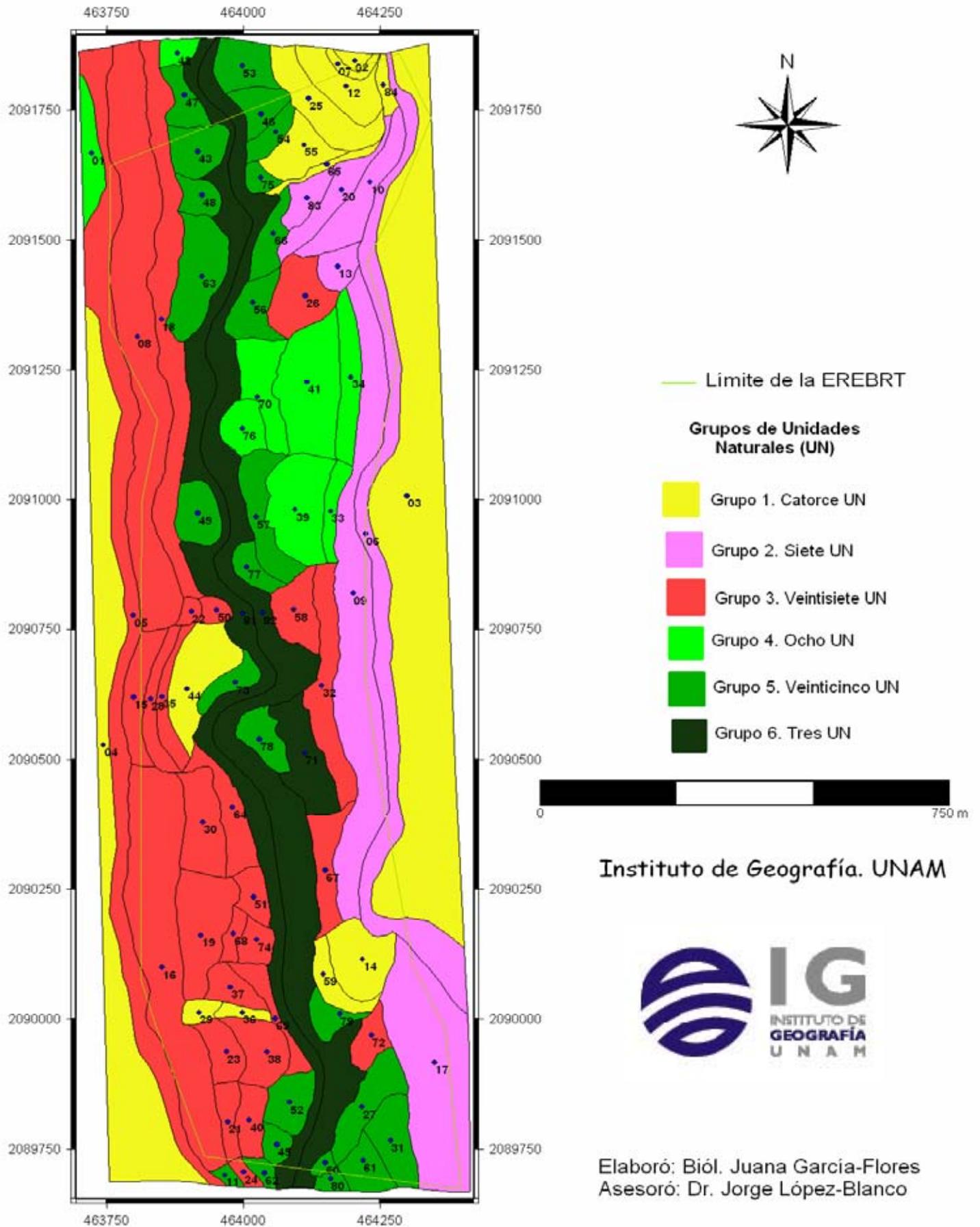


Fig. 4.33. Mapa del agrupamiento de las UN de la EREBRT, resultante del análisis de integración de datos.

Del diagnóstico anterior se sugiere un tipo de manejo para cada unidad natural, encaminado hacia la restauración ó conservación. Dependiendo de las características particulares de cada una de ellas se consideró la viabilidad del primer tipo de manejo, específicamente la pendiente del área en relación directa con su geofoma. El siguiente cuadro muestra estas sugerencias.

Cuadro 4.18. Manejo propuesto para las unidades naturales de la EREBRT. Se muestra su ubicación en el relieve y su geometría. Número total de UN en la categoría de Restauración viable: 45; Viabilidad media en la Restauración: 4; Viabilidad baja en la Restauración: 2 y para conservación: 33.

UN	Posición topográfica	Geometría	Tipo y viabilidad del Manejo	UN	Posición topográfica	Geometría	Tipo y viabilidad del Manejo
1	Scav	p	Restauración viable	43	Dlbi	Cc	Conservación
2	Scav	p	Restauración viable	44	Dlbi	Cc	Conservación
3	Scav	p	Restauración viable	45	Dlbi	Cc	Conservación
4	Scav	p	Restauración viable	46	Dlbi	Cc	Conservación
5	Hlb	m	Restauración viable	47	Dlbi	Cx	Conservación
6	Hlb	m	Restauración viable	48	Dlbi	Cx	Conservación
7	Hlb	cx	Restauración viable	49	Dlbi	Cx	Conservación
8	Dlbs	m	Restauración viable	50	Dlbi	Cx	Restauración viable
9	Dlbs	m	Restauración viable	51	Dlbi	Cx	Conservación
10	Dlbs	m	Viabilidad media en la Restauración	52	Dlbi	Cx	Conservación
11	Dlbs	cx	Restauración viable	53	Dlbi	Cx	Conservación
12	Dlbs	cx	Viabilidad media en la Restauración	54	Dlbi	Cx	Restauración viable
13	Dlbs	cx	Restauración viable	55	Dlbi	Cx	Restauración viable
14	Dlbs	cx	Viabilidad media en la Restauración	56	Dlbi	Cx	Conservación
15	Dlbs	cc	Conservación	57	Dlbi	Cx	Restauración viable
16	Dlbs	p	Restauración viable	58	Dlbi	Cx	Restauración viable
17	Dlbs	p	Restauración viable	59	Dlbi	Cx	Conservación
18	Dlbn	m	Conservación	60	Dlbi	Cx	Conservación
19	Dlbn	m	Restauración viable	61	Dlbi	Cx	Restauración viable
20	Dlbn	m	Conservación	62	Dlbi	P	Restauración viable
21	Dlbn	m	Restauración viable	63	Dlbi	P	Conservación
22	Dlbn	cx	Restauración viable	64	Dlbi	P	Conservación
23	Dlbn	cx	Restauración viable	65	Dlbi	P	Conservación
24	Dlbn	cx	Restauración viable	66	Dlbi	P	Conservación
25	Dlbn	cx	Viabilidad baja en la Restauración	67	Dlbi	M	Viabilidad baja en la Restauración
26	Dlbn	cx	Restauración viable	68	Dlbi	M	Restauración viable
27	Dlbn	cx	Restauración viable	69	Dlbi	M	Conservación
28	Dlbn	cc	Conservación	70	Dlbi	M	Restauración viable
29	Dlbn	cc	Restauración viable	71	Dlbi	M	Restauración viable
30	Dlbn	p	Restauración viable	72	Dlbi	M	Conservación
31	Dlbn	p	Restauración viable	73	Plb	P	Conservación
32	Dlbn	p	Viabilidad media en la Restauración	74	Plb	Cx	Conservación
33	Dlbn	p	Restauración viable	75	Plb	Cx	Restauración viable
34	Dlbn	p	Restauración viable	76	Plb	Cx	Restauración viable
35	Dlbmi	cc	Conservación	77	Plb	Cx	Conservación
36	Dlbmi	cc	Restauración viable	78	Plb	Cx	Restauración viable
37	Dlbmi	cx	Restauración viable	79	Plb	Cx	Conservación
38	Dlbmi	cx	Restauración viable	80	Plb	Cx	Conservación
39	Dlbmi	cx	Restauración viable	81	Pt	M	Conservación
40	Dlbmi	m	Restauración viable	82	Pt	M	Conservación
41	Dlbmi	m	Restauración viable	83	Dlbnd	P	Conservación
42	Dlbi	cc	Conservación	84	Dlbnd	Cc	Restauración viable

Clave Posición topográfica: Superficie cumbre de abanico volcanico (Scav); Hombro de ladera de barranco (Hlb); Dorsos de ladera de barranco: superior (Dlbs), medio (Dlbn), medio-inferior (Dlbmi), inferior (Dlbi), no diferenciado (Dlbnd); Piedaladera de barranco (Plb); Pared de talweg (Pt). Clave geometría: plano (p); convexo (cx); cóncavo (cc); mixto (m).

## Capítulo 5. Discusión

### 5.1. Geomorfología

El enfoque geomorfológico juega un papel primordial en la delimitación de unidades ambientales, debido principalmente a que las formas del relieve y los resultados de los procesos modeladores del mismo son más evidentes -tanto en campo como en fotografías aéreas- que la mayoría de los rasgos del ambiente. En la actualidad la geomorfología forma parte fundamental de los estudios relacionados con el medio ambiente, los cuales se han centrado en la delimitación de unidades ambientales por permitir integrar numerosas variables y sintetizarlas como elementos paisajísticos para la propuesta de aptitudes de uso (López-Blanco y Villers, 1995; 1998; Bocco *et al.*, 2001; Arellano, 2001; Martínez y López-Blanco, 2005).

Los indicadores ambientales tomados en cuenta en este trabajo brindaron información acerca de las diferencias y tendencias que se presentaron en el sistema que se evaluó; así la geometría de la ladera con relación directa a la orientación, son propiedades del relieve que están directamente relacionados con la incidencia de los rayos solares y su energía. La orientación interviene en el número de horas que la ladera recibe radiación solar, por ello es importante en el análisis de los procesos de erosión, además permite explicar las diferencias en la temperatura y humedad del suelo y de la cobertura vegetal (Ruhe, 1975, Galicia *at al.*, 1999). La orientación y geometría de cada unidad natural se muestran en el anexo A.

Las unidades naturales con mayor insolación son generalmente las orientadas al S, por lo que sus superficies tienden a ser más secas y por lo tanto el desarrollo de la vegetación se ve menos favorecido en comparación con aquellas unidades naturales expuestas al N, en donde la irradiación es menor en tiempo e intensidad, siendo éstas las que conservan mayor humedad y por lo tanto la vegetación esta más desarrollada. Estudios como el de Galicia *et al.* (1999), reportan estas condiciones. El efecto se observa de manera general en las unidades naturales de la ladera con orientación este, ya que en ellas se presenta en mayor proporción una cobertura de vegetación de selva baja con sus diferentes asociaciones y densidades, mientras que en las unidades de la ladera con orientación oeste se observa una mayor predominancia de pastizales con sus diferentes asociaciones. Sin embargo es probable que a este efecto natural se superponga un efecto antrópico como la tala y quema así como la ganadería, la cual se presenta en mayor

medida en la ladera con exposición oeste, además de que en ésta también existe un camino muy transitado (camino Cuentepec-Ahuatenco) lo que no sucede en la ladera opuesta.

La pendiente además de estar directamente relacionada con la intensidad de energía solar que recibe una ladera, también lo está con los procesos morfodinámicos que se presentan en ella, ya que su grado impide o favorece la formación de otros elementos como el suelo, además de ser un indicador que tiene una relación directa con los fenómenos de infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y con la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces (Ruhe, 1975). Los valores de pendiente y altitud presentes en cada unidad natural se presentan en el anexo A.

Las pendientes de 2°-4° representan terrenos planos con erosión poco apreciable; mientras que las pendientes de 4°-8° que predominan en las unidades de la Scav y H1b ( altitud predominante 1720 a 1740 m s.n.m.), representan terrenos poco inclinados, movimientos en masa de baja velocidad, por lo cual en ellos se puede reintroducir especies vegetales sin dificultad, considerando sólo este factor del relieve; las pendientes de entre 8°-16° son terrenos moderadamente abruptos, donde los movimientos en masa son rápidos, se observa la aparición de *rills* ó microsurcos y ocasionalmente deslizamientos, en los P1b (cuya altitud dominante es de 1560-1640 m s.n.m.) predomina esta pendiente y son sitios de acumulación de materiales, debido a la vegetación que poseen. La pendiente de 16°-35° domina en el 80% del área de estudio, ya que abarca el componente geomorfológico del dorso de ladera de barranco (D1b), en donde se observan procesos de denudación (erosión) intensos y de remoción en masa fuerte, por la pendiente la acumulación de materiales es muy limitada, sin embargo este proceso se ve mitigado por la vegetación que se encuentra presente en algunas unidades; en pendientes de 35°-55° el terreno es muy abrupto, se observan afloramientos rocosos, denudación intensa y la cobertura forestal es limitada; mientras que en pendientes mayores a 55° el terreno es totalmente abrupto y el afloramiento de la roca madre es mayor (Tricart y Kilian 1982; Van Zuidam, 1985/1986) como se observa en algunos sitios de las unidades de la Pared de *talweg* que alcanzan estas pendientes, las unidades de este componente se localizan entre los 1,580 y los 1,620 m s.n.m. De aquí que el dorso de la ladera es más susceptible a la erosión mientras que el pie de ladera lo es a la depositación de materiales, así como la Pt también contribuye a este factor de depositación debido a la cubierta vegetal presente.

## 5.2. Suelos

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo funcionan como indicadores de la calidad del mismo. Entre las principales propiedades físicas y químicas abordadas en este estudio y que permiten conocer la fertilidad del suelo se encuentran la textura (la proporción de arenas, limos y arcillas), la estructura, la MO, el pH y CIC (Palma-López *et al.*, 2005). Los indicadores de acuerdo a Bautista-Zuñiga *et al.* (2004b), se deben abordar de manera integral, ya que en conjunto reflejan atributos de sostenibilidad, así como los cambios que ocurren como resultado de la degradación antropogénica, los cuales pueden variar de localidad en localidad dependiendo del tipo, uso, función y factores de formación del suelo. Las propiedades físicas que se usan como indicadores de la calidad del suelo, reflejan los procesos de captación, infiltración, movimientos a través del perfil, almacenamiento y transmisión de agua a las plantas para su crecimiento, mientras que los indicadores químicos hacen referencia a condiciones que afectan la relación suelo-planta, la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, así como la capacidad amortiguadora del suelo (Bautista *et al.*, 2005).

La compactación de la capa superficial del suelo, en el área de estudio, es un indicador atribuible al pisoteo específicamente del ganado, así como a la temporada de toma de estos datos, ya que en la época de secas los componentes texturales como las arcillas tienden a agregarse. Se presentaron suelos con compactación fuerte en las unidades naturales de la Scav, el Hlb, el Dlbs, el Dlbn y el Dlmi, (sitios de fácil acceso al ganado); sin embargo los datos de la estructura y densidad aparente y real indican que el impacto de este factor es mitigado, se infiere, por la cobertura vegetal de pastos, particularmente *Paspalum notatum*, que se observa en las unidades de estas clases geomorfológicas, el cual amortigua el efecto que produce el pisoteo del ganado en el suelo. Warren *et al.* (1986); Trimble y Mendel (1995) han encontrado que conforme se incrementa la carga animal y el período de estancia del ganado en un área, el pisoteo continuo de los animales produce la destrucción paulatina de los agregados del suelo, creando una mayor compactación de éstos y un mayor incremento en la densidad aparente del horizonte superficial, lo que conlleva a la reducción de la productividad y de la penetrabilidad de las raíces de las plantas, así como a la disminución de la velocidad de infiltración de agua y la retención de la humedad, lo que repercute en la disponibilidad de agua para las plantas y aumenta la erosión. En estas unidades la escasa cobertura del estrato arboreo influye directamente en la incorporación de

MO, esencial para la calidad del suelo. Además el pisoteo del ganado es intenso durante la temporada de lluvias y disminuye notablemente en la temporada de secas, cuando es confinado en encierros.

La textura del suelo es de importancia ya que de ella depende en cierto grado la germinación de las semillas así como el crecimiento de las plántulas. Los suelos arenosos presentan poros grandes por donde el agua se pierde rápidamente haciendo que la germinación sea más difícil debido a la falta de agua. Los suelos arcillosos contienen poros pequeños que evitan la pérdida rápida del agua, por ello durante la temporada de lluvias son suelos que se anegan y cuando están secos tienden a ser compactos, lo que repercute en la aireación, por estas causas la germinación de las semillas es difícil. Los suelos francos forman pequeños terrones y son muy esponjosos, presentan poros chicos donde se queda atrapada el agua y poros grandes donde se encuentra aire, reteniendo así mayor cantidad de agua y una buena aireación, lo que brinda condiciones óptimas para la germinación (López-Galindo, 1997). En el área de estudio se observan unidades naturales con estos tres tipos de textura en sus diferentes combinaciones.

En las partes altas de la ladera en la Scav, el Hlb y el Dlbs la textura del suelo es franco arenoso, mientras que en las unidades del Dlbn, Dlbnmi y el Dlbnbi la textura franco arcillo arenosa es representativa así como también el franco arcilloso, por ello en estas unidades se presentan condiciones de anegamiento, lo que afecta la sobrevivencia de diversas especies de plantas en sus primeros estadios de vida como lo manifiestan Galindo (2006); Ulloa-Nieto (2006) y Ayala (2008).

Las unidades de las partes más bajas de la ladera, el Plb y la Pt así como un porcentaje de las unidades presentes en el Dlbnbi, presentan suelos francos los cuales manifiestan una buena calidad, lo cual está estrechamente relacionado con la vegetación presente, por ello en estas unidades se presentan densidades aparentes y reales bajas, que son indicadores del balance hídrico y de los nutrientes presentes en el suelo; profundidades medias relacionada con el volumen de agua que el suelo puede almacenar para las plantas, así como la productividad potencial; porosidad alta que es importante para el drenaje interno y aireación del suelo, la provisión de agua y oxígeno para el crecimiento de las plantas, la cual es afectada por la textura y estructura en el horizonte del perfil; pH de moderadamente a ligeramente ácidos (de importancia primordial en el desarrollo de las plantas, ya que la concentración de los iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos,

químicos y biológicos del suelo); porcentajes de materia orgánica de media a rica, resultado de la cantidad de residuos orgánicos que se fermentan por la acción de los microorganismos y que aportan al suelo macronutrientes y micronutrientes, la MO actúa como regulador del pH, al biodegradarse forma CO<sub>2</sub> que actúa en el intemperismo impartiendo propiedades óptimas a la estructura de las capas superficiales del suelo, modificandolas para aumentar la cantidad de agregados, así también mantiene relación directa con el intercambio de cationes en el suelo (Aguilera, 1989; SARH, 1990 y Bohn *et al.*, 1993).

### **5.3. Vegetación**

La vegetación es un indicador fundamental en la caracterización del paisaje, ya que la cobertura vegetal permite una primera aproximación en el grado de impacto por las actividades antrópicas (deforestación, degradación ó revegetación) (Palacio-Prieto *et al.*, 2004), además de que permite inferir el clima y el suelo. Las diferencias entre los tipos de cobertura vegetal dependen del tamaño y tipo de especies, así como de la heterogeneidad y densidad de la vegetación (Bennema y Gelens, 1996).

La zona de la EREBRT se encuentra en una área de transición, entre especies de afinidad templada y especies de afinidad tropical (Trejo, 1998 y Camacho, 2004). La EREBRT forma parte del glacis de Buenavista, zona surcada por numerosos barrancos que descienden en paralelo desde la sierra de Zempoala hasta la sierra de Xochicalco. En la parte norte del glacis se encuentran bosques templados y en su parte sur, en las laderas de las cañadas, selvas bajas caducifolias y en los fondos de las cañadas, frondosos bosques ribereños (Aguilar, 1999); fuera de las cañadas, la mayor parte de los bosques fueron arrasados por los ingenios azucareros a finales del siglo pasado y en la actualidad son terrenos de muy baja productividad.

Los cambios en la estructura vegetal y la pérdida de la vegetación nativa que se han presentado en la EREBRT han traído consigo una serie de modificaciones en el sistema. Laurence *et al.* (2000), reportan que la fragmentación de los bosques tropicales húmedos se manifiesta en un incremento en la interceptación de lluvia y en la evapotranspiración, reduciéndose la humedad y aumentando la desecación, así como la incidencia del viento, lo que ocasiona daño físico a la vegetación, ya que la recurrencia de viento caliente y seco en las áreas perturbadas y en los

remanentes, ocasionan una mayor mortalidad de los árboles, lo que aumenta la ocurrencia de fuego forestal, evitando la regeneración del bosque, así también la sustitución de especies perennes por anuales se observa en mayor medida, así como el aumento de la superficie de pérdida de agua, al mismo tiempo que se facilita la erosión del suelo y el transporte de partículas por agua, en sitios con pendiente fuerte. Es probable que un fenómeno similar ocurra en los bosques tropicales secos.

En las unidades naturales del dorso de la ladera de barranco superior, medio y medio inferior, se presentan pendientes abruptas, principal factor que contribuye en la pérdida de suelo, aunado a la falta de cobertura vegetal de estratos superiores, ya que la cobertura dominante es el pastizal inducido denso, mientras que en las unidades presentes en el Dlb, Plb y Pt domina la cobertura de selva baja caducifolia, por lo tanto la mayor pérdida de vegetación se presenta en las unidades naturales de las partes media y alta de las laderas, así como en toda la periferia de la EREBRT.

La composición florística de la EREBRT está representada por las familias Leguminosae y Asteraceae; estudios realizados por Camacho (2004) y Piña (2005), en zonas cercanas al área de estudio, muestran también esta tendencia. El que la familia Leguminosae sea consistente en bosque tropicales caducifolios puede deberse a que es una de las más diversas y a que está ampliamente representada en las zonas tropicales (Gómez-Pompa, 1966; Trejo, 1998). Así también la familia Asteraceae es representativa de las regiones tropicales y su abundancia en zonas con disturbio puede deberse a su rápido crecimiento, su alta eficiencia en la propagación y producción de propágulos (Gómez-Pompa, 1966).

Las formas de vida con menor número de especies correspondió a las lianas, seguida de los arbustos y los árboles, esto también lo resaltan los trabajos de Camacho (2004) y Piña (2005), ya que el componente arbóreo es el que da carácter fisonómico y estructural a este tipo de vegetación (Rzedowski, 1978; González-Medrano, 2004). La disminución en la abundancia de lianas puede ser a causa del disturbio humano y el fuego, ya que tales disturbios pueden reducir la abundancia de éstas en la selvas bajas caducifolias (Gillespie *et al.*, 2000), así mismo la altura del estrato arbóreo y arbustivo y el área basal pueden ser un reflejo del impacto del fuego, el pastoreo y la tala que se presenta en el área. Es probable que la apertura de claros por la tala y los eventos de fuego hayan contribuido al establecimiento de especies que abundan en sitios perturbados,

como *Dodonea viscosa* (Rzedowski y Calderón, 1985), especie considerada como indicadora de disturbios, ésta se encontró en los claros presentes en la Sbc(d). La predominancia mínima de árboles con altura mayor a 7 m dio como resultado un estrato arboreo bajo (Miranda y Hernández-Xolocotzi, 1963; Rzedowski, 1978). La tendencia de los individuos hacia los DAP pequeños, indica estructuras diamétricas dominadas por individuos pequeños (Trejo, 1998), aunque esto se puede deber según (Stern *et al.*, 2002) al pastoreo del ganado vacuno, ya que ello reduce la abundancia de tallos grandes, así como también la tala para leña puede ser importante. Los bajos valores de frecuencia encontrados, (medida relacionada indirectamente con la distribución espacial de las especies), indican en general que se trata de un sistema heterogéneo, donde las especies menos frecuentes corren el riesgo de perderse. En las comunidades de selva baja caducifolia, Trejo, (1998) ha reportado que sólo unas cuantas especies tienen un alto valor de índice relativo, lo que indica que la estructura está dominada por un número pequeño de especies, lo cual se presenta en las diferentes coberturas vegetales de la EREBRT. El conocimiento del valor de importancia de las especies puede dar pauta para un programa de manejo que permita frenar la degradación del área. Las especies con mayor valor de importancia como *Fraxinus udhei* se reporta con crecimiento en sitios húmedos de las cañadas y es de rápido crecimiento (Standley, 1924; Rzedowski, 1978; Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). *Lysiloma acapulcense* generalmente se asocia a vegetación secundaria de zonas tropicales (Pennington y Sarukhán, 1998). *Acacia farnesiana* es un componente importante en los pastizales de la estación y forma parte de la vegetación secundaria de los bosques tropicales en todo tipo de suelos (Pennington y Sarukhán, 1998).

En el área de estudio, la conversión de Sbc a pastizales ha provocado una fuerte pérdida de biomasa y la recuperación de la vegetación mediante regeneración a nivel de semillas y retoños, está en función de los factores fuego y pastoreo, ello repercute en la estructura y desarrollo de la selva, el fuego intenso es el factor más importante de alteración de la estructura y composición de una comunidad (Kennard *et al.*, 2002; Kauffman *et al.*, 2003). Así también el período estacional de lluvia en los sistemas como el de la EREBRT produce en los meses con menor lluvia alta pérdida de humedad, provocando la mayor mortalidad de las plantas (Galindo, 2006; Ulloa-Nieto, 2006; Ayala, 2008).

#### **5.4. Análisis estadístico**

La integración de los factores ambientales se manifiesta en las agrupaciones resultantes en el análisis de *cluster*, ya que los seis grupos comparten características particulares, cuya asociación se debió a su posición en la ladera, así como por su forma de relieve, lo cual denota que hay una fuerte asociación de las variables consideradas en los componentes de la ladera, debido a las diferencias edáficas y de vegetación así como los factores geomorfológicos que se presentan. Las condiciones de calidad de suelo van mejorando ladera abajo debido a la escasa accesibilidad antrópica, por lo tanto la vegetación es más abundante, mientras que los pastizales así como las pendientes abruptas se presentan en la parte media de la ladera, lo cual se observa en la agrupación de las unidades.

Por otro lado el análisis de componentes principales permitió saber qué variables juegan un papel más importante en la agrupación, destacando las propiedades químicas y físicas del suelo y la geometría de la ladera, este último factor así como la pendiente hacen referencia a los procesos erosivos que se suscitan en cada unidad. Así se observan unidades que presentan erosión por factores hídricos que se atenúan según la forma de la unidad y su pendiente, la geometría convexa en perfil tiende a ser más propensa a la erosión tanto hídrica como gravitacional. En general la geofoma, los procesos de erosión y depositación así como los procesos pedogenéticos producen variaciones en los suelos, lo cual repercute en el desarrollo de algunas especies de plantas, por ello la presencia de discontinuidades en la composición florística y la dominancia de ciertas especies (Fernández, 1999; Moore *et al.*, 1993a ).

El análisis integral de los indicadores de los factores ambientales relieve, suelo y vegetación resultante de los métodos multivariados utilizados, permitieron asignar a las unidades naturales un manejo encaminado a la restauración ecológica y a la conservación dependiendo de sus características particulares.

## ***Capítulo 6. Propuestas encaminadas hacia la restauración ecológica y conservación de las Unidades Naturales de la EREBRT.***

Cotler *et al.* (2005) hacen constar la relevancia del levantamiento geomorfológico integrado en los programas de restauración, ya que consideran que un plan de restauración debe partir de reconocer los procesos de degradación que afectaron el ecosistema de interés y proponen que a partir de los resultados de levantamientos integrados se puede reconocer y comprender (a varias escalas geográficas) la distribución geográfica de los ecosistemas, su degradación y posible restauración. Según Berger (1993), la regeneración puede ocurrir naturalmente sin la intervención humana, sin embargo, en algunos casos, el proceso es extremadamente lento, por lo cual es necesario recurrir a la restauración ecológica para acelerar la sucesión y por lo tanto la recuperación del ecosistema.

En la restauración de un ecosistema, además de considerar a los procesos que lo afectaron, se deben combinar múltiples áreas del conocimiento, como la ecofisiología de las especies vegetales, que permitan generar técnicas de propagación y manejo que sean de utilidad para la regeneración de las comunidades vegetales; las características del suelo y uso tradicional, así como la dinámica de los nutrientes en el mismo; la historia natural de la localidad; el impacto de la transformación del sistema en las comunidades humanas que lo aprovechan y la importancia económica y social potencial de las especies nativas, entre otros, a fin de que se genere un sistema altamente diverso y similar al original en composición y estructura, el cual debe, además, ser autosustentable no sólo en términos ecológicos, sino también sociales, de forma que sea una fuente de recursos para las comunidades aledañas al ser explotado por éstas de manera racional garantizando su conservación (Huante *et al.*, 1992; Rincón *et al.*, 2000; SER, 2004).

Sin embargo en un estudio no siempre es posible integrar todos estos factores, en el presente trabajo el enfoque es de índole ambiental, el diagnóstico ambiental permitió plantear propuestas encaminadas a la restauración ecológica y a la conservación de la vegetación y el suelo de la EREBRT. Éstas se plantean con base en la posición topográfica de cada unidad natural, lo que permite un análisis basado en los diferentes componentes geomorfológicos del área. Así primeramente se analizan las unidades naturales localizadas en la superficie cumbral de abanico volcánico y el hombro de ladera de barranco, posteriormente aquellas del dorso de ladera de

barranco superior, medio y medio inferior, después las que se ubican en el dorso de ladera de barranco inferior y el piedeladera de barranco y por último las presentes en la pared de *talweg*, por lo que se analizaron cuatro grandes grupos.

Sin embargo al momento de la puesta en práctica de la restauración, se deben considerar las características particulares de cada unidad. La orientación es importante debido a su efecto en la intensidad de la radiación. En la ladera *este* se observan grandes áreas desprovistas de vegetación arborea y arbustiva en comparación con la ladera *oeste*, lo que puede deberse a la mayor evapotranspiración causada por la exposición solar, aunque también existen diferencias en la facilidad de acceso a las laderas; en esta ladera se presenta también una mayor actividad tectónica, evidencia de ello es la gran cantidad de escarpes que pueden verse. Otro factor a considerar es la geometría de cada unidad natural, ya que los procesos erosivos por factores hídricos y de remoción en masa varían según la geoforma, por ello este factor sumado con la pendiente se uso como indicador de la viabilidad de la técnica de restauración. Las unidades naturales con geometría convexa en perfil y con pendientes abruptas tienden a ser más propensas a la erosión hídrica mientras que en las formas concavas la concentración de escurrimiento es más intensa y en las formas rectilíneas o planas el agua se dispersa (Ruhe, 1975).

Las propuestas de restauración del área están enfocadas al incremento de la cubierta vegetal y la retención y mejoría de la calidad del suelo, factores que se deben considerar a la par (Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Es importante tener un conocimiento adecuado de la flora nativa y de la biología reproductiva de las plantas, así como de las funciones del suelo y su variabilidad espacial, ya que las características y propiedades de éstos están directamente relacionadas con el relieve. Actualmente están en curso diversas investigaciones orientadas a este fin, que serán de gran utilidad en la propagación y establecimiento de especies nativas.

### *6.1 Superficie cumbral de abanico volcánico y hombro de ladera de barranco.*

Las unidades naturales localizadas en la superficie cumbral de abanico volcánico (Scav) y hombro de ladera de barranco (Hlb) son siete y se sugiere que en ellas se realicen trabajos de restauración ecológica (Fig.6.36), ya que son las áreas que limitan la EREBRT hacia las planicies, por ello son las más susceptibles a la perturbación tanto humana como del ganado, éstas tienen una pendiente poco pronunciada y escasa cobertura vegetal tanto arborea como arbustiva,

dominando en gran medida el pastizal inducido y huizaches dispersos, aunque también se encuentran espacios desprovistos de vegetación con afloramientos rocosos. Se observa erosión laminar en toda el área y una pedregosidad que cubre el 50% de la superficie, lo cual puede limitar la introducción de vegetación. Los suelos son fuertemente compactados, de textura franco arenosa, densidad aparente tendiente a media, pososidad mediana, materia orgánica de pobre a media, por lo tanto el pH es moderadamente ácido y la capacidad de intercambio catiónico es baja ó media. Los trabajos de restauración que se realicen en estas unidades deben tener en consideración el factor antrópico y de ganado, hay evidencia de que las condiciones del suelo de estas unidades favorece el establecimiento de especies arbóreas (Ayala, 2008), sin embargo el cercado de la estación es una opción para disminuir el impacto antropogénico, para ello se debe considerar dar una opción alternativa a los ganaderos para que sus animales no sigan pastando en el área de la estación.

El incrementar la cobertura vegetal permitirá disminuir la erosión y recuperar el suelo. Se sugiere establecer especies vegetales con sistema radicular poco profundo, como algunas leguminosas y pastos; los cultivos de cobertura son recomendables en suelos someros que permitan sustentar vegetación natural, ya que se siembran para cubrir al suelo y protegerlo de la erosión. El pasto presente *Paspalum notatum* funge como cultivo de cobertura, ya que se distribuye a lo largo de toda la estación, evitando que el suelo quede al descubierto además de que contrarrestan la velocidad de escurrimiento del agua permitiendo una mayor infiltración, además de que protege de la erosión eólica, de aquí su importancia al evitar la erosión en lo que se establece la vegetación arbórea y/o arbustiva. El manejo en las áreas donde la roca madre se encuentra en afloramiento puede ser mediante la trituración de la roca por medio de técnicas mecánicas y posteriormente agregársele suelo en una cantidad que cubra el área e incorporar mantillo, sin embargo se debe evaluar el alto costo que esto implica y por lo tanto su viabilidad. De acuerdo con García-Oliva (2005) la incorporación de mantillo es una alternativa a pequeña escala (de parcela), ya que ayuda a la formación de suelo, reduce la erosión e incrementa la infiltración, sin embargo es importante evaluar su viabilidad económica a escalas mayores. Los abonos verdes, residuos de cosecha y estiércol también son una alternativa para incrementar la fertilidad de los suelos; el estiércol proveniente del ganado vacuno y equino se presenta ya de forma heterogénea y se incorpora al suelo. La restuarción de estas unidades debe encaminarse hacia la recuperación de estratos superiores de vegetación, ya que el pastizal presente funge como cultivo de cobertura.

Para disminuir la erosión hídrica se puede implementar la práctica mecánica de surcos de contorno, ya que se tienen pendientes poco pronunciadas. Esta técnica se utiliza para proteger al suelo de la erosión causada por la velocidad del agua, debido a que en el fondo de los surcos no hay pendiente, así el agua queda almacenada y se infiltra. Consiste en hacer surcos perpendiculares a la pendiente, siguiendo las curvas de nivel del terreno, cada surco debe tener el mismo nivel.

#### *6.2. Dorso de ladera de barranco superior, medio, medio inferior y no diferenciado.*

Las unidades naturales que se encuentran en el dorso de ladera de barranco superior, medio, medio inferior y no diferenciado (Dlbs, Dlbn, Dlbnmi y Dlbnnd) son treinta y seis, de las cuales se recomienda que se restauren treinta; sin embargo la viabilidad de la restauración varía, debido a la geomorfología propia de las unidades, ya que la pendiente es un factor limitante que alcanza hasta 64° en algunas zonas que incluyen desde el 25% hasta el 45% del área de cada unidad, además de los escarpes. Las otras seis unidades son prioritarias para conservación, debido a que mantienen en gran parte de su área una cobertura de vegetación de selva baja y de encinar, además de que su topografía es en algunos casos abrupta y por ello de escasa accesibilidad y sus condiciones edáficas tienen mejor calidad que las unidades recomendadas a restauración. Las unidades naturales prioritarias a restauración y su viabilidad, así como las recomendables a conservación se presentan en el Cuadro 4.18 y la Fig. 6.36.

Las unidades a restaurarse presentan pendientes pronunciadas, lo que repercute en la pérdida del suelo por arrastre durante la época de lluvias y consecuentemente en su acumulación, la profundidad va de somera a media, los suelos presentan una textura franco arcillo arenosa y hay escasa cobertura de vegetación, ya que el pastizal inducido se presenta en más del 50% del área total de las unidades. Se observa la presencia de cárcavas continuas o en formación, además en algunas de las unidades se manifiesta un proceso de reptación, que es el movimiento masivo de suelo que se da de manera lenta (cm/año) por efecto de humidificación-desección. El proceso de remoción en masa es fuerte en aquellas unidades con pendientes abruptas y hay pedregosidad del 35 a 50% del área.

La restauración de la vegetación y el suelo de estas unidades naturales son indispensables, ya que ello atenuaría la erosión de gran parte del área de estudio, debido a que estas unidades abarcan un gran porcentaje de la estación. En las unidades en la que la viabilidad de la restauración es baja se sugiere que se mantengan los pastizales como cobertura.

En las unidades naturales del Dlbs y Dlbn, es recomendable la introducción de vegetación nativa; por las condiciones propias del relieve se sugiere la revegetación en contorno, mediante la implementación de bordos a nivel, que son bordos de suelo que constituyen barreras físicas, se construyen siguiendo las curvas de nivel, mediante la excavación de una zanja y amontonando y comprimiendo la tierra pendiente abajo para formar un montículo (Arriaga *et al.*, 1994). Donde no se encuentre suelo suficiente para formar bordos pueden construirse muros de piedras, acomodadas siguiendo las curvas de nivel, con el objetivo de retener el suelo (López-Galindo, 1997).

En las unidades donde la profundidad del suelo es somera y las pendientes fuertes se sugiere se planten especies nativas de *Agave* y *Opuntia*, por presentar sistemas radiculares poco profundos y porque pueden establecerse como barreras vivas. Incluso en algunas unidades se observa que mantienen su establecimiento en contorno (Fig. 6.34). Especies como *Dodonea viscosa* se puede considerar para la restauración de estos sitios, ya que Ulloa-Nieto (2006), considera se pueden establecer en sitios con buen drenaje, evitando las pendientes planas y los suelos profundos y arcillosos, además esta especie tiene la ventaja de tolerar los incendios superficiales, ya que presenta una buena supervivencia en respuesta al fuego y tasas de crecimiento altas, otra especie con una buena supervivencia y crecimiento en el dorso de la ladera es *Leucaena leucocephala* (Ayala, 2008)



Fig. 6.34. Representación del surcado natural en las curvas de nivel del área y especies vegetales propias del sitio ayudando en la formación de suelo.

También se sugiere considerar el sistema *Gradioni*, el cual es una técnica usada en la restauración de terrenos muy erosionados (Pimentel, 1970) ya que permite retener el agua de los escurrimientos superficiales, y puede ser usada en múltiples condiciones. Se recomienda principalmente en sitios que presentan suelos compactados y con problemas de erosión, asimismo, es útil en sitios con escasa precipitación donde es necesario captar, detener e infiltrar el agua proveniente de la lluvia, para proporcionar humedad en la época de sequía a las plantas que se introduzcan. También es adecuado cuando se requiera controlar la erosión provocada por escurrimientos excesivos de agua y puede utilizarse en cualquier tipo de pendiente y cualquier clase de precipitación. Este sistema permite el rápido desarrollo de las plantas al proporcionar un suelo removido y poroso y con un suministro de agua. Consiste en trazar curvas de nivel, a una equidistancia vertical que varía de 0.5 a 6 m, dependiendo de la pendiente del terreno y la precipitación. Sobre las curvas a nivel se abren zanjas, cuya medida depende del terreno, la tierra extraída se coloca fuera de la zanja pendiente abajo, formando un bordo de tierra removida sobre el que se introducen plantas con el espaciamiento adecuado (Fig. 6.35). Cuando el suelo tiene una profundidad de 40 cm o más y la precipitación es superior a los 700 mm, la distancia entre hileras puede llegar a ser de 2 a 3 m, dependiendo de la planta que se introduzca, considerando que entre menor sea la separación mejor control se hará de los escurrimientos. Por el contrario, si se cuenta con escasa precipitación y suelo delgado, la distancia entre hileras debe aumentar,

recomendándose de 5 a 6 m, con la finalidad de contar con mayor área de escurrimiento que alimente la zanja.

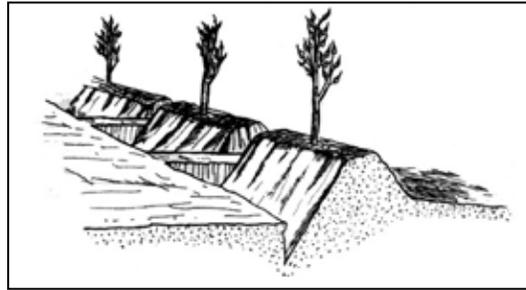


Fig.6.35. Representación de la técnica Gradioni

En las unidades naturales que se encuentran en áreas de cauce y aquellas que mantienen cárcavas visibles, se sugiere que para atenuar y proteger que se sigan expandiendo todos los cauces o desagües naturales en la estación, así como las cárcavas, se introduzca vegetación nativa en los márgenes para evitar su ensanchamiento, así como la elaboración de represas filtrantes de piedra acomodada en donde sea viable; éstos se emplean en diversos puntos donde la corriente no es fuerte, para ello se construyen pequeñas represas filtrantes o terrazas pequeñas, se utilizan diversos modelos y técnicas de acuerdo con las condiciones del terreno y a los materiales disponibles. La función de las represas filtrantes es la retención de los materiales sólidos aguas arriba y la filtración del agua con menor velocidad, facilitando su control y alargando el tiempo de escurrimiento (López-Galindo, 1997). Una represa sencilla consiste en una pared perpendicular a la dirección de la corriente, edificada acomodando y superponiendo piedras sin labrar y sin utilizar mezcla ni cemento para unir las, de modo que queden hendiduras entre ellas por donde pueda filtrarse el agua, cuidando que estén bien afianzadas para que no sean arrastradas. En la cara de la represa que está corriente arriba se colocan ramas, tierra o desechos vegetales disponibles que impidan que el agua se filtre velozmente, logrando un estancamiento temporal (Hernández y Herrerías, 2001)

En las unidades del Dlbmi se recomienda la introducción de especies nativas de selva baja caducifolia y encinares considerando que se encuentren cerca de unidades naturales con este tipo de vegetación; ello contribuiría a una expansión de esta vegetación y a la mejoría de la calidad del suelo. En las unidades ubicadas en esta posición se debe tener en cuenta la clase textural del suelo, que es en gran porcentaje franco arcillo arenoso y franco arcilloso, lo cual le da una condición de barrera que evita la filtración durante la temporada lluviosa, por ello las especies

que se introduzcan deben ser resistentes al anegamiento durante la etapa de plántula. Se recomienda usar las evaluaciones de las especies que se están introduciendo en el área para seleccionar las especies a utilizar. Ulloa-Nieto (2006), reporta que *G. sepium* es una especie de sucesión temprana, que sugiere como opción en la restauración de los pastizales del área de estudio, ya que presenta una buena sobrevivencia y crecimiento en respuesta al fuego a través de rebrotes y por ser tolerante al anegamiento.

### 6.3 Dorso de ladera de barranco inferior y el piedeladera de barranco

Las unidades naturales ubicadas en el dorso de ladera de barranco inferior (Dlbi) y el piedeladera de barranco (Plb), mantienen mejores condiciones en el suelo, tienen texturas tendientes a francas, densidades aparentes bajas, porosidad alta, materia orgánica media, pH ligeramente ácido y capacidad de intercambio catiónico medio, lo cual está muy relacionado con los tipos y asociaciones de vegetación que albergan (ver Fig. 4.20). En cuanto al relieve en las unidades del Dlbi se encuentran pendientes que alcanzan hasta los 64°, sin embargo los Plb son áreas de pendiente poco pronunciadas; en un alto porcentaje abarcan entre 8° y 16° (alcanzando 32°), se observa en algunas erosión laminar moderada ya que se presentan canalillos. La vegetación que mantienen todas las unidades contribuye a evitar la pérdida del suelo a pesar de la pendiente, ya que las raíces funcionan como barreras y detienen el suelo, además las hojas amortiguan el golpe de las gotas de lluvia, llegando al suelo con mucho menos fuerza, mientras que los tallos evitan que se formen corrientes en el suelo.

El Dlbi en conjunto con el Plb albergan treinta y nueve unidades naturales, de las cuales veintiseis son recomendadas para conservación y trece para restauración ecológica (Fig. 6.36).

Las destinadas a conservación tienen una buena cobertura y calidad de suelo; además varias son de escasa accesibilidad por encontrarse en grandes escarpes.

En la restauración de estas unidades se recomienda la introducción de especies nativas de selva baja caducifolia. Las especies recomendadas en algunos estudios de introducción de especies de selva baja caducifolia de sucesión primaria son: *Lysiloma divaricata*, *Lysiloma acapulcensis* (esta última especie se encuentra en la zona de transición con el bosque de encinos), *Eysenhardtia polystachya*, *Pithecollobium dulce*, *Leucaena esculenta* y *Leucaena macrophylla* (Arriaga et al., 1994), y de sucesión secundaria son: *Acacia pennatula* y *Acacia cochliacanta*. Se debe considerar

también la introducción de especies asociadas a la selva baja como son los *Juniperus* y *Quercus* en las unidades que tengan cercanas este tipo de vegetación. La mejoría en la calidad del suelo en estas unidades se producirá por medio de la incorporación de la MO de la vegetación misma que se introduzca; la revegetación es aceptada y usada como vía para reducir la erosión y proteger al suelo de la degradación (Izquierdo *et al.*, 2005), para ello es importante considerar qué especies vegetales son más adecuadas, dependiendo de su supervivencia y crecimiento en los diferentes tipos de unidades así también las características químicas del material que retorna al suelo y de su demanda de nutrientes.

#### 6.4 Pared de talweg

La pared de *talweg* (Pt) está compuesta por dos grandes unidades naturales que se encuentran a lo largo de toda la estación; por sus condiciones de topografía son aptas para la vida silvestre. Estas unidades son las que mejor representan a la selva baja caducifolia densa y las asociaciones de selva baja caducifolia con encinares y *Juniperus*, lo que se refleja en la calidad del suelo, ya que se encuentran texturas francas, densidades aparentes bajas, porosidades altas, compactación baja, materia orgánica media con pH tendiente a ligeramente ácido y capacidad de intercambio catiónico media (Anexo B). Su topografía es accidentada ya que combinan las formas cóncavas, convexas y planas; la pendiente dominante es entre 32° y 64°. Por sus condiciones se recomiendan para su conservación y se pueden tomar como sitios de referencia para la restauración de toda el área de estudio (Fig. 6.36), además de ser reservorios de biodiversidad de la estación; para mantenerlo se sugiere plantar en las orillas de los remanentes de vegetación especies nativas útiles para disminuir el efecto de borde y para atraer animales frugívoros dispersores de semillas.

En la restauración de las unidades naturales de la EREBRT se puede tomar en cuenta también la utilización del banco de semillas (semillas viables en el suelo) sobre todo en los sitios que aún mantienen vegetación nativa en pie; la regeneración con base en estructuras de reproducción vegetativa, es una técnica alternativa cuando no es posible utilizar las semillas y/o cuando se quiere seleccionar características valiosas de las plantas, sin embargo debe buscarse no disminuir la variabilidad genética, por lo que se debe considerar como método complementario (Rincón *et al.*, 2000). También debe considerarse que las especies vegetales que se utilicen sean de fácil

propagación, resistentes a condiciones limitantes, como baja fertilidad del suelo, sequía ó anegamiento, suelos compactados, así como tomar en cuenta que sean de rápido crecimiento ya que ello permitiría la producción rápida de materia orgánica y de hojarasca. Las especies con asociaciones micorrízicas pueden compensar el bajo nivel de nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos en el suelo. Se debe considerar por razones de biodiversidad que las especies utilizadas favorezcan el establecimiento de las especies nativas, tanto de flora como de fauna, proporcionando hábitat y alimento; también se sugiere incluir especies útiles para las comunidades aledañas (Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Segura (2005) sugiere considerar especies no nativas que puedan contribuir en alguna de las etapas de la recuperación del sistema, las cuales deben seleccionarse cuidadosamente considerando sus características y que no tengan características de especies invasoras. En selvas bajas caducifolias, la siembra debe realizarse al inicio de la temporada de lluvias a fin de que las plántulas tengan condiciones favorables para su establecimiento y desarrollo. La integración de diversos métodos en los programas de restauración es considerada una buena opción para su éxito (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

En los trabajos de restauración ambiental se ha resaltado la importancia de realizar una evaluación de costos (Echavarría *et al.*, 2004), cuando se realiza una intervención tecnológica con establecimiento de especies vegetales y movimiento de suelo. Esto no sólo implica evaluar el costo material sino también el costo ecológico al inducir una inestabilidad temporal en el suelo que puede llevar a un aumento en los niveles de erosión; además se debe considerar el costo en la manutención de la nueva condición. De aquí que deben tomarse en cuenta los altos costos de preparación del suelo, la siembra y el mantenimiento cuando se pretende rehabilitar un sistema. Si los trabajos de restauración se realizan ya sea para la recuperación del suelo o de la cubierta vegetal se debe pensar en llevar a cabo monitoreos que permitan evaluar las tendencias de la restauración del ecosistema (Holl y Cairns, 2002).

Manejo propuesto para las Unidades Naturales de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe.

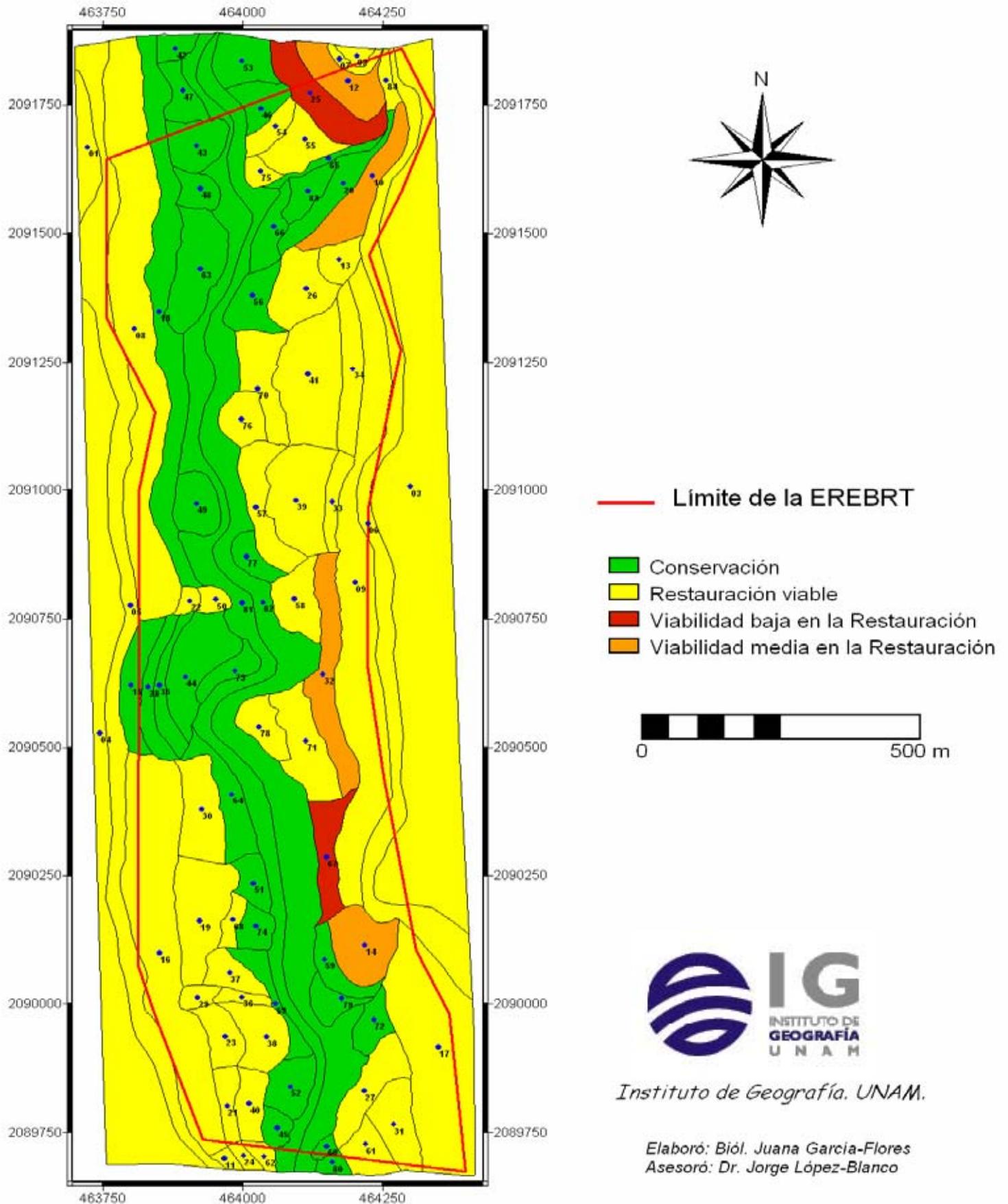


Fig. 6.36. Mapa de unidades naturales, en las cuales se propone un manejo con base en el diagnóstico ambiental 98

## Capítulo 7. Conclusiones

Mediante la caracterización geomorfológica se clasificaron 84 unidades, cuatro de las cuales se ubican en la superficie cumbral de abanico volcánico (Scav), tres en el hombro de ladera de barranco (Hlb), dos en el dorso de ladera no diferenciado (Dlbnd), diez en el dorso de ladera de barranco superior (Dlbs), diecisiete en el dorso de ladera de barranco medio (Dlbnm), siete en el dorso de ladera de barranco medio inferior (Dlbmi), treinta y uno en el dorso de ladera de barranco inferior (Dlbi), ocho en el piedeladera de barranco (Plb) y dos en la (Pt). Los factores físicos del sistema como las fuertes pendientes de las laderas en gran parte de la EREBRT, repercuten en la acumulación del suelo y contribuyen a su pérdida, manteniendo así suelos someros y afloramientos rocosos, con el consecuente establecimiento reducido de la vegetación natural. A esto se suma la actividad ganadera local, así como los incendios de origen antrópico para la regeneración de los pastos que alimentan al ganado. Otros factores que influyen en el desarrollo de la vegetación son la orientación y la geometría del relieve que están estrechamente relacionadas con la incidencia de radiación solar.

La caracterización del suelo de la ERBRT muestra que en general la calidad del suelo es buena, sin embargo las condiciones mismas del relieve y la escasa cobertura vegetal influyen en su erosión. Los tipos de pendientes contribuyen a que la profundidad sea somera, y a su pérdida por la erosión hídrica y los procesos de remoción. Los suelos de las unidades naturales localizadas a partir del dorso de ladera de barranco inferior a la pared de *talweg*, tienen una mejor calidad, debido a que en estas áreas se alberga la vegetación más conservada, contrariamente a las unidades localizadas en las partes medias y altas de la ladera.

La caracterización de la vegetación dio como resultado trece clases de cobertura vegetal: Selva baja caducifolia densa Sbc(d), medianamente densa Sbc(md) y poco densa Sbc(pd); selva baja caducifolia con *Juniperus* densa Sbc(J)d y medianamente densa Sbc(J)md; Encinar denso Q(d), encinar con selva baja caducifolia medianamente densa Q(Sbc)md; Pastizal inducido con selva baja caducifolia medianamente denso Pi(Sbc)md, y poco denso Pi(Sbc)pd; Pastizal inducido con *Juniperus* poco denso Pi(J)pd; Pastizal inducido con huizaches denso Pi(h)d, poco denso Pi(h)pd y Pastizal inducido denso Pi(d). El pastizal inducido denso es representativo en toda el área de estudio ya que abarca el 28.08% del área, contrariamente al encinar con remanentes de selva baja

caducifolia con densidad media que abarca 0.96 %. Estos tipos de cobertura se distribuyen de la siguiente manera en los componentes geomorfológicos: en la Scav al Dlbs el Pastizal inducido y éste asociado con huizaches de poca densidad predominan; en el Dlbn al Dlbnmi el Pastizal inducido y éste asociado con selva baja caducifolia se encuentran como dominantes; en el Dlbi, Plb y Pt la selva baja caducifolia densa y de baja densidad son representativas. La composición florística está representada por especies de las familias Leguminosae, Asteraceae, Burseraceae y Rubiaceae. Los árboles de talla más alta son *Ateleia pterocarpa* (10 m), *Annona cherimola*, *Juniperus flacida* y *Lysiloma sp.* (8 m), las dos primeras presentes en la Sbc(d) y las dos últimas en la Sbc(J)d. Los arbustos son representativos en densidad. Las especies con mayor valor de importancia en las distintas coberturas están representadas generalmente por una especie, como lo son: *Chiococca alba*, *Fraxinus uhdeii*, *Bursera fagaroides*, *Lysiloma spp.* *Lantana hispida*, *Lysiloma acapulcense*, *Acacia farnesiana* y *Lantana hispida* (Cuadro 4.14), esto resalta que la vegetación remanente está dominado por un número pequeño de especies.

Se clasificaron 84 unidades naturales, a partir del mapa de unidades geomorfológicas. De estas, cincuenta y uno se proponen para una restauración y treinta y tres para conservación con base en sus características de relieve, suelo y vegetación.

Se sugiere que la restauración de las unidades naturales de la EREBRT esté encaminada a la revegetación con especies nativas. En las especies a seleccionar se deben considerar las condiciones propias de las unidades naturales. En aquéllas con pendientes fuertes se puede llevar a cabo la introducción de especies de *Agave* y *Opuntia* nativas, ya que son recomendables por atenuar la erosión del suelo; para las unidades que se encuentran en las áreas bajas de las laderas, por las condiciones favorables que mantienen de profundidad en el suelo, así como textura franco arcillo-arenosa a franca, una mayor humedad, pH moderadamente ácidos y MO medias, se sugiere el establecimiento de especies de selva baja, entre ellas se recomiendan a las leguminosas.

La propuesta de manejo de las unidades naturales hacia la conservación es debido a que estas mantienen una buena calidad en las propiedades del suelo, además de que en ellas se encuentran los remanentes de vegetación menos perturbados, siendo estos la selva baja caducifolia con sus distintas densidades en cobertura y las asociaciones de selva baja caducifolia con remanentes de encinares y *Juniperus*. Las unidades naturales localizadas en las partes más bajas de las ladera

son las que mantienen estas condiciones de vegetación, lo cual se infiere se debe a su escasa accesibilidad, resultado de su topografía, ya que algunas de las unidades se encuentran por debajo de escarpes de hasta treinta metros.

## ***Bibliografía***

- Aber J. D. y Jordan III W.R. 1985. Restoration Ecology: an environmental middle ground. *Bioscience*. 35(7): 399.
- Aguilar Benítez, S. 1990. Dimensiones ecológicas del estado de Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. México. 235p.
- Aguilar Benítez, S. 1999. Ecología del Estado de Morelos, un enfoque geográfico. *Praxis*. México. 469 p.
- Aguilera, H. N. 1989. Tratado de edafología de México. Tomo I. México. Ed. Facultad de Ciencias. UNAM. 222p.
- Aronoff S. 1991. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL, Ottawa, Canada.
- Arellano, R. A. M. 2001. Delimitación de unidades ambientales por medio de una regionalización geomorfológica del mesobloque “El Encantado” Oaxaca. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arriaga V., Cervantes G. V.M. y Vargas-Mena A. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. SEDESOL, INE, UNAM. 186 p.
- Ayala-García J. F. 2008. “Desempeño de plantas de tres especies arbóreas en tres unidades de ladera de la estación de restauración Barranca del río Tembembe, Morelos. Tesis de Maestría (Biología). UNAM. México.
- Bautista, M. A., M. A. Vergara S. y J. D. Etchevers B. 2005. Introducción al concepto calidad o salud de suelo. Serie Documentos de Trabajo en Edafología. Ed. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.
- Bautista-Zúñiga F., Delfín-González H., Palacio-Prieto, J.L y Delgado-Carranza, M.C. 2004a. Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Autónoma de Yucatán. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Ecología. 509 p.
- Bautista-Zúñiga F., Cram-Heydrich S. y Sommer-Cervantes I. 2004b. Ambiente: suelos. Cap. 2 en libro: Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Autónoma de Yucatán. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Ecología. 509 p.
- Benítez-Badillo, G., M. T. Pulido y M. E. Zamora. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología A. C., SIGOLFO, CONAFOR. Xalapa, Veracruz, México.
- Bennema, J. and H.F, Gelens. 1996. Aerial photointerpretation for soils surveys. *Revisions: A. Fashad*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Netherlands. 74 p. En: Alvarez, M., Córdoba S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F. Méndoz H. Ospina, M., Umaña,

- A. M., y Villareal H. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2da. Ed. Bogotá, Colombia. 236 p.
- Berger, J. J. 1993. Ecological restoration and indigenous plant species: A Review. *Restoration Ecology* 1(2):74-100.
  - Bocco, G., A. Velásquez., M. E. Mendoza., M. A. Torres y A. Torres. 1996. Informe Final, Subproyecto Regionalización Ecológica. Proyecto de Actualización de Ordenamiento Ecológico General del Territorio del País. Elaborado por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAP), 95 pp.
  - Bocco, G., M. E. Mendoza., A. Velásquez y A. Torres. 1999. La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas*. No 40.
  - Bocco, G., Mendoza, M. y Velásquez, A. 2001. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping- a tool for land use planning in developing countries. *Geomorphology* 39:211-219.
  - Bocco, G., Priego, A. y Cotler H. 2005. La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. Experiencias en México. Instituto Nacional de Ecología. *Gaceta Ecológica*. No. 076. Pp: 23-34.
  - Bohn, H. L., McNeal B. L. y O'Connor G.A. 1993. *Química del suelo*. Limusa. México. 359 pp.
  - Bonfil S. C., Trejo I. and García-Barrios. R. 2004. The Experimental Station “Barrancas del Río Tembembe” For Ecological Restoration in NW Morelos, Mexico. *Memorias del Congreso Restoration on the Edge Society of Ecological Restoration*. British Columbia, Canada.
  - Bonfil S. C., Mendoza-Hernández P. E. y Ulloa Nieto J. A. 2007. Enraizamiento y producción de callos en estacas de siete especies del género *Bursera*. *Agrociencia* 4(1): 103-109
  - Camacho, R. F. 2004. Estructura y composición de la vegetación del fondo de la Barranca del Río Tembembe, Morelos, México. Facultad de Ciencias. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
  - Camacho, R. F., Trejo, V. I y Bonfil S. C. 2006. Estructura y Composición de la Vegetación Ribereña de la Barranca del Río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana* 78: 17-31.
  - Castillo R. M. E. 2006. Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogenéticas. Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
  - Cardona, C. N. 2005. Consideraciones socioeconómicas en el diseño de proyectos sustentables de restauración ecológica. Pp. 45-56. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (eds.). *Temas sobre restauración ecológica*. INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 pp.
  - Cepeda, J. M. 1991. *Química de suelos*. Ed. Trillas. México. 167pp.

- CETENAL 1976a. Carta Edafológica 1:50000. E14A58. Tenancingo, México. (Comisión de Estudios del Territorio Nacional).
- CETENAL. 1976b. Carta Uso de Suelo y Vegetación. 1:50000. E14A58. Tenancingo, México. (Comisión de Estudios del Territorio Nacional).
- Cervantes, M. V. 2005. Un enfoque interdisciplinario para la restauración ambiental: estudio de caso de una comunidad nahua del sur de México. Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 300 p.
- Cervantes S. M. A. y M. E. Sotelo. 2002. Guías técnicas para la propagación sexual de diez especies latifoliadas de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos. Ed. Especial 30. INIFAP-SAGARPA. Campo experimental Zacatepec. Morelos. México.
- Cervantes M. V., M. L. González, N. Salas Nava y G. Hernández Cárdenas. 2001. Técnicas para propagar especies nativas de selvas bajas caducifolias y criterios para establecer áreas de reforestación. Las Prensas de Ciencias. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cole J. and King, C. 1969. Quantitative Geography: Techniques and Theories in Geography. John Wiley & Sons, Gran Bretaña.
- Comas, D., Ruiz, E. 1993. Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica. Barcelona, Ariel.
- CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 71 p.
- Cotler H., Bocco G. y Velázquez A. 2005. El análisis del paisaje como base para la restauración ecológica. p.135-145. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (eds.). Temas sobre restauración ecológica. INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 pp.
- CRIM (Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias). 2003. Proyecto de establecimiento: Estación de Restauración Ecológica “Barrancas del Río Tembembe” de la UNAM. CRIM. Documento no publicado. Pp. 1-15
- Curtis, J. T. 1950. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476-496
- Curtis, J. T. & McIntosh, R. P. 1951. The inter relation of certain analytic and synthetic phytosociological characters. Ecology 31: 434-455.
- Davis F. W., Stoms D., Estes J. E., Scepán J. and Scott J. M. 1990. An information systems approach to the preservation of biological diversity. Int. J. Geographical Information System. 4 (1): 55-78.
- Díaz C., Mamado K., Iturbe A., Esteller M. V., Reyna F. 1999. Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con a ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del Río Lerma, estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. Ciencia Ergo Sum 6 (2): 124-134.

- Dirzo, R. 1996. Diversidad de la flora mexicana. Agrupación Sierra Madre, S. C., CEMEX. Singapur.
- Echavarría Ch. F., Medina G. G., Gutiérrez L. R., Serna P. A. 2004. Identificación de áreas susceptibles de reconversión de suelos agrícolas hacia agostadero y su conservación en el ejido Pánuco, Zacatecas. *Téc. Pecu. Méx.* 42(1): 39-53.
- Escamilla S. G., Solleiro R. E., Sedov S., Gama C. J. 2002. Tepetates del glacis de Buenavista, Morelos: interacción de procesos geomorfológicos y pedogenéticos. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México.* 48: 76-89.
- Etter, A. 1990. Introducción a la Ecología del Paisaje: Un Marco de integración para los levantamientos rurales. IGAC. Bogotá, Colombia. 90 pp. (Inédito).
- Fassbender, W. H y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA. San José de Costa Rica. 420 p.
- Fernández- Sarría A., Recio R. J., Ruiz F. L.A. 2002. Análisis de imágenes mediante texturas: aplicación a la clasificación de unidades de vegetación. *Tecnología de información Geográfica. X Coloquio de Geografía Cuantitativa.* Valladolid.
- Fernández, B. M. 1999. Análisis de la dinámica de comunidades vegetales con relación a la evolución del paisaje en la zona semiárida de Coxcatlán, Puebla. Facultad de Ciencias. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Finol, H. 1971. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. *Revista Forestal Venezolana* 13(21):29-42
- Fries, C. Jr. 1960. Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México. Instituto de Geología. Boletín No. 60. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F.
- Fuentes J. y Bocco, G. (2006). El relieve como modelador y regulador de procesos en el paisaje, En: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/420/cuatro.html>. Consultado el 10-Nov-2006.
- Galicia L., López-Blanco J., Zarco-Arista A. E., Filips V. y García-Oliva F. 1999. The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico. *Catena* 36:153-164.
- Galindo, E.A. 2006. Problemática de seis especies nativas de selva baja caducifolia en la recuperación de un sitio perturbado en las barrancas del Tembembe, Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Instituto de Ecología. UNAM. México.
- García-Oliva, F. 2005. Algunas bases del enfoque ecosistémico para la restauración. Pp.101-111. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (editors.). *Temas sobre restauración ecológica.* INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 pp.
- Gillespie T., Grijalva, A y Farris C. 2000. Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central America. *Plant Ecology.* 147: 37-47.

- Gómez, A. 2003. Caracterización del medio Físico de la cuenca del Río Tembembe empleando sistemas de información geográfica (SIG cuencas). Publicado en <http://selper.uabc.mx/Publicacio/Cong11/extenso42.doc>.
- Gómez-Pompa, A. 1966. Estudios botánicos en la región de la Misantla, Veracruz. Instituto Mexicano de Recursos Naturales, A.C. México, D.F.
- González-Medrano, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. 2da. Ed. INE-SEMARNAT. México. 81 pp.
- Hair F. J., Anderson E. R., Tatham L.R. y Black C.W. 1999. Análisis Multivariante. 5ta. Ed. España. Prentice Hall. 767pp.
- Hernández y Herrerías G. G. 2001. Programa Agua para Siempre, obtención de agua y conservación de suelos a través de la Regeneración de Cuencas para el desarrollo regional sostenible. Alternativas y Procesos de participación social A.C.
- Higgs, E. S. 1997. What is good ecological restoration? *Conservation Biology*. 11:338-348.
- Hobbs, R. J. y Norton D. A.. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*. 4:93-110
- Holl, K y Cairns J. 2002. Monitoring and appraisal. *Handbook of Ecological Restoration*. Cambridge 411-432 pp.
- Holl, K., Loik M.E., Lin E.H.V., Samuels, I.A. 2000. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restorat. Ecol.* 8:339-349.
- Huante, P. Rincón E. y M. Gavito. 1992. Root system analysis of seedlings of seven tree species from a tropical dry forest in Mexico. *Trees* 6:77-82.
- IMTA. 1999. Uso del suelo del Apatlaco, obtenido de imágenes de satélite LandSat TM 1999. Coordinación de Tratamiento y Calidad de Agua. Subcoordinación de Hidrología y Evaluación Ambiental.
- INEGI. 1998. Carta Topográfica 1.50,000, E14A58. Tenancingo, Estado de México, Morelos y Guerrero. 2da. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- Izquierdo, I., Caravaca, F., Alguacil, M., Hernández, G., Roldán A. 2005. Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions. *Applied Soil Ecology*. 30 : 3-10
- Johnson, D. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thompson Editores, México.
- Kauffman, J. B., R. L. Sanford, D.L. Cummings, I. H. Salcedo y E.V.S.B. Sampaio. 1993. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forest. *Ecology* 74:140-151.

- Kennard, D. K., K. Gould, F. E. Putz, T. S. Fredericksen y F. Morales. 2002. Effect of disturbance intensity on regenerations mechanisms in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 162:197-208.
- Kent, M. & Coker, P. 1994. *Vegetation description and analysis*. John Wiley and Sons Inc., Chichester.
- Krebs, C. 1989. *Ecological Methodology*. Harper Collins Publishers, New York.
- Landazuri-Benítez G. 1997. Encuentros y desencuentros entre campesinos y asesores en el medio rural: el caso de Cuentepec, México. *Memorias del Congreso Internacional de la Asociación de Estudios Latinoamericanos*, Guadalajara, México.
- Laurence, W. F. P. Delamónica, S. G. Laurence, H. L. Vasconcelos y T.E. Lovejoy. 2000. Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature* 404:836.
- López-Blanco, J. 1994. Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS), tesis doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. 200 pp.
- López-Blanco, J. and Villers, R. L. 1995. Delineating boundaries of enviromental units for land management using a geomorphological approach and GIS: Astudy in Baja California, México. *Remote Sensing of Environment*. 53 (2): 109-117.
- López- Blanco, J. y Villers, R. L. 1998. Delimitación de unidades ambientales biofísicas aplicando un enfoque geomorfológico y SIG, para el ordenamiento territorial de Los Cabos, Baja California Sur. *Geografía y Desarrollo* 16:85-99.
- López-Blanco, J. 2005a. *Sistemas de Información Geográfica en estudios de Geomorfología Ambiental y Recursos Naturales*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Filosofía y Letras. Colección Seminarios. 186 pp.
- López-Blanco, J. 2005b. Programa CORUMDIS en TurboBasic para calcular las coordenadas métricas de un punto a partir de rumbo y distancia, México.
- López-Galindo F. 1997. Curso-Taller “Regeneración de la cubierta vegetal de suelos degradados”. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Educación y Medio Ambiente A.C. Dexthí, San Juanico, Mpio. Ixmiquilpan, Hidalgo. 66 p.
- López-Galindo F. Muñoz, I. D., Hernández M. M., Soler A. A., Castillo L. M. C y Hernández A. I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuencia de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. LVI, (1): 19-41
- Lugo-Hubp, J. L. 1989. *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía. UNAM. México. 337 pp.
- Márquez-Huitzil, R. 2005. Planificación para la restauración asociada con el aprovechamiento de los recursos naturales. Pp.169-179. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (eds.). *Temas sobre restauración ecológica*. INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 pp.

- Martínez G. F. y López -Blanco. J. 2005. Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacis de Buenavista, Morelos, mediante la aplicación del enfoque geomorfológico morfogenético. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM.* 58:34-53
- Matteuci, S. D. y Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Serie de Biología 22, Washington, D.C.
- McCoy, E. D. and H. R. Mushinsky. 2002. Measuring the success of wildlife community restoration. *Ecological Applications* 12:1861-1871.
- Meijerink, A.M.J., 1988, Data acquisition and data capture through terrain mapping units: *ITC Journal*, 1, 23-44. Modeling. En: Goodchild M. F., Parks B. O. y L. T. Steyaert (eds.), *Environmental Modeling with GIS.* Oxford University Press Inc. New York, pp. 196-230.
- Meli, P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia* Vol.28 No.10.
- Mendoza Cantú, M. E. 1997. Regionalización geomorfológica y de paisaje de la zona costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ciencias (Conservación, Ecología y Manejo de Recursos Naturales), CECARENA, ITESM- Campus Guaymas, 147 p.
- Mendoza, E. M. y Bocco G. 1998. La regionalización geomorfológica como base geográfica para el ordenamiento del territorio: una Revisión Bibliográfica. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Serie Varia. No. 17.
- Miranda, F. y E. Hernández-Xolocotzi. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179.
- Moore I. D., Gessler. P. E., Nielsen G. A. and G. A. Peterson. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America* 57: 443-452.
- Mueller-Dombois, D. y Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons Ltd., New York.
- Muñoz, D., A. Mendoza., F. López., A. Soler y M. Hernández. 2000. *Manual de Métodos de Análisis de Suelos.* UNAM. FES-I. México. 82 p.
- Oliver M.A. y Webster R. 1990. Kriging: un método de interpolación para el sistema de información geográfico, *INTERNA. J. Sistemas de información geográficos*, 4(3): 313-332
- Ortiz Pérez, M. A. 1978. Estudio geomorfológico del glacis de Buenavista, Estado de Morelos. Instituto de Geografía, UNAM, México. 8: 25-40.
- Palacio-Prieto J.L., Sánchez-Salazar M.T., Casado Izquierdo J.M., Propin Frejomil E., Delgado Campos J., Velázquez Montes A., Chías Becerril L., Ortiz Álvarez M.I., González Sánchez J., Negrete Fernández G., Gabriel Morales J., Márquez Huitzil R. 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. UNAM-SEDESOL-SEMARNAT. 361 pp.
- Pardo, P. J. E. y Palomar V. J. 2002. Metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de Menorca mediante perfiles transversales. *Tecnología de información Geográfica. X Coloquio de Geografía Cuantitativa.* Valladolid.

- Pennington T. D. y Sarukhán J. 1998. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Pimentel, B. L. 1970. Preparación del terreno en plantaciones forestales. Memoria de la Primera Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. SARHDGICF: Publicación especial No 13. México.
- Pimentel, D. y Kounang, N. 1998. Ecology of Soil Erosion in Ecosystems. Ecosystems. 1: 416-426.
- Piña Covarrubias, E. 2005. Análisis de la estructura y la composición de la Selva Baja Caducifolia con diferentes grados de conservación en la zona de Xochicalco, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 67 p.
- Power, B. S. 2000. Alternative models of ecosystem restoration. En: Environmental Restoration: ethics, theory and practice. Humanity Books. USA. Part. I. Pp. 53-67.
- Prach, K., S. Bartha, C.B. Joyce, P. Pysek, R. Van Diggelen y G. Wiegleb. 2001. The role of spontaneous vegetation in ecosystem restoration: a perspective. Applied Vegetation Science 4: 111-114.
- Rincón, E., Álvarez, A. M., González, D. G., Huante, P. y Hernández, R.A. 2000. Restauración en Selvas Bajas Caducifolias. Gaceta del Instituto de Ecología. UNAM. México.
- Rodríguez, P. J.R., Blanco M. J. y Fernández M. A. 2002. La teledetección como herramienta para ordenación rural sostenible en entidades locales menores. Tecnología de información Geográfica. X Coloquio de Geografía Cuantitativa. Valladolid.
- Rosete F. y Bocco G. 2003. Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica 68: 43-54.
- Ruhe R. V. 1960. Elements of the soil landscape. Transaction 7<sup>th</sup> International Congress of Soil Science, Vol. 4, pp. 165-170. Madison, Wis.
- Ruhe R. V. 1975. Geomorphology: geomorphic processes and surficial geology, Houghton, Mifflin, Company, Boston. Indiana University. 246 p.
- Ruiz-Jean M.C. and Mitchell A. T. 2005. Restoration Success: How is it Being Measured?. Restoration Ecology. 13 (3): 569-577.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed Limusa. México.
- Rzedowski J. y Rzedowski G. 1985. Flora fanerogámica del valle de México. Ed. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional-Instituto de Ecología. México. Vol. II. 674 pp.
- Rzedowski, J y Calderón G. 1985. Flora fanerogámica del Valle de México. Ed. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional-Instituto de Ecología. México. Vol III.

- Salgado M. 1989. Diagnóstico de la problemática de la contaminación del agua en el estado de Morelos. Manuscrito. México, SEDUE, 1989.
- Sánchez, O. 2005. Restauración ecológica: algunos conceptos, postulados y debates al inicio del siglo XXI. Pp. 15-29. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (eds.). Temas sobre restauración ecológica. INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 pp.
- Sánchez, S. O. 1980. La flora del valle de México. Ed. Herrero. 6ta. Ed. México. 519 pp.
- Sánchez R. R. 2007. “Propuesta para la restauración del ecosistema de un río de montaña (Tembembe, Morelos)”. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UNAM. México.
- Saunders, D.A., Hobbs, R.J., Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystems fragmentation: a review. *Conservation Biological*. 5:18-32
- SEDUE. 1986. Manual de regionalización ecológica. Serie: Ordenamiento Ambiental no. 1, Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica, México. 13 pp.
- SEDUE. 1988. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica, México. 356 pp.
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Comisión Nacional del Agua (CNA), Subdirección General de Infraestructura Hidroagícola, Jefatura de Proyecto de Agrología. 1990. Interpretaciones agronómicas que se deberán realizar a partir de los resultados de laboratorio. México. 64 pp.
- Segura B.S.G. 2005. Las especies introducidas ¿beneficas o dañinas?. Pp. 117-133. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (editores.). Temas sobre restauración ecológica. INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 pp.
- Siebe C., Jahn R. y Stahr K. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación especial No.4. México. 57 p.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Solleiro-Rebolledo E. Flores-Román D. Gama-Castro J. and Sedov-Sergey. 2002. Tepetates of Central México: paleogeographical background and functioning in moder agroecosystems. 17<sup>th</sup> WCSS. Symposium No. 15. Paper No. 1914.
- Sotelo, Cano O. 2006. Flora arbórea del municipio de Temixco, Morelos. Tesis professional. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 133 p.
- Standley, P. C. 1924. Trees and Shurbs of Mexico. (Passifloraceae-Scrophulariaceae). United States Nacional Herbarium. Vol. 23 part.4.

- Stern, M., M. Quesada y K. E. Stoner. 2002. Changes in compositions and structure of a tropical dry forest following intermitent cattle grazing. *Revista de Biología Tropical* 50:1021-1034.
- Suding, K. N., K. L. Gross y G. R. Houseman. 2004. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 19 (1):46-53
- Tapia-Varela, G., y López-Blanco, J., 2002. Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 19, núm.1. Sociedad Geológica Mexicana e Instituto de Geología-UNAM, México. pp. 50-65.
- Tobón Niefeldt W. 2005. “Evaluación del crecimiento y establecimiento de plántulas de *Conzattia multiflora* para la restauración de las Selvas Bajas de Morelos”. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Trejo, I. 1998. Distribución y diversidad de selvas bajas de México: Relaciones con el clima y el suelo. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Trejo I. y R. Dirzo 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.
- Tricart J. y Killian, J. 1982. La eco-geografía y la ordenación del medio natural. Editorial Anagrama, Barcelona.
- Tricart J. y C. Kiwietdejonge. 1992. Ecogeography and rural management Geosphere-Biosphere Programme. Longman Scientific & Technical. England. 267 p.
- Trimble, S. W. y Mendel A. C. 1995. The cow as a geomorphic agent- A critical review. *Geomorphology* 13: 233-253.
- Trudgill, S. 1979. Soil and vegetation systems. Ed. Claredon Press. Gran Bretaña.
- Uhl C. Buschbacher R. Serrao E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal Ecology* 76:663-681.
- Ulloa-Nieto, J. A. 2006. Establecimiento y crecimiento inicial de cuatro especies arbóreas potencialmente útiles para la restauración de pastizales degradados del NO de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 85 p.
- UNICEDES. 1999. Perspectivas para el Desarrollo Social de la Microcuenca del Río Apatlaco. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Colección de Desarrollo Regional en Microcuencas y Conurbaciones.
- Van Zuidam, R. A., 1985/1986, Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping: The Hague, The Netherlands, Smits Publishers, 442 p.
- Vázquez-Yanes, C. y Batis, A. 1996. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 58:75-84.
- Vázquez-Yanes, C., Orozco, S.A., Rojas, M., Sánchez, M. A. y Cervantes, V. 1997. La reproducción de las plantas, semillas y meristemas. Fondo de Cultura Económica. México.

- Vázquez-Yanez, C., Batis, A., Alcocer, M.I. Gual M. y Sánchez C.. 1999. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Proyecto J-084-CONABIO. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/introd-J084.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/introd-J084.html)
- Vega, P. E. V. 2005. Algunos conceptos de ecología y sus vínculos con la restauración. Pp.147-155. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (eds.). Temas sobre restauración ecológica. INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 p.
- Vela-Correa. 2007. Comunicación personal durante la visita a campo realizada en el mes de julio de 2007.
- Verstappen, H. Th. 1977. The use of aerial photographs in geomorphological mapping. Enschede. Países Bajos. ITC Text Book VII-5. 178 p.
- Verstappen, H. Th. 1983. Applied geomorphology (Geomorphological surveys for environmental development), Amsterdam, Elsevier 437 p.
- Verstappen, H. Th. y Van Zuidam. 1991. The ITC system of geomorphologic survey: A basis for the evaluation of natural resources and hazards, Enschede, Países Bajos, ITC Publication. 10: 89
- Villers-Ruiz, L. Trejo-Vazquez, I y López-Blanco, J. 2003. Dry vegetation in relation to the physical environment in the Baja California Peninsula, México. *Journal of Vegetation Science* 14:517-524.
- Warren, S.D., Blackburn, W.H. y Taylor, C.A. 1986. Soil hydrologic response to number of pastures and stocking density under intensive rotation grazing. *J. Range Manage* 39:500-504.
- Wilkins, S., D. A. Keith and P. Adam. 2003. Measuring success: evaluating the restoration of a grassy eucalypt woodland on the Cumberland Plain, Sydney, Australia. *Restoration Ecology* 11: 489-503.
- Willems P, y Díaz N. G. 2006. Herramientas de SIG como soporte a la planificación territorial dentro del estudio de ordenamiento territorial de las laderas Sur-Orientales del volcán Pichincha en Quito, Ecuador. Unidad de Inteligencia Artificial y Sistemas de Información Geográfica (UNISIG). Escuela Politécnica Nacional Quito, Ecuador. [http://www.ieg.csic.es/age/metodos/docs/doc2\\_29.pdf](http://www.ieg.csic.es/age/metodos/docs/doc2_29.pdf). Consultado el 11-nov-2006.
- WRB Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 1999. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). ISRIC(Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos). SICS (Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo).
- Zhou Lin and Takashi Oguchi. 2006. DEM analysis on longitudinal and transverse profiles of steep mountainous watersheds. *ELSEVIER. Geomorphology*. 78: 77-89.
- Zorrilla R. M. 2005. La influencia de los aspectos sociales sobre la alteración ambiental y la restauración ecológica. Pp. 31-43. En: Sánchez O., E. Peters., R Márquez-Huitzil., E Vega., G Portales., M Valdés y D. Azuara (eds.). Temas sobre restauración ecológica. INE-SEMARNAT, U.S. Fish & Wildlife Service, UPC, A.C. México. 255 p.

## Anexo A.

Datos de las características de los tres factores ambientales: relieve, suelo y vegetación tomados en cuenta para el diagnóstico ambiental de cada una de las unidades naturales de la EREBRT. Se muestra por cada factor ambiental, la propiedad dominante, secundaria o en algunos casos hasta el tercer nivel de importancia, ya que se tomo en cuenta el área total de cada unidad natural.

Cuadro A.1. Primer Grupo de catorce Unidades Naturales, se muestra para cada una de las UN su variable geomorfológica, edáfica y de vegetación. Clave relieve: UG=unidad geomorfológica, p= plana, cc= cóncava, cx= convexa, Cos= Coseno, Orientación: S= sur SO= sin orientación, SW= suroeste, SE=sureste. Clave suelo: Dr= Densidad real, Da= Densidad aparente MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. Clave vegetación: Pi= pastizal inducido, h= huizaches, Sbc= selva baja caducifolia, J= Juniperus, pd=poco denso, md: medianamente denso; d=denso.

Cls. Unidades Geomorfológicas	Geometría UG	% Geometría Área total	Altitud (msnm) Predomit	% Altitud área total	Altitud secundaria (msnm)	% Altitud área total	Pendiente (°) predomt.	% Pendiente área total	Pendiente (°) Secundaria	% Pendiente área total	Orientación	% Area Total	Ug- Orientación	Cos (ángulo °)
Scav02	P	100	1720-1740	100.00			4-8	73.60	0	15.61	S	45.08	180.00	-1.00
Scav03	P	100	1680-1700	31.76	1700-1720	29.42	4-8	51.24	0	41.10	SO	41.11	180.00	-1.00
Scav04	P	100	1660-1680	32.56	1700-1720	25.91	4-8	52.18	0	45.10	SO	45.10	180.00	-1.00
Hlb07	Cx	100	1720-1740	100.00			4-8	66.84	8-16	21.55	SW	35.66	180.00	-1.00
Dlbs12	Cx	100	1720-1740	78.09	1700-1720	21.91	16-32	58.66	8-16	33.06	SW	52.28	225.00	-0.70
Dlbs14	Cx	100	1640-1660	45.16	1620-1640	42.88	16-32	80.93			S	42.03	180.00	-1.00
Dlbm25	Cx	100	1700-1720	55.64	1680-1700	40.25	16-32	56.74	32-64	41.39	SW	59.05	225.00	-0.70
Dlbm29	Cc	100	1620-1640	69.31	1600-1620	30.69	16-32	79.58			SE	43.07	135.00	-0.70
Dlbmi36	Cc	100	1600-1620	94.44			8-16	38.92	16-32	34.61	SE	41.84	180.00	-1.00
Dlbi55	Cc	100	1600-1620	53.26	1620-1640	43.23	16-32	40.74	8-16	34.90	SE	65.42	135.00	-0.70
Dlbi44	Cx	100	1640-1660	56.39	1660-1680	41.03	16-32	64.68	8-16	24.07	SW	43.96	180.00	-1.00
Dlbi59	Cx	100	1600-1620	81.92			16-32	53.51	32-64	46.01	SW	47.81	225.00	-0.70
Dlbi65	P	100	1640-1660	30.56	1620-1640	28.33	16.32	48.11	32-64	42.20	S	62.36	180.00	-1.00
Dlb84	Cc	100	1720-1740	75.19	1700-1720	24.81	16-32	43.17	32-64	22.89	SW	67.22	225.00	-0.70

UG- Compactación predominante	UG- Profundidad predominante	UG- Arenas (%) Predomt.	UGLimos (%) Predomt.	UG-Arcillas (%) predominant	UG-Dr (g/cm3) predominant	UG-Da (g/cm3) predominant	UG- Porosidad (%) predominante	UG-pH predomt.	UGMO (%) Predomit.	UG-CIC (cmol(+)Kg <sup>-1</sup> ) predomt.	vegetación Dominante	% Area total	Vegetación secundaria	% área Total
413.00	32.00	61.60	24.60	19.6	2.31	0.86	59.4	5.4	5.6	18.9	Pi(h)pd	100.00		
434.00	28.00	64.50	23.10	19.2	2.34	0.95	57.2	5.4	5.1	17.6	Pi(h)pd	57.21	Pi(h)d	26.12
427.00	24.00	58.10	22.80	21.5	2.35	1	55.2	5.1	4.7	17	Pi	96.56		
413.00	32.00	61.50	24.70	19.4	2.31	0.86	59.4	5.4	5.6	18.9	Pi(h)pd	100.00		
414.00	32.00	61.30	24.70	18.8	2.31	0.85	59.5	5.4	5.6	18.9	Pi(h)pd	99.59		
414.00	26.00	55.60	24.60	17.9	2.29	0.95	58.7	5.3	6.6	19.3	Pi(h)d	88.24		
414.00	32.00	60.40	24.90	18.5	2.30	0.84	59.8	5.4	5.7	18.9	Pi(h)pd	64.70	Sbc(pd)	23.85
431.00	27.00	54.00	23.90	20.6	2.22	0.96	56.6	5.2	6.1	19.3	Pi(Sbc)md	91.12		
422.00	27.00	53.40	24.30	18.7	2.18	0.95	56.4	5.3	7	20.7	Pi(Sbc)md	88.88		
413.00	34.00	57.80	25.90	17.6	2.29	0.82	61.1	5.5	6.1	19.8	Pi(J)pd	82.89		
362.00	44.00	52.80	24.20	23.00	2.33	1	57.2	5.3	5.3	19.5	Sbc(d)	88.47		
423.00	34.00	59.90	25.50	16.9	2.31	0.82	60.9	5.5	5.8	18.9	Sbc(d)	46.20	Q	42.94
404.00	26.00	53.50	25.00	18	2.24	0.94	57.8	5.4	7.4	20.8	Sbc(pd)	50.63	Pi(h)d	23.19
418.00	31.00	63.40	24.40	18.5	2.32	0.86	59.4	5.4	5.5	18.5	Pi(h)pd	87.46		

Cuadro A.2. Segundo Grupo de siete unidades naturales de la EREBRT, con sus respectivas variables geomorfológica, edáficas y de vegetación. Clave relieve: UG=unidad geomorfológica, Gp= geometría plana, Gcx= geometría convexa, Gm= geometría mixta Cos= Coseno, Orientación: NW= noroeste, W=oeste. Clave suelo: Dr= Densidad real, Da= Densidad aparente MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. Clave vegetación: Pi= pastizal inducido, h= huizaches, Sbc= selva baja caducifolia, Q= encinar ó *Quercus*, pd=poco denso, d=denso.

Cls. Unidades Geomorfológicas	Geometría UG	Gp %Area total	Gcc %Area total	Gcx %Area total	Altitud Principal (msnm)	% Altitud área total	Altitud secundaria (msnm)	% Altitud área total	Pendiente (°)	% Pendiente área total	Pendiente (°) secundaria	% Pendiente área total	Orientación	% Area Total	UG-orientación predominante	Cos (ángulo °)
Hlb06	m	65	10	25	1660-1680	34.61	1700-1720	25.02	4-8	51.28	0	21.39	W	32.17	270.00	0.00
Dlbs09	m	20	20	60	1660-1680	38.20	1680-1700	30.83	16-32	72.02	8-16	14.90	W	76.76	270.00	0.00
Dlbs10	m	10	70	20	1700-1720	62.44	1680-1700	23.17	16-32	67.84	32-64	28.91	W	52.79	270.00	0.00
Dlbs13	cx	100	0	0	1700-1720	68.59	1680-1700	29.98	16-32	85.12			W	61.27	270.00	0.00
Dlbs17	p	100	0	0	1640-1660	45.39	1620-1640	44.05	16-32	66.56	8-16	23.90	W	58.99	270.00	0.00
Dlbm20	m	50	25	25	1660-1680	57.41	1680-1700	25.73	32-64	63.13	16-32	31.06	NW	70.19	315.00	0.70
Dlb83	p	100	0	0	1640-1660	93.34			16-32	78.06	32-64	14.33	NW	54.19	315.00	0.70

UG Compactación predominante	UG Profundidad Predominante cm	UG arenas (%) predominante	UG limos (%) predominante	UG Arcillas (%) predominante	UG Dr (g/cm3) predominante	UG Da (g/cm3) predominante	UG Porosidad (%) predominante	UG - pH predominante	UG MO (%) predominante	UG-CIC (cmol(+))Kg -1) predominante	Vegetación Dominante	% Area total	Vegetación Secundaria	% área Total
434.00	27.00	61.20	23.50	18.6	2.34	0.94	58.4	5.4	5.2	17.6	Pi(h)pd	81.56		
433.00	31.00	57.10	23.50	21.4	2.33	0.98	58.4	5.4	5.2	18.7	Pi	71.42	Pi(h)pd	22.24
436.00	28.00	65.50	22.70	14.3	2.36	0.83	59	5.4	5.1	15.8	Pi	92.25		
433.00	31.00	60.50	23.90	17.1	2.34	0.83	60	5.4	5.4	17.4	Pi	100.00		
428.00	21.00	62.70	24.60	16.1	2.34	0.93	59.4	5.3	6	17.5	Pi(h)d	97.50		
433.00	34.00	60.20	25.20	16.4	2.32	0.81	61.8	5.5	5.7	17.7	Q	64.62	Sbc(d)	28.52
432.00	39.00	55.40	27.40	17.8	2.30	0.78	64	5.5	6.2	19.3	Pi(Sbc)pd	53.84	Q	45.41

Cuadro A.3. Tercer Grupo de veintisiete UN de la EREBRT, con cada una de las variables analizadas para el factor geomorfológico, edáfico y de vegetación, se localizan en el Dorso de ladera de barranco medio y Dorso de ladera de barranco inferior. Clave relieve: UG=unidad geomorfológica, Gp= geometría plana, Gcc= geometría concáva, Gcx= geometría convexa, Gm= geometría mixta Cos= Coseno, Orientación: E= este, NE= noreste, SW= sureste, W=oeste. Clave suelo: Dr= Densidad real, Da= Densidad aparente MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. Clave vegetación: Pi= pastizal inducido, Sbc= selva baja caducifolia, pd=poco denso, d=denso.

Cls. Unidades Geomorfológicas	Geometría UG	Gp %Area total	Gcc %Area total	Gcx %Area total	Altitud (msnm) predominante	% Altitud área total	Altitud secundaria (msnm)	% Altitud área total	Altitud terciaria (msnm)	% Altitud área total	Pendiente (°) predominante	% Pendiente área total	Pendiente (°) secundaria	% Pendiente área total	Pendiente (°) terciaria	% Pendiente área total
Hlb05	m	65	25	10	1720-1740	28.68	1680-1700	21.03	1660-1680	20.30	4-8	41.31	8-16	22.39	16-32	21.01
Dlbs08	m	15	60	25	1700-1720	32.84	1680-1700	31.80			16-32	80.17				
Dlbs15	cc	100	0	0	1660-1680	59.73	1680-1700	40.27			16-32	84.34				
Dlbs16	p	100	0	0	1640-1660	57.43	1660-1680	30.33			16-32	83.76				
Dlbn18	m	40	30	30	1660-1680	35.71	1640-1660	30.92			32-64	59.65	16-32	38.73		
Dlbn19	m	50	15	35	1620-1640	80.04					16-32	66.13	8-16	27.37		
Dlbn21	m	60	20	20	1620-1640	64.20	1600-1620	35.80			16-32	75.97	32-64	21.39		
Dlbn22	cx	100	0	0	1640-1660	90.31					16-32	87.56				
Dlbn23	cx	100	0	0	1620-1640	64.31	1600-1620	35.69			16-32	48.17	8-16	39.92		
Dlbn24	cx	100	0	0	1600-1620	58.13	1620-1640	41.87			16-32	70.68	32-64	28.92		
Dlbn26	cx	100	0	0	1660-1680	64.64	1680-1700	35.27			16-32	58.72	8-16	35.16		
Dlbn28	cc	100	0	0	1660-1680	51.23	1640-1660	47.90			16-32	55.30	32-64	44.50		
Dlbn30	p	100	0	0	1620-1640	83.11					16-32	75.06	8-16	20.97		
Dlbn32	m	25	15	60	1640-1660	85.69					16-32	67.25	32-64	26.56		
Dlbmi35	cc	100	0	0	1620-1640	55.26	1640-1660	44.74			32-64	68.77	16-32	26.84		
Dlbmi37	cx	100	0	0	1600-1620	80.47					16-32	45.18	8-16	31.10		
Dlbmi38	cx	100	0	0	1600-1620	83.09					16-32	41.09	8-16	36.30		
Dlbmi40	m	20	40	40	1600-1620	63.47	1580-1600	36.53			16-32	89.78				
Dlbi50	cx	100	0	0	1620-1640	72.29	1640-1660	26.40			16-32	71.25	32-64	19.98		
Dlbi51	cx	100	0	0	1580-1600	59.32	1600-1620	40.68			16-32	72.51	8-16	13.50		
Dlbi58	cx	100	0	0	1620-1640	54.22	1600-1620	39.65			16-32	52.15	32-64	25.73		
Dlbi64	p	100	0	0	1600-1620	74.30	1580-1600	16.05			16-32	69.02	32-64	29.90		
Dlbi67	m	25	30	45	1620-1640	59.36	1640-1660	37.72			16-32	54.41	32-64	45.22		
Dlbi68	m	0	20	80	1600-1620	98.50					16-32	79.25	32-64	19.96		
Dlbi69	m	0	50	50	1580-1600	81.65					16-32	62.41	32-64	31.64		
Dlbi72	m	15	35	50	1600-1620	68.12	1580-1600	30.05			16-32	73.31	32-64	17.97		
Plb74	cx	100	0	0	1580-1600	99.37					16-32	53.20	8-16	36.96		

Continuación del Cuadro A.3.

Ori	% Área Total	UG-Orient. predom	Cos (ángulo °)	UG-Compact. predomt.	UG-profund. predomt.	UG-Arenas (%) predomt.	UG-Limos (%) predomt.	UG-Arcillas (%) predomt.	UG-Dr (g/cm3) predomt.	UG-Da (g/cm3) predomt.	UG Porosidad (%) Predomt	UG-pH Predom	UG-MO (%) Predom	UG-CIC (cmol(+)K g -1) Predomt	Vegetación Dominante	% área total	Vegetación Secundaria	% área Total
E	52.1	90.00	0.00	398.00	28.00	53.30	23.30	23.9	2.32	0.98	55.8	5.2	4.9	16.8	Pi	61.15	Pi(Sbc)md	29.9
E	78.5	90.00	0.00	393.00	25.00	51.40	23.80	24.4	2.30	0.93	57	5.2	5.3	17.7	Pi(Sbc)md	80.96		
E	77.2	90.00	0.00	401.00	25.00	60.90	22.10	19.4	2.39	1.04	56.6	5.1	5	16.7	Pi(Sbc)md	91.50		
E	84.8	90.00	0.00	431.00	30.00	54.50	24.10	22.1	2.28	1.01	55.4	5.1	5.3	17.9	Pi	56.65	Pi(Sbc)md	36.5
E	73.0	90.00	0.00	400.00	26.00	52.10	24.90	23	2.27	0.88	57.3	5.3	5.9	19.8	Sbc(md)	54.75	Pi(Sbc)md	27.4
E	68.9	90.00	0.00	416.00	34.00	50.70	24.50	22.9	2.30	1.02	55.7	5.1	5.6	17.9	Pi	98.88		
E	86.4	90.00	0.00	434.00	25.00	58.80	23.80	19.2	2.19	0.94	56.8	5.2	6.2	19.4	Pi	52.11	Pi(Sbc)pd	46.8
E	71.4	90.00	0.00	352.00	40.00	54.80	23.10	21.8	2.36	1.03	56	5.3	5	18.9	Pi(Sbc)md	74.01	Sbc(d)	25.9
E	53.6	90.00	0.00	439.00	25.00	57.30	22.80	19.6	2.19	0.92	57.5	5.2	5.7	18.7	Pi	94.79		
NE	50.1	53.00	0.60	425.00	27.00	60.70	24.40	18.4	2.22	0.94	56.7	5.2	6.6	20	Pi(Sbc)pd	99.10		
SW	39.7	270.00	0.00	419.00	32.00	52.50	25.10	21.8	2.30	0.85	60.4	5.4	5.7	19.9	Pi	94.48		
E	71.6	90.00	0.00	401.00	29.00	58.90	22.30	20.7	2.38	1.03	56.7	5.1	5	17.3	Pi(Sbc)md	91.73		
E	84.3	90.00	0.00	411.00	40.00	48.80	24.50	26.1	2.34	1.05	55	5.1	5.1	16.7	Pi	79.77		
W	69.8	270.00	0.00	426.00	38.00	55.40	24.50	20.5	2.32	1	58.1	5.4	5.6	19.7	Pi	50.02	Pi(Sbc)md	43.9
E	54.1	90.00	0.00	386.00	33.00	56.80	23.10	21.3	2.36	1.03	56.4	5.2	5.1	18.2	Sbc(d)	79.62		
E	38.5	90.00	0.00	419.00	29.00	52.40	24.40	19.7	2.21	0.96	56.6	5.2	6.7	20.2	Pi	97.55		
NE	43.0	90.00	0.00	431.00	26.00	55.30	23.80	20.1	2.15	0.97	54.6	5.2	6.7	20	Pi	86.03		
E	76.3	90.00	0.00	428.00	26.00	59.50	24.00	18.4	2.18	0.93	56.7	5.2	6.7	20.3	Pi(Sbc)pd	51.97	Sbc(d)	25.4
E	42.4	90.00	0.00	357.00	48.00	49.80	24.80	23.6	2.32	0.97	57.9	5.4	5.6	20.5	Pi(Sbc)md	78.32	Sbc(d)	21.6
E	50.3	90.00	0.00	377.00	41.00	47.80	24.40	24.4	2.31	1.03	56	5.2	5.4	18	Sbc(d)	85.77		
W	60.3	270.00	0.00	419.00	39.00	51.10	25.30	22.4	2.27	0.99	56.1	5.6	5.7	21.6	Pi(Sbc)pd	74.95	Pi(Sbc)md	18.2
E	66.9	90.00	0.00	331.00	49.00	47.90	24.20	26.7	2.34	1.06	55.2	5.1	4.9	17.5	Sbc(d)	88.56		
W	80.6	270.00	0.00	426.00	36.00	51.70	25.10	21.7	2.33	0.99	61	5.4	5.5	18.3	Pi(Sbc)pd	80.25		
E	65.1	90.00	0.00	407.00	34.00	50.10	24.50	22.2	2.28	1	56.4	5.2	6	18.8	Pi	59.01	Sbc(d)	40.9
E	48.1	90.00	0.00	403.00	30.00	52.80	25.40	18.5	2.19	0.94	56.4	5.4	8.3	22.9	Sbc(d)	63.49	Pi	32.4
W	51.9	270.00	0.00	400.00	18.00	58.50	23.70	18.6	2.31	0.95	58	5.4	6.5	18.3	Sbc(pd)	98.50		
E	45.0	90.00	0.00	407.00	33.00	50.10	24.60	21.1	2.26	0.98	56.8	5.2	6.3	19.5	Sbc(d)	51.08	Pi	48.9

Cuadro A.4. Cuarto Grupo de ocho UN de la EREBRT ubicadas en el Superficie de abanico volcánico y el Pie de ladera de barranco, se muestra cada variable manejada para los tres factores ambientales. Clave relieve: UG=unidad geomorfológica, Gp= geometría plana, Gcc= geometría concáva, Gcx= geometría convexa, Gm= geometría mixta Cos= Coseno, Orientación: E= este, SO: suroeste, W=oeste. Clave suelo: Dr= Densidad real, Da= Densidad aparente MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. Clave vegetación: Pi= pastizal inducido, Sbc= selva baja caducifolia, J= *Juniperus*, md= medianamente denso, d=denso.

Cls. Unidades Geomorfológicas	Geometría UG	Gp %Area total	Gcc %Area total	Gcx %Area total	Altitud (msnm) predominant.	% Altitud área total	Altitud secundaria (msnm)	% Altitud área total	Pendiente (°) predominante	% Pendiente área total	Pendiente (°) secundaria	% Pendiente área total	Orientación	% Area Total	UG-orientación predominante	Cos (ángulo °)
Scav01	p	100	0	0	1720-1740	86.99			4-8	54.85	0	44.38	SO	44.39	90.00	0.00
Dlbm33	p	100	0	0	1680-1700	75.75	1660-1680	24.24	16-32	90.70			W	70.71	270.00	0.00
Dlbm34	p	100	0	0	1680-1700	99.51			16-32	94.13			W	88.34	270.00	0.00
Dlbmi39	cx	100	0	0	1660-1680	48.18	1640-1660	46.45	16-32	77.28	8-16	14.03	W	53.75	270.00	0.00
Dlbmi41	m	40	10	50	1660-1680	82.06			16-32	41.17	8-16	39.51	W	73.32	270.00	0.00
Dlbi42	cc	100	0	0	1640-1660	72.68	1660-1680	27.32	16-32	68.46	32-64	18.03	E	63.54	90.00	0.00
Dlbi70	m	15	20	65	1640-1660	65.55	1620-1640	27.08	16-32	73.42	32-64	18.97	W	66.36	270.00	0.00
Plb76	cx	100	0	0	1620-1640	99.24			16-32	56.88	8-16	29.68	W	50.67	270.00	0.00

UG-Compactación predominante	UG Profundidad predominante	UG-Arenas (%) predominante	UG-Limos (%) predominante	UG-Arcillas (%) predominante	UG-Dr (g/cm3) predominante	UG-Da (g/cm3) predominante	UG-Porosidad(%) predominante	UG- pH Predomt.	UGMO (%) Predomt.	UGCIC (cmol(+))Kg -1) predominante	vegetación Dominante	% Area total	Vegetación secundaria	% área Total
350.00	34.00	46.50	24.40	26	2.26	0.91	56.7	5.3	5.2	15.1	Pi	77.33	Sv	22.3
431.00	29.00	46.10	22.70	30	2.33	0.95	58.1	5.4	4.7	20.9	Pi	89.47		
436.00	25.00	46.10	22.20	32.4	2.33	0.94	58.2	5.3	4.5	20.8	Pi	100.00		
428.00	30.00	43.70	23.00	30.3	2.32	0.93	58.8	5.4	4.9	20.8	Pi	77.20	Pi(Sbc)md	12.50
436.00	28.00	39.80	21.70	36.8	2.33	0.88	61	5.4	4.3	21.2	Pi	96.29		
391.00	29.00	53.50	25.00	22.1	2.27	0.86	58.9	5.4	5.8	19.2	Sbc(J)	100.00		
433.00	28.00	43.40	23.50	31.5	2.30	0.9	59.3	5.3	5	20	Pi(Sbc)md	82.44		
440.00	32.00	43.90	23.80	31.6	2.26	0.9	59.3	5.1	6.2	21.2	Pi(Sbc)md	95.53		

Cuadro A.5. Quinto Grupo de veinticinco UN de la ERBRT ubicadas en el Dorso de ladera de barranco inferior y el Pie de ladera de barranco y sus características ambientales. Clave relieve: UG=unidad geomorfológica, Gp= geometría plana, Gcc= geometría cóncava, Gcx= geometría convexa, Gm= geometría mixta Cos= Coseno, Orientación: E= este, NE: noreste, SW: suroeste, SE= sureste, W=oeste. Clave suelo: Dr= Densidad real, Da= Densidad aparente MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. Clave vegetación: Pi= pastizal inducido, h= huizaches, Sbc= selva baja caducifolia, J=*Juniperus*, Q=*Quercus*, pd=poco denso, md=medianamente denso d=denso.

Cls. Unidades Geomorfológicas	Geometría UG	Altitud (msnm) Predomt.	% Altitud área total	Altitud secundaria (msnm)	% Altitud área total	Pendiente (°) Predomt.	% Pendiente área total	Pendiente (°) secundaria	% Pendiente área total	Pendiente (°) terciaria	% Pendiente área total	Orientación	% Area Total	UG-orientación predominante	Cos (ángulo °)
Dlbs11	cx	1620-1640	92.87			16-32	82.39					E	85.39	90.00	0.00
Dlbm27	cx	1600-1620	72.28	1580-1600	24.87	8-16	47.00	4-8	36.99			W	40.63	270.00	0.00
Dlbm31	p	1600-1620	93.32			8-16	50.99	16-32	25.25			SW	54.69	270.00	0.00
Dlbi43	cc	1640-1660	53.29	1620-1640	24.11	16-32	72.33	32-64	14.46			E	54.66	90.00	0.00
Dlbi45	cc	1580-1600	53.55	1560-1580	46.45	16-32	89.84					E	73.73	90.00	0.00
Dlbi46	cc	1640-1660	63.00	1660-1680	29.22	16-32	77.38	32-64	19.96			W	58.98	270.00	0.00
Dlbi47	cx	1640-1660	52.36	1660-1680	44.57	32-64	54.15	16-32	42.89			E	57.31	90.00	0.00
Dlbi48	cx	1660-1680	66.22	1640-1660	33.78	16-32	68.95	32-64	27.69			E	50.65	90.00	0.00
Dlbi49	cx	1620-1640	49.79	1600-1620	49.69	16-32	74.90	32-64	18.77			E	69.18	90.00	0.00
Dlbi52	cx	1580-1600	55.68	1560-1580	44.32	16-32	52.87	8-16	36.73			E	43.42	90.00	0.00
Dlbi53	cx	1640-1660	48.56	1660-1680	32.16	16-32	68.06	32-64	24.70			W	56.36	270.00	0.00
Dlbi54	cx	1640-1660	55.83	1660-1680	32.50	16-32	76.60	8-16	17.34			S	41.91	180.00	-1.00
Dlbi56	cx	1640-1660	49.37	1620-1640	36.88	16-32	59.84	32-64	39.13			W	60.94	270.00	0.00
Dlbi57	cx	1620-1640	86.50			16-32	76.66	32-64	15.99			W	48.52	270.00	0.00
Dlbi60	cx	1560-1580	69.59	1580-1600	30.41	16-32	81.71					W	66.04	270.00	0.00
Dlbi61	cx	1580-1600	97.43			4-8	50.16	8-16	37.53			SW	52.14	270.00	0.00
Dlbi62	p	1600-1620	53.37	1580-1600	46.63	32-64	55.26	16-32	44.73			NE	54.20	90.00	0.00
Dlbi63	p	1640-1660	49.91	1620-1640	47.90	16-32	69.65	8-16	23.73			E	56.11	90.00	0.00
Dlbi66	p	1620-1640	51.44	1640-1660	45.67	32-64	54.50	16-32	44.37			W	53.24	270.00	0.00
Plb73	p	1600-1620	99.96			4-8	43.18	8-16	33.74			SE	48.92	135.00	-0.70
Plb75	cx	1620-1640	70.75	1640-1660	29.25	8-16	42.81	16-32	34.14			SW	31.53	270.00	0.00
Plb77	cx	1600-1620	99.21			16-32	49.63	8-16	29.45	4-8	20.52	SW	41.42	270.00	0.00
Plb78	cx	1600-1620	95.59			16-32	40.64	8-16	39.22			SW	50.22	225.00	-0.70
Plb79	cx	1580-1600	70.14	1560-1580	26.03	16-32	46.32	32-64	24.61	8-16	23.48	SW	57.45	225.00	-0.70
Plb80	cx	1560-1580	56.43	1580-1600	43.57	8-16	52.87	16-32	39.31			W	73.15	270.00	0.00

Continuación Cuadro A.5.

UG-Compactación predominante	UG-Profundidad predominante	UG-Arenas (%) predom	UG-Limos (%) predom	UG-Arcillas (%) predom	UG-Dr (g/cm3) predom	UG-Da (g/cm3) predom	UG-Porosidad (%) predom	UG-pH predom	UG-MO (%) predom	UG-CIC (cmol(+)Kg -1) predominat	vegetación Dominante	% Area total	Vegetación secundaria	% área Total
427.00	27.00	60.50	24.30	18.6	2.22	0.95	56.6	5.2	6.4	19.7	Pi(Sbc)pd	75.98	Pi	24.01
409.00	24.00	61.40	24.90	17.3	2.24	0.93	58.2	5.4	6.7	20.8	Pi(h)d	94.54		
412.00	25.00	62.80	24.80	17.3	2.25	0.92	58.5	5.3	7.2	20.4	Pi(h)d	100.00		
377.00	29.00	53.90	25.80	20.9	2.24	0.82	59.5	5.4	6.6	21.4	Sbc(d)	98.97		
420.00	27.00	60.60	24.50	17.8	2.19	0.93	56.8	5.3	7.2	21	Sbc(d)	100.00		
399.00	32.00	56.50	25.60	20	2.27	0.83	59.8	5.4	6.1	20.3	Sbc(pd)	100.00		
386.00	29.00	53.20	25.40	22	2.26	0.85	59	5.4	6.2	20.3	Sbc(J)	98.13		
341.00	27.00	55.70	26.50	18.5	2.19	0.72	61.7	5.4	7.8	24.7	Sbc(d)	57.41	Pi(Sbc)md	42.27
416.00	29.00	50.70	24.00	25.4	2.32	0.94	57	5.3	5.5	19.4	Sbc(d)	99.92		
411.00	28.00	59.40	25.00	17.6	2.17	0.92	56.7	5.3	8.2	22.9	Sbc(md)	44.89	Pi(Sbc)pd	21.06
399.00	31.00	56.20	25.20	21	2.28	0.85	59.4	5.4	5.9	19.8	Sbc(pd)	100.00		
401.00	33.00	56.40	26.00	18.8	2.27	0.82	60.5	5.5	6.2	20.6	Pi(Sbc)pd	81.64		
409.00	31.00	49.90	25.10	23.5	2.28	0.85	59.5	5.4	5.8	21	Sbc(pd)	74.60	Sbc(d)	12.60
421.00	32.00	45.90	23.90	27.8	2.30	0.93	58.2	5.3	5.4	20.7	Pi(Sbc)md	63.96	Pi(Sbc)pd	27.68
412.00	27.00	61.90	24.70	17.3	2.21	0.92	57.4	5.3	5.4	21.4	Sbc(pd)	50.36	Sbc(d)	29.75
411.00	26.00	62.70	24.70	17.3	2.23	0.92	57.9	5.3	7	20.9	Pi(h)d	97.62		
423.00	27.00	60.90	24.50	18.2	2.21	0.94	56.9	5.3	6.8	20.4	Pi(Sbc)pd	70.68	Sbc(d)	29.31
368.00	28.00	53.00	25.80	20.9	2.23	0.79	60.2	5.4	6.9	22.8	Sbc(d)	97.40		
404.00	40.00	52.30	28.70	18.8	2.25	0.81	62.3	5.7	6.8	23.5	Q	83.12		
366.00	42.00	51.70	25.30	22.2	2.29	0.96	58	5.5	6.1	21.8	Sbc(d)	99.80		
395.00	35.00	53.80	27.40	18.2	2.26	0.81	61	5.6	6.6	22.1	Pi(Sbc)pd	67.62	Sbc(pd)	32.37
395.00	36.00	49.10	24.70	23.2	2.30	0.96	57.4	5.4	5.7	21.2	Sbc(md)	66.01	Pi(Sbc)pd	33.98
399.00	38.00	51.50	24.60	22.6	2.32	0.99	57.5	5.3	5.6	19.5	Pi	68.80	Sbc(pd)	19.06
395.00	27.00	53.10	27.00	16.7	2.19	0.91	57.3	5.4	9.2	24	Sbc(pd)	100.00		
413.00	27.00	62.30	24.70	17.3	2.22	0.92	57.4	5.3	6.8	21.1	Sbc(pd)	56.08	Pi(h)d	43.91

Cuadro A.6. Sexto Grupo, compuesto de tres UN ubicadas en el Dorso de ladera inferior y la Pared de *talweg*, se muestran las variables de los tres factores ambientales. Clave relieve: UG=unidad geomorfológica, Gp= geometría plana, Gcc= geometría concáva, Gcx= geometría convexa, Gm= geometría mixta Cos= Coseno, Orientación: E= este, W=oeste. Clave suelo: Dr= Densidad real, Da= Densidad aparente MO= materia orgánica, CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. Clave vegetación: Sbc= selva baja caducifolia, pd=poco denso, md=medianamente denso d=denso.

Cls. Unidades Geomorfológicas	Geometría UG	Gp %Area total	Gcc %Area total	Gcx %Area total	Altitud (msnm) Predomt.	% Altitud área total	Altitud secundaria (msnm)	% Altitud área total	Altitud terciaria (msnm)	% Altitud área total	Pendiente (°) Predomt.	% Pendiente área total	Pendiente (°) secundaria	% Pendiente área total	Orientación	% Area Total
Dlbi71	m	0	20	80	1620-1640	67.30	1600-1620	23.50			16-32	80.54			W	57.24
Pt81	m	20	20	60	1580-1600	30.97	1600-1620	25.17	1620-1640	21.44	32-64	56.33	16-32	22.5721284	E	51.48
Pt82	m	20	60	20	1600-1620	37.55	1580-1600	33.06			16-32	47.84	32-64	40.97	W	55.75

UG-orientación predominante	Cos (ángulo °)	UG-Compactación predominante	UG-Profundidad Predomt.	UG-Arenas (%) Predomt.	UG-Limos (%) Predomt.	UG-Arcillas (%) Predomt.	UG-Dr (g/cm3) Predomt.	UG-Da (g/cm3) Predomt.	UG. Porosidad (%) predominant	UG-pH Predomt.	UG-MO (%) predomt.	UG-CIC (cmol(+)Kg -1) predomt.	Vegetación Dominante	% Area total	Tipo de vegetación	% área Total
270.00	0.00	416.00	38.00	52.80	24.70	22.1	2.33	0.99	59.3	5.4	5.4	18.9	Sbc(pd)	53.81	Pi	36.98
90.00	0.00	380.00	35.00	52.10	25.50	21.9	2.26	0.91	57.1	5.4	6.4	21.2	Sbc(d)	78.55	Sbc(md)	16.80
270.00	0.00	401.00	33.00	52.20	25.40	21.6	2.26	0.93	58.1	5.4	6.4	21.3	Sbc(md)	36.81	Sbc(pd)	28.12

## Anexo B.

Se muestra en este apartado los diferentes mapas de las propiedades físicas y químicas de los suelos, que se llevaron a cabo mediante el análisis de interpolación kriging, Distancia cuadrática inversa y el SIG, en el área de la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe.

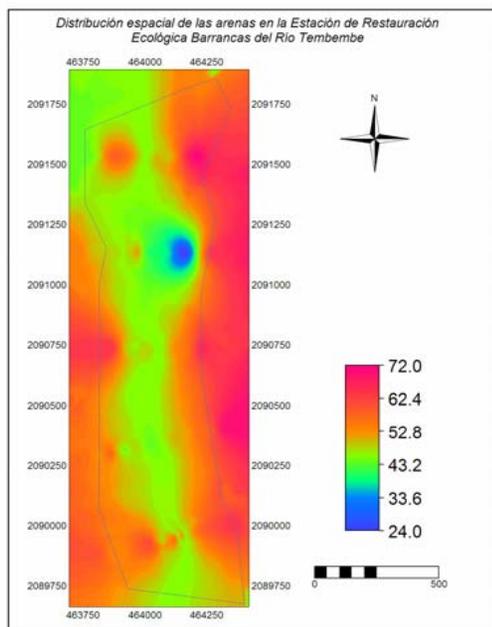


Fig. B.1. Mapa de la distribución espacial de las arenas en la EREBRT.

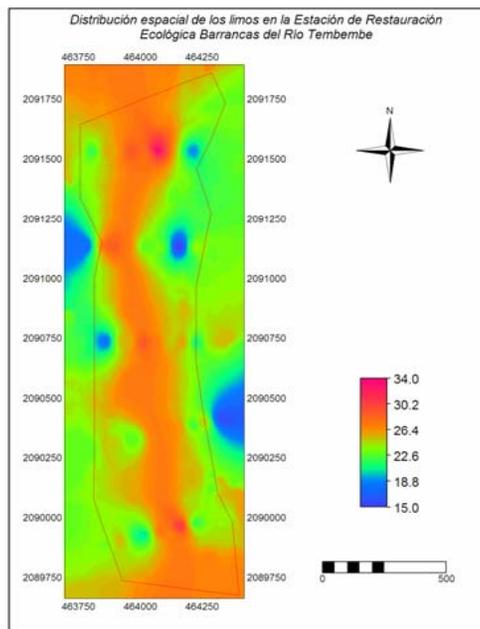


Fig. B.2. Mapa de la distribución espacial de los limos en la EREBRT.

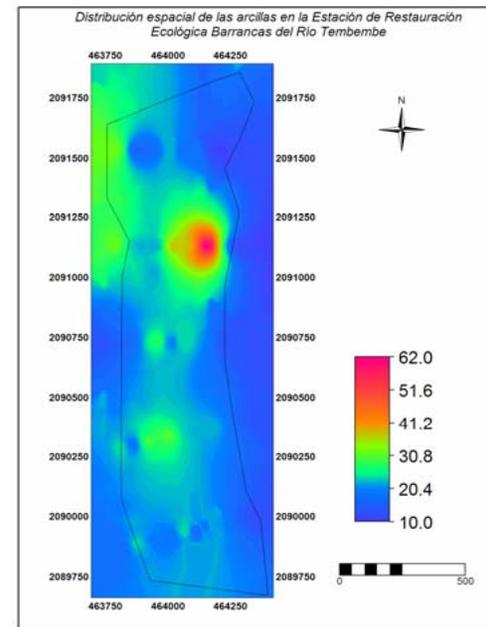


Fig. B.3. Mapa de la distribución espacial de las arcillas en la EREBRT.

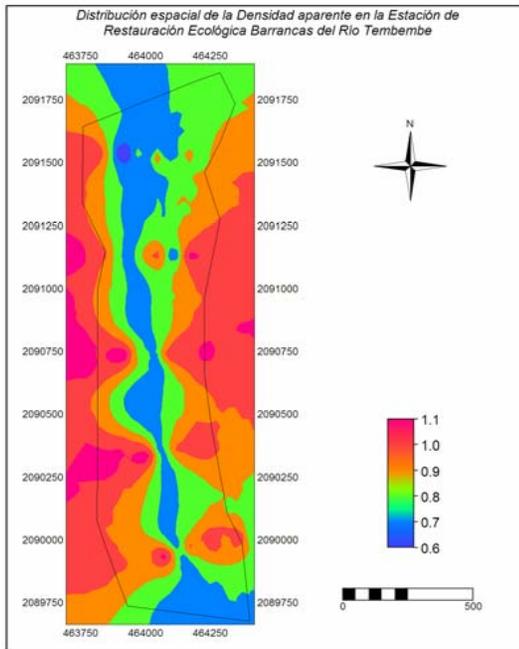


Fig. B.4. Mapa de la distribución espacial de la densidad aparente en la EREBRT.

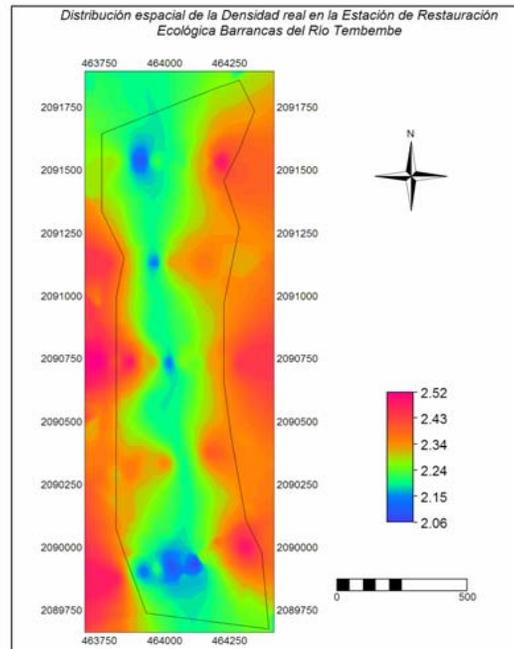


Fig. B.5. Mapa de la distribución espacial de la densidad real en la EREBRT.

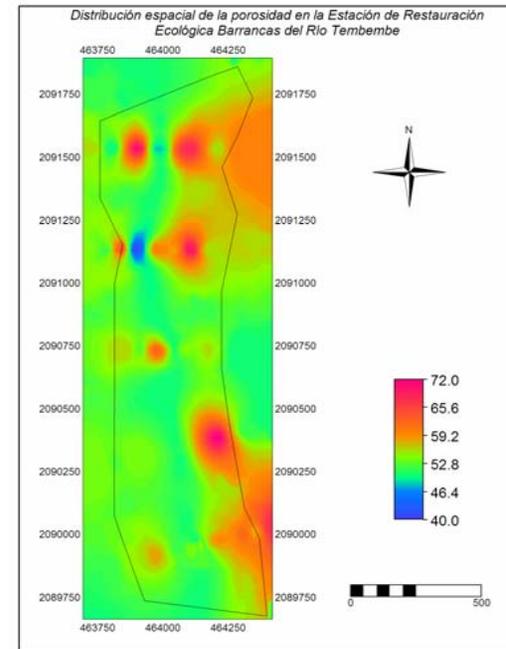


Fig. B.6. Mapa de la distribución espacial de la porosidad en la EREBRT.

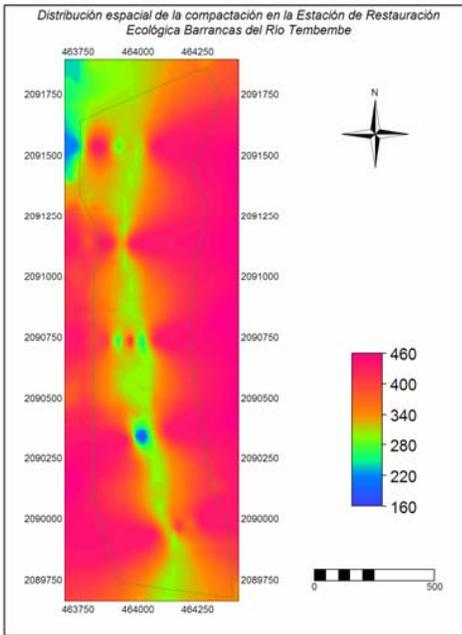


Fig. B.7. Mapa de la distribución espacial de la compactación en la EREBRT.

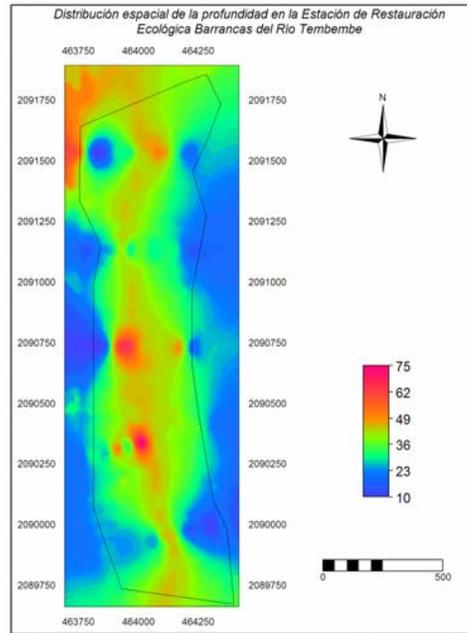


Fig. B.8. Mapa de la distribución espacial de la profundidad en la EREBRT.

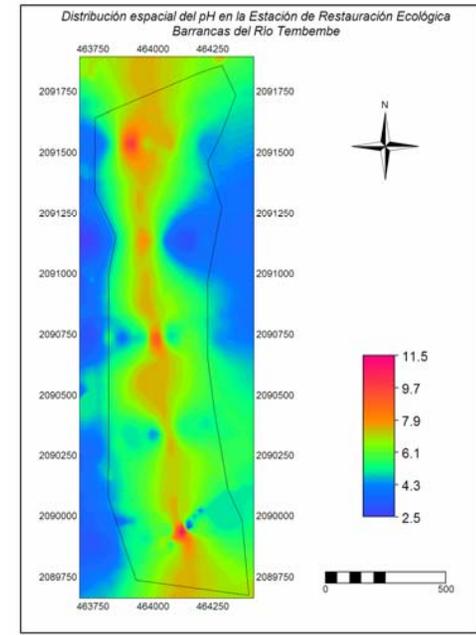


Fig. B.9. Mapa de la distribución espacial del pH en la EREBRT.

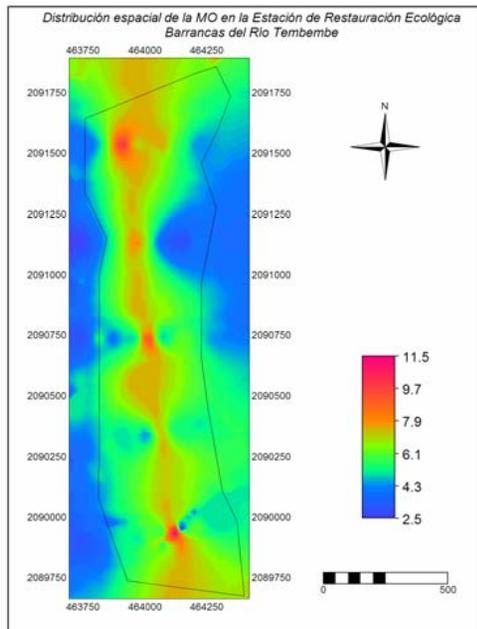


Fig. B.10. Mapa de la distribución espacial de la MO en la EREBRT.

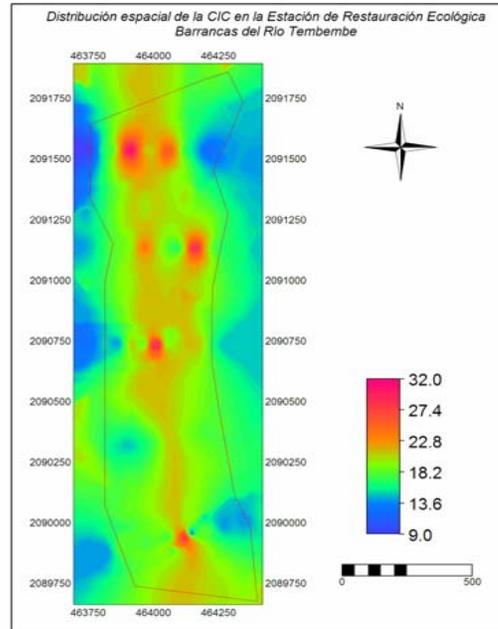


Fig. B.11. Mapa de la distribución espacial de la Capacidad de Intercambio Cationico en la EREBRT.

## Anexo C.

En este apartado se muestra la tabla que mantiene a las familias, géneros y especies determinadas de las plantas colectadas durante el periodo de muestreo en la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe, además de aquellas plantas que se colectaron posteriormente como corroboración de sitios.

Cuadro C.1. Listado de especies arbóreas, arbustivas, lianas y herbáceas presentes en los distintos tipos de cobertura vegetal de la EREBRT.

<i>Familia</i>	<i>Genero</i>	<i>Especie</i>	<i>FSbc</i> <i>(d)</i>	<i>FSbc</i> <i>(md)</i>	<i>FSbc</i> <i>(pd)</i>	<i>FSbc(J)</i> <i>d</i>	<i>FSbc(J)</i> <i>md</i>	<i>Q(d)</i>	<i>Q(FSbc)</i> <i>md</i>	<i>Pi(FSbc)</i> <i>md</i>	<i>Pi(FSbc)</i> <i>pd</i>	<i>Pi(h)</i> <i>d</i>	<i>Pi(h)</i> <i>pd</i>	<i>Pi(J)</i> <i>pd</i>	<i>Pi</i> <i>(d)</i>
Acanthaceae		<i>sp.</i>	*												
Acanthaceae	<i>Ruellia</i>	<i>sp.1</i>	*												
Acanthaceae	<i>Ruellia</i>	<i>sp.2</i>	*												
Agavaceae	<i>Agave</i>	<i>sp.</i>	*							*					
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>	<i>acutifolia</i> (Link & Otto) Herb.			*										
Annonaceae	<i>Annona</i>	<i>cherimola</i> Mill.	*												
Apocynaceae	<i>Mandevilla</i>	<i>foliosa</i> (Müll. Arg.) Hemsl.	*												
Asteraceae		<i>Sp.1</i>		*											
Asteraceae		<i>Sp.2</i>				*									
Asteraceae		<i>Sp.3</i>				*									
Asteraceae		<i>Sp.4</i>								*					
Asteraceae		<i>Sp.5</i>			*										
Asteraceae		<i>Sp.6</i>	*	*											
Asteraceae	<i>Ageratina</i>	<i>liebmannii</i> (Sch. Bip. Ex Klatt) R.M. King & H. Rob	*	*											
Asteraceae	<i>Baccharis</i>	<i>sp.</i>								*					
Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>odorata</i> Cav. var. <i>odorata</i>	*												
Asteraceae	<i>Carminatia</i>	<i>recondita</i> MeVaugh.	*												
Asteraceae	<i>Digitacalia</i>	<i>crypta</i> B.L. Turner			*	*									
Asteraceae	<i>Melampodium</i>	<i>microcephalum</i> Less.			*										
Asteraceae	<i>Melampodium</i>	<i>paniculatum</i> Gardner			*										
Asteraceae	<i>Otopappus</i>	<i>imbricatus</i> (Sch. Bip.) S.F. Blake				*									
Asteraceae	<i>Perymenium</i>	<i>mendezii</i> DC. var. <i>verbesinoides</i> (DC.) J.J. Fay								*					
Asteraceae	<i>Pittocaulon</i>	<i>praecox</i> (Cav.) H. Rob. & Brettell								*					
Asteraceae	<i>Psacalium</i>	<i>cirsiiifolium</i> (Zucc.) H. Rob. & Brettell								*					

Asteraceae	<i>Schkuhria</i>	<i>pinnata</i> (Lam.) Kuntze <i>var. wislizenii</i> (A. Gray) B.L. Turner	*						
Asteraceae	<i>Stevia</i>	<i>Aschenborniana</i> Sch. Bip.	*		*				*
Asteraceae	<i>Tagetes</i>	<i>subulata</i> Cerv.			*				*
Asteraceae	<i>Tagetes</i>	<i>lucida</i> Cav.							*
Asteraceae	<i>Tridax</i>	<i>coronopifolia</i> (Kunth) Hemsl.		*					
Asteraceae	<i>Viguiera</i>	<i>dentata</i> (Cav.) Spreng.	*						*
Bignoniaceae	<i>Pithecoctenium</i>	<i>crucigerum</i> (L.) A.H. Gentry	*						
Bombacaceae	<i>Ceiba</i>	<i>aesculifolia</i> (Kunth) Britton & Baker			*				
Boraginaceae	<i>Cordia</i>	<i>sp.1</i>							*
Boraginaceae	<i>Cordia</i>	<i>sp.2</i>	*						*
Boraginaceae	<i>Cordia</i>	<i>morelosana</i> Standl.							
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>sp.</i>	*		*				
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>aspleniifolia</i> Brandegee			*				*
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>bipinnata</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Engl.	*	*	*				
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>copallifera</i> (Sessé & Moc. Ex D.C.) Bullock	*						
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>fagaroides</i> (Kunth) Engl.			*				
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>glabrifolia</i> (Kunth) Engl.						*	*
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>grandifolia</i> (Schltdl.) Engl.	*						
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>mirandae</i> C.A. Toledo	*						
Cactaceae	<i>Opuntia</i>	<i>Sp.</i>		*			*		*
Caprifoliaceae	<i>Viburnum</i>	<i>stellatum</i> Hemsl.				*			
Celastraceae	<i>Wimmeria</i>	<i>persicifolia</i> Radlk	*						
Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>communis</i> L.	*						
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>elongata</i> Choisy							
Cupressaceae	<i>Juniperus</i>	<i>flaccida</i> Schltdl.	*		*				
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea</i>	<i>remotiflora</i> Unline ex Kunth.	*						
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea</i>	<i>sp</i>			*				
Euphorbiaceae	<i>Croton</i>	<i>sp.</i>		*					
Euphorbiaceae	<i>Croton</i>	<i>reflexifolius</i> Kunth.	*		*				

Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>sp.1</i>	*																	
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>barnesii</i> (Millsp.) Oudejans																		
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>schlechtendalii</i> Boiss.	*	*	*															*
Euphorbiaceae	<i>Sapium</i>	<i>sp.</i>	*																	*
Euphorbiaceae	<i>Sapium</i>	<i>laterifolium</i> Hemsl.	*																	*
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>glaucooides</i> M. Martens & Galeotti						*												
Lamiaceae	<i>Hyptis</i>	<i>mociniana</i> (Benth.)																		*
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>Sp.</i>																		*
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>lasiantha</i> Benth.																		*
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>occidentalis</i> Swartz.																		*
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>purpurea</i> Cav.						*												
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>sessei</i> Benth.	*	*					*											
Leguminosae		<i>Sp.1</i>		*																
Leguminosae		<i>Sp.2</i>																		*
Leguminosae		<i>Sp.3</i>																		*
Leguminosae		<i>Sp.4</i>																		*
Leguminosae		<i>Sp.5</i>		*																*
Leguminosae		<i>Sp.6</i>							*											*
Leguminosae	<i>Acacia</i>	<i>farnesiana</i> (L.)Willd.																		*
Leguminosae	<i>Acacia</i>	<i>pennatula</i> (Schltdl.&Cham.) Benth.		*																*
Leguminosae	<i>Acaciella</i>	<i>angustissima</i> (Mill.) Britton & Rose var <i>angustissima</i>	*																	*
Leguminosae	<i>Aeschynomene</i>	<i>sp.</i>																		*
Leguminosae	<i>Ateleia</i>	<i>pterocarpa</i> D.	*																	
Leguminosae	<i>Brongniartia</i>	<i>sp.1</i>	*					*												
Leguminosae	<i>Brongniartia</i>	<i>sp.2</i>	*																	
Leguminosae	<i>Brongniartia</i>	<i>intermedia</i> Moric.	*																	*
Leguminosae	<i>Brongniartia</i>	<i>lupinoides</i> (Kunth) Taub.																		*
Leguminosae	<i>Calliandra</i>	<i>houstoniana</i> (Mill.) Standl		*	*															
Leguminosae	<i>Chamaecrista</i>	<i>nictitans</i> (L.) Moech var. <i>jaliscensis</i> (Greenm) H.S.Irwin E, Barneby.																		*
Leguminosae	<i>Canavalia</i>	<i>villosa</i> Benth.																		*
Leguminosae	<i>Coursetia</i>	<i>aff. caribaea</i> (Jacq.) Lavin																		*
Leguminosae	<i>Dalea</i>	<i>sp.</i>																		*

Leguminosae	<i>Desmodium</i>	<i>sp.</i>						*
Leguminosae	<i>Diphysa</i>	<i>carthagenensis</i> Jacq.						* *
Leguminosae	<i>Diphysa</i>	<i>punctata</i> Rydb.		*				
Leguminosae	<i>Erytrina</i>	<i>coralloides</i> D.C.	*					
Leguminosae	<i>Eysenhardtia</i>	<i>polystachya</i> (Ortega) Sarg.		*	*			
Leguminosae	<i>Gliricidia</i>	<i>sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Steud	*					
Leguminosae	<i>Leucaena</i>	<i>macrophylla</i> Benth.		*				
Leguminosae	<i>Lysiloma</i>	<i>acapulcense</i> Benth.						*
Leguminosae	<i>Lysiloma</i>	<i>microphyllum</i> Benth.		*		*		*
Leguminosae	<i>Mimosa</i>	<i>Sp.</i>						*
Leguminosae	<i>Mimosa</i>	<i>albida</i> Humb. & Bonpl. Ex Willd.	*	*				
Leguminosae	<i>Nissolia</i>	<i>Sp.</i>	*					
Leguminosae	<i>Nissolia</i>	<i>fruticosa</i> Jacq.				*		
Leguminosae	<i>Piptadenia</i>	<i>Flava</i> (Spreng. ex D.C) Benth	*					
Leguminosae	<i>Sena</i>	<i>sp.</i>	*					
Leguminosae	<i>Sena</i>	<i>holwayana</i> var. <i>holwayana</i> (Rose) H. S. Irwin E, Borneby	*	*	*	*		*
Leguminosae	<i>Rhynchosia</i>	<i>sp</i>						*
Leguminosae	<i>Vigna</i>	<i>sp.</i>	*					
Leguminosae	<i>Zapoteca</i>	<i>sp.</i>	*					
Loranthaceae	<i>Cladocolea</i>	<i>sp.</i>						
Malpighiaceae		<i>sp.</i>	*					
Malpighiaceae	<i>Galphimia</i>	<i>aff. glauca</i> Cav.		*				
Malpighiaceae	<i>Gaudichaudia</i>	<i>congestiflora</i> A. Juss				*		
Malvaceae	<i>Malvaviscus</i>	<i>arboreus</i> Cav var. <i>mexicanus</i> <i>glabra</i> Mill.				*		
Malvaceae	<i>Sida</i>	<i>spinosa</i> L.						*
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>Sp.</i>				*		
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>insipida</i> Willd.				*		

Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>petiolaris</i> Kunth.	*																	
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>velutina</i> Kunth ex Willd																		*
Nyctaginaceae	<i>Guapira</i>	<i>macrocarpa</i> (Miranda) Miranda	*																	
Oleaceae	<i>Fraxinus</i>	<i>uhdei</i> (Wens.) Lingelsh.																		*
Passifloraceae	<i>Passiflora</i>	<i>suberosa</i> L.																		*
Poaceae	<i>Lasiacis</i>	<i>grisebachii</i> (Nash) Hitche.var. <i>grisebachii</i>																		*
Poaceae	<i>Muhlenbergia</i>	<i>capillaris</i> (Lam) Trin.																		*
Poaceae	<i>Oplismenus</i>	<i>burmannii</i> (Retz.) P. Beauv.	*																	*
Poaceae	<i>Paspalum</i>	<i>notatum</i> Flügge																		*
Poaceae	<i>Rhynchelytrum</i>	<i>repens</i> (Willd)C. E. Hubb.																		*
Polypodiaceae	<i>Adiantum</i>	<i>raddianum</i> C Presl.																		*
Polypodiaceae	<i>Bommeria</i>	<i>pedata</i> (Sw.) E. Fourn																		*
Polygalaceae	<i>Polygala</i>	<i>sp.</i>																		
Rosaceae		<i>sp.1</i>	*																	*
Rubiaceae		<i>sp.1</i>	*	*																
Rubiaceae	<i>Bouvardia</i>	<i>sp.</i>																		*
Rubiaceae	<i>Chiococca</i>	<i>alba</i> (L.) Hitchc.	*																	
Rubiaceae	<i>Crusea</i>	<i>hispida</i> (Mill.) B.L. Rob.																		*
Rubiaceae	<i>Randia</i>	<i>Sp.</i>																		*
Rubiaceae	<i>Randia</i>	<i>aculeata</i> L.																		*
Rubiaceae	<i>Randia</i>	<i>thurberi</i> S. Watson	*	*																*
Rubiaceae	<i>Randia</i>	<i>watsonii</i> B.L.Rob.																		*
Rubiaceae	<i>Spermacoce</i>	<i>densiflora</i> (DC) Alain																		*
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i>	<i>limoncello</i> Planch&Oerst																		*
Sapindaceae	<i>Dodonea</i>	<i>viscosa</i> (L.) Jacq.	*																	
Sapindaceae	<i>Serjania</i>	<i>triquetra</i> Radlk.	*																	*
Scrophulariaceae	<i>Buchnera</i>	<i>pusilla</i> Kunth.																		
Selagilellaceae	<i>Selaginella</i>	<i>pulcherrima</i> Liebm. ex E. Fourn																		*
Solanaceae	<i>Lycianthes</i>	<i>pilosissimum</i> (M. Martens & Galeotti) Bitter																		*
Solanaceae	<i>Phisalis</i>	<i>pubescens</i> L.	*																	
Solanaceae	<i>Solanum</i>	<i>lanceolatum</i> Cav.																		*
Sterculiaceae	<i>Ayenia</i>	<i>ovata</i> Hemsl.	*																	
Sterculiaceae	<i>Waltheria</i>	<i>americana</i> L.																		*
Turneraceae	<i>Turnera</i>	<i>sp.</i>																		*
Tiliaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>velutinus</i> Rose																		

Tiliaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>terebinthaceus</i> (D.C.) <i>Hochr.</i>	*					
Ulmaceae	<i>Celtis</i>	<i>caudata</i> Planch.	*					
Ulmaceae	<i>Celtis</i>	<i>iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	*					
Verbenaceae	<i>Lantana</i>	aff. <i>hispida</i> Kunth.	*	*		*	*	*
Verbenaceae	<i>Vitex</i>	<i>mollis</i> Kunth.					*	